



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

Facultad de Ingeniería

**“CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA APLICADOR
DE ELECTRO-CATALIZADOR (SAE) EN
MEMBRANAS TIPO PEM”**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO MECÁNICO
PRESENTAN:

***DÍAZ OCAÑA VICTOR CLEMENTE
RODRÍGUEZ ALBA JOAN LESLIE***

DIRECTORES DE TESIS:
M.I. JESÚS ABRAHAM MUÑOZ BARRERA
M.I. ANTONIO ZEPEDA SÁNCHEZ



MÉXICO , D.F.

AGOSTO, 2008



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

AGRADECIMIENTOS.

A LA UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO, POR BRINDARNOS LA OPORTUNIDAD Y ORGULLO INVALUABLES DE SER UNIVERSITARIOS.

A LA FACULTAD DE INGENIERÍA POR LA FORMACIÓN PROFESIONAL E INTEGRAL QUE NOS HA PROPORCIONADO.

AL CDMIT Y SU PERSONAL, POR TODO EL APOYO BRINDADO DURANTE LA CARRERA.

A NUESTROS PROFESORES, POR SU APOYO EN LA CULMINACIÓN DE ESTE TRABAJO.

A ANTONIO ZEPEDA SÁNCHEZ, ABRAHAM MUÑOZ Y MARTÍN REYES POR SU PACIENCIA Y APOYO RECIBIDO PARA CONCLUIR ESTE TRABAJO.

A TODOS NUESTROS COMPAÑEROS DE CARRERA. POR LA CONVIVENCIA Y APOYO MUTUO.

A MIS PADRES EVELIA OCAÑA CHÁVEZ Y CLEMENTE DÍAZ VALDIVIA, POR SU
COMPRESIÓN, GRAN APOYO Y SU INVALUABLE CONFIANZA DEPOSITADA EN
MI.

GRACIAS PADRE, POR TU AMOR Y POR DESPERTAR EN MI DESDE PEQUEÑO LA
INQUIETUD DE IMAGINAR, DISEÑAR, CONSTRUIR Y CONCLUIR LOS PROYECTOS
QUE ME PONGA EN TODO MOMENTO DE LA VIDA.

GRACIAS MADRE POR EL AMOR, APOYO Y AMISTAD QUE ME BRINDAS PARA
PODER REALIZAR SUEÑOS COMO ÉSTE.

A MIS HERMANAS, QUE SIEMPRE HAN SABIDO SERLO. LES DOY LAS GRACIAS POR
CONFIAR EN MÍ Y APOYARME EN TODO MOMENTO.

CON TODO CARIÑO A MIS SIETE GRANDIOSOS SOBRINOS, ALE, QUIQUE, LAU, FER,
CLAVER, MARIANA Y MARIEL POR TODOS LOS MOMENTOS DIVERTIDOS QUE ME
HACEN PASAR.

A JOAN RODRÍGUEZ Y JEANNETE AGUILAR POR SU AMISTAD, CONSEJOS Y
CARIÑO PARA PODER CONCLUIR ESTE PASO.

VICTOR CLEMENTE DÍAZ OCAÑA

ENTRE ALGUNOS DE LOS EVENTOS QUE NOS HACEN PERDURAR EN LA VIDA, ESTA
EL DE ESCRIBIR UN LIBRO.
LAS SIGUIENTES LÍNEAS DE AGRADECIMIENTOS ESTÁN DEDICADAS A LAS
PERSONAS QUE HAN INSPIRADO ESTE TRABAJO.

A MIS PADRES EFRAÍN RODRÍGUEZ VIGUERAS Y ROSA MARIA ALBA MARTÍNEZ
POR SU AMOR, RESPETO Y ENTREGA (PILARES DE MI FAMILIA) QUE DÍA A DÍA ME
BRINDARON.

A MI PADRE, POR SER INSPIRACIÓN DE PERSEVERANCIA, NOBLEZA Y CORAJE.
GRACIAS POR APOYARME EN TODO MOMENTO.

A MI TESORO Y AMOR, BERENICE GALARZA RAZO, POR APOYARME A CONCLUIR
ESTE TRABAJO.

A MAMÁ CHENCHA Y BRUNO, POR SU CARIÑO Y APOYO BRINDADO A MI PADRE
EN MOMENTOS DIFÍCILES.

A MIS HERMANOS, POR TODO SU APOYO Y POR SER PARTE DE LA FORMACIÓN DE
MI CARÁCTER.

A TODOS MIS TÍOS. Y FAMILIARES, EN ESPECIAL A NATALIA, POR APOYAR A MIS
PADRES CUANDO LO NECESITARON.

A PEPE Y TERESA POR RECIBIRME EN SU FAMILIA COMO A UN HIJO.

SE DICE QUE UN AMIGO ES UN HERMANO QUE SE ESCOGE. GRACIAS POR
ACEPTARME CON TODAS MIS DIFERENCIAS. NO TE CREAS LO DE HERMANO
CAÑAS.

ESTE TRABAJO LO DEDICO EN ESPECIAL A LA MEMORIA DE UNA PERSONA QUE
EXTRAÑO MUCHO. GRACIAS POR TODO CHOLITA.

JOAN LESLIE RODRÍGUEZ ALBA

ÍNDICE

ÍNDICE

Página

Planteamiento del problema	II
Objetivos y justificación	II
Justificación	II
Meta	II
Introducción	1
1. Antecedentes	
1.1. Historia de las celdas de combustible.	1
1.2. Elementos que conforman la celda de combustible.	1
1.3. Funcionamiento de la celda de combustible.	1
1.4. Características de la celda de combustible tipo PEM.	10
I. Ensamble membrana electrodo	12
I.1. Introducción.	12
I.2. Ensamble membrana electrodo.	13
I.3. Función del ensamble membrana electrodo.	13
I.4. Composición de catalizadores.	16
I.5. Procesos para la activación de la membrana.	17
I.6. Procesos que se realizan actualmente para la aplicación del recubrimiento a las membranas.	19
II. Estudio del problema y soluciones	
II.1. Introducción.	22
II.2. Definición del problema.	22
II.3. Descripción de requerimientos.	23
II.4. Diseño conceptual.	24
II.5. Generación de alternativas.	25
II.6. Evaluación de alternativas y solución a los requerimientos.	35
III. Desarrollo del prototipo	
III.1. Introducción.	41
III.2. Diseño del sistema electrónico.	41
III.3. Diseño del sistema de control.	51
III.4. Diseño del sistema mecánico.	57
III.4.1 Subsistema de carros y rieles.	58
III.4.2 Subsistema de transmisión de potencia de los carros y rieles. ...	63
III.4.3 Subsistema de soporte del mecanismo terminal del SAE.	66
IV. Fabricación y puesta en marcha del prototipo	
IV.1. Introducción.	70
IV.2. Construcción del sistema de control.	70
IV.2.1 Problemas y soluciones durante la construcción del sistema de control.	74
IV.3. Construcción del sistema mecánico.	75

Conclusiones	77
Bibliografía	79
Apéndices	81

Tema:

Sistema para aplicar una solución de electro-catalizador sobre las membranas tipo PEM, de las celdas de combustible.

Título:

Construcción de un sistema aplicador de electro-catalizador (SAE) en membranas tipo PEM (Proton Exchange Membrane por sus siglas en ingles).

Planteamiento del problema:

Sustituir el proceso de aplicación de electro-catalizador sobre las membranas tipo PEM. Que se realiza de forma manual, utilizando un aerógrafo, y así mejorar la calidad en la elaboración de estas mismas, para obtener mejores resultados durante el estudio de su funcionamiento.

Objetivo:

Diseñar, construir y controlar un sistema que permita el manejo y control del desplazamiento de un dispositivo sobre un área de trabajo, así como el control de la regulación del flujo de una solución electro-catalítica para aplicarla a las membranas de intercambio protónico de las celdas de combustible.

Justificación:

Debido a que en el proceso de aplicación de la solución electro-catalítica se realiza de forma manual, se ocasionan resultados no deseados durante el proceso de construcción de las celdas de combustible, lo que ocasiona pérdidas de tiempo y dinero.

Meta:

Poner en marcha, el sistema aplicador de electro-catalizador, aportando una herramienta útil que se utilice en la investigación y desarrollo de las celdas de combustible dentro de la UNAM, y otras instituciones que así lo requieran.

Introducción.

La preocupación e investigación de científicos en muchos lugares del mundo esta centrada en generar la energía libre de contaminantes suficiente para abastecer a la humanidad, disminuyendo así la degradación de nuestro habitad (medio ambiente) y el de los seres vivos que nos rodean. Como resultado de esta tarea de investigación surgió la inquietud de generar energía, al igual que lo hacen las plantas, quienes generan su propia energía durante la fotosíntesis para poder alimentarse y desarrollarse, además de despedir oxígeno en este proceso.

Hoy en día se tiene un desarrollo avanzado de la tecnología de celdas de combustible que genera energía eléctrica por medio de un proceso electroquímico, sin la intromisión de contaminantes, teniendo como resultado, únicamente agua, energía eléctrica y calor.

En sus inicios esta tecnología fue descartada por la baja eficiencia que aportaba, mas no se dejó de trabajar en ella y actualmente las eficiencias que se alcanzan en la generación de energía son considerables, tan es así que las aplicaciones de esta nueva tecnología ha desarrollado grandes alcances.

La incursión de esta tecnología en los automóviles ha marcado una nueva era de energía, al ser estos junto con las industrias, los principales consumidores de energía y aportadores de contaminantes.

De lo anterior podemos mencionar que el presente trabajo, es una aportación mas para las investigaciones y desarrollo de sistemas para generar prototipos de celdas de combustible tipo PEM, así mismo este trabajo muestra el desarrollo de un sistema cartesiano motriz, con el que se realizan diversas rutinas para aplicar un recubrimiento a las membranas de las celdas de combustible, el cual es uno de los principales componentes de dicha celda.

Los componentes que conforman la celda de combustible se describen en los antecedentes, para facilitar al lector la comprensión del funcionamiento de estos, y así entender la importancia real del proceso en el que se aplica este recubrimiento electro-catalizador a las celdas de combustible.

El capítulo I describe el ensamble de la membrana para una celda tipo PEM. Así como las características y composición del electro-catalizador, también se menciona el modo en que se desarrolla el proceso de aplicación del electro-catalizador.

En el capítulo II se estudian a detalle los problemas de la aplicación de electro-catalizador a las membranas así como el planteamiento de las posibles soluciones.

En el capítulo III se describe el desarrollo de un prototipo en base a las necesidades que se plantean en los capítulos anteriores.

En el capítulo IV se describe el procedimiento de la construcción de los elementos que conforman el sistema aplicador de electro-catalizador, así como los problemas y sus soluciones durante su elaboración.

Antecedentes

Introducción.

En el presente tema se describen algunos de los aspectos mas relevantes de la historia de las celdas de combustible así como de algunos de los ejemplos de aplicaciones.

1.1. Historia de las celdas de combustible.

Desde tiempo atrás, han habido hombres que se interesaron en tratar de explicar algunos fenómenos que se presentaban accidentalmente en la naturaleza, de los cuales, en algunos casos consiguieron la explicación después de mucho tiempo de observación e investigación. Tal es el caso de la electrólisis.

El experimento de electrólisis del agua consiste en colocar dos electrodos en contacto por medio de un electrolito (agua), y aplicar un diferencial de potencial (voltaje) en los electrodos para producir un flujo de electrones en el electrolito. La reacción que a continuación se observaba, es la ionización de las moléculas del agua, pues los iones con carga negativa (hidrogeno) viajan al ánodo, mientras que los iones positivos (oxigeno) lo hacían hacia el cátodo.

El electrolito es una sustancia en disolución acuosa que se descompone al paso de una corriente eléctrica. Los electrolitos son, principalmente, los ácidos, las bases y las sales disueltas en agua o en otro disolvente apropiado. Estas sustancias en disolución se encuentran parcialmente ionizadas, teniendo los iones de distinta carga comportamiento eléctrico opuesto.

Dado lo anterior, el reto para los científicos fue entonces, buscar un método similar a la electrolisis para obtener un flujo considerable de electrones.

Sir William Robert Grove, quien fuera uno de los primeros en encontrar una solución con estas características, logra por primera ocasión realizar un experimento en 1839 en electrólisis inversa del agua para obtener electricidad en el que se vislumbraría la combustión limpia de hidrógeno. Aunque no fue si no hasta que General Electric desarrollara las celdas tipo PEM en 1960 por Thomas Grubb y Leonard Niedrach. La GE anunció un éxito inicial cuando la compañía desarrolló una celda pequeña de combustible para un programa con la oficina de la marina de Estados Unidos.

Una nueva formulación de polímero desarrollada por Walther Grot en 1972, mejoró las características y la durabilidad del electrolito, y más tarde en 1986, Lee Raistrick realizó grandes mejoras en los procesos de fabricación. Unos años más tarde en 1990, Keith Prater anunció la posibilidad de utilizar este tipo de celdas de combustible para vehículos terrestres. El gran reto era reducir el efecto nocivo del

CO, un subproducto de la obtención de hidrógeno por reformado, ya que envenenaba fuertemente los catalizadores de platino.

Una nueva técnica llamada "air bleed" descubierta por Shimshon Gottesfeld y J. Pafford en 1988 fue desarrollada y permitió que este tipo de celdas de combustible operase con hidrógeno obtenido a partir de alcoholes o combustibles carbonados.

Unos años después en 1990, Keith Prater anunció la posibilidad de utilizar este tipo de celdas de combustible para vehículos terrestres para reducir el efecto nocivo del CO.

Existen diferentes tipos de celdas de combustible que se caracterizan generalmente por el material de su electrolito y su temperatura de trabajo. El electrolito es la sustancia que sirve como puente para el intercambio de iones entre el ánodo y el cátodo.

Los cinco tipos diferentes de Celdas de combustible se enlistan a continuación.

1. AFC (Celdas de combustible Alcalinas). Contienen electrolito líquido alcalino con aplicación en la industria espacial preferentemente y equipos móviles, su desventaja es que se tiene que separar el CO₂ del aire y del combustible.
2. SOFC (Celdas de combustible de óxidos sólidos). Utilizan cerámica como electrolito para poder operar a altas temperaturas (1000°). Aplicaciones en vehículos pesados y generación de energía, su desventaja esta en que debido a sus altas temperaturas se rompen sus componentes.
3. PAFC (Celdas de combustible de ácido fosfórico). Utilizan ácido fosfórico como electrolito. Aplicaciones para la generación de energía, su desventaja esta en que genera corriente y potencia baja y su peso y tamaño es muy elevado.
4. PEMFC (Celdas de combustible con membrana de intercambio de protones) Contiene polímero sólido como electrolito. Aplicaciones en generación de energía, industria automotriz, etc., su desventaja esta en que debido a su temperatura baja, necesita catalizadores caros (Pt) y el hidrogeno puro.
5. DMCF (Celdas de combustible con carbonato fundido). Contienen como electrolito una sal carbonatada. Aplicación preferentemente en la generación de energía, su desventaja esta en su alta temperatura que hace que sufran corrosión y rompimiento de sus componentes.

1.2. Elementos que conforman la celda de combustible tipo PEM.

Una celda de combustible es un dispositivo electroquímico que transforma la energía química de reacción directamente en energía eléctrica cuyo concepto es similar al de una batería convencional. La gran diferencia entre la celda de combustible y las baterías convencionales es que estas son dispositivos de almacenaje y conversión de energía en las que la cantidad de energía depende de la cantidad de reactivos químicos almacenados en ellas, dejando de producir energía cuando se consumen dichos reactivos.

Las celdas de combustible por el contrario son solamente un dispositivo de conversión de energía por lo que se consideran un sistema abierto teniendo la capacidad de producir energía mientras se siga suministrando combustible y oxidante a los electrodos que usualmente son hidrógeno y oxígeno respectivamente.

La eficiencia que alcanza la celda de combustible es muy alta debido al hecho que la generación de energía eléctrica es directa y al no tener partes móviles es sumamente silenciosa y libre de contaminación ya que no usa la combustión como mecanismo de generación de energía.

Los componentes básicos de una celda combustible tipo PEM son los siguientes:

- Dos electrodos impregnados con electro-catalizador.
- Membrana conductora de protones.
- Capas difusoras de gas.
- Placas colectoras de corriente con campos de flujo.

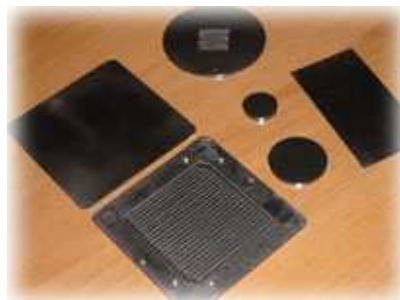


Figura I.2.1. Elemento difusor de gas, membrana tipo PEM
ambos de diferentes configuraciones geométricas.

El elemento principal de la celda de combustible es la membrana, pues es el “corazón” ó “alma” de las celdas de combustible. La membrana realiza el proceso

electroquímico en el que se ioniza el hidrogeno y el oxigeno, esto se debe a las características de los elementos que la componen.

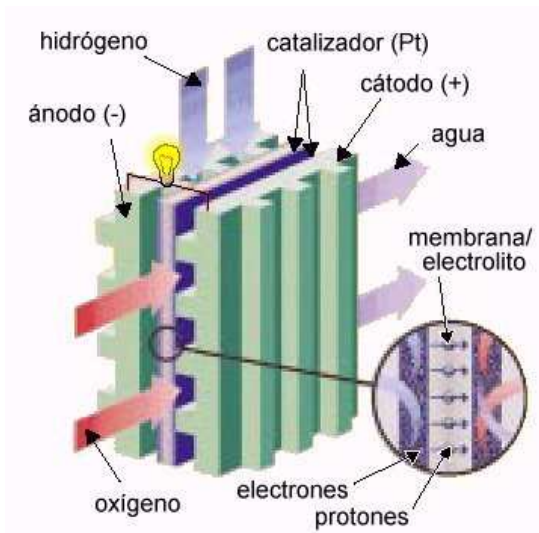


Figura I.2.3. Vista en 3D de los elementos principales de la celda de combustible.

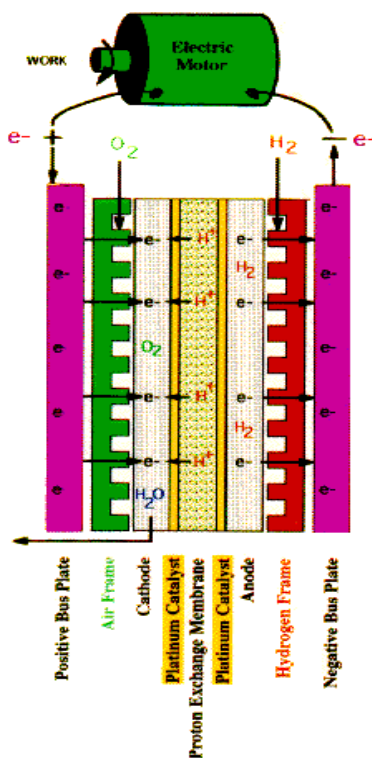


Figura I.2.4. Vista de sección transversal de la celda de combustible. (Referencia: <http://www.cienciateca.com/fuelcells.html>)

Al centro de la celda de combustible, hay dos electrodos, (un ánodo y un cátodo), separados por una membrana tipo PEM. Cada uno de los electrodos tiene una capa delgada de catalizador de platino en uno de sus costados. En el ánodo, el hidrógeno se disocia por catálisis separándose en electrones y protones libres (iones de hidrógeno).

El ánodo y el cátodo se preparan aplicando una muy pequeña cantidad de platino en ambas caras de la membrana soportado por una superficie porosa de grafito, la cual ha sido antes impermeabilizada con teflón. El espesor de esta capa se encuentra entre los 5 y los 50 [µm]. El electrolito sólido situado entre los dos electrodos, se sinteriza a presión para producir una MEA (**Membrane Electrode Assembly** por sus siglas en ingles).

Se denomina electrólitos sólidos a determinados sólidos en los que se producen ciertos fenómenos de separación de cargas debido a la introducción de impurezas en dosis pequeñas.

El electrolito de la celda de combustible tipo PEM es el nafión. El nafión es un polímero perflorado (con átomos de flúor en lugar de hidrógeno) compuesto por cadenas de tipo teflón de las que derivan cadenas laterales con grupos iónicos y que en presencia de agua se convierte en un excelente conductor protónico.

1.3. Funcionamiento de la celda de combustible tipo PEM.

La Catálisis es el proceso a través del cual se acelera una reacción química. Generalmente, involucra a una sustancia (elemento o compuesto químico), conocida como catalizador, que ni se crea ni se consume en la reacción, que participa en una reacción intermedia adicional, y que sirve para reducir o aumentar la barrera de energía.

El Catalizador es una sustancia (compuesto o elemento) capaz de acelerar (catalizador positivo) o retardar (catalizador negativo o inhibidor) una reacción química, permaneciendo él mismo inalterado (no se consume durante la reacción). A este proceso se le llama catálisis. Los catalizadores no alteran el balance energético final de la reacción química, sino que sólo permiten que se alcance el equilibrio con mayor o menor velocidad.

El principio de funcionamiento de las celdas de combustible es un proceso inverso al de la electrolisis del agua.

La reacción total que ocurre en la PEM es la reacción del hidrogeno con el oxigeno para producir electricidad, calor y agua. Cuando el gas de hidrógeno presurizado ingresa a la celda de combustible en el lado del ánodo, la molécula de hidrógeno (H₂) entra en contacto con el platino (catalizador) contenido en la

membrana, las propiedades catalíticas de la superficie de la membrana provoca la disociación de las moléculas de hidrógeno H_2 en protones H^+ y electrones.

La membrana tiene la propiedad de ser permeable a los protones, por lo que pasan a través de ella. Los electrones (e^-) que no pueden atravesar la membrana, circulan por las placas colectoras de corriente hacia el cátodo a través de un elemento conductor externo, dando lugar a una corriente eléctrica (energía útil).

Mientras tanto, en el lado del cátodo de la celda del combustible, el oxígeno (O_2) procedente del aire entra en contacto con el catalizador, donde disocia dos iones (O_2^-) de oxígeno. Cada uno de estos átomos tiene una carga negativa fuerte. Esta carga negativa atrae a los iones H^+ que pasan través de la membrana, se combinan con un átomo de oxígeno y dos de los electrones del circuito externo se unen para formar moléculas de agua (H_2O). De esta manera, se utiliza el proceso natural de producción de agua por medio de la oxidación de hidrógeno, para producir electricidad y calor. El principio se ilustra en la figura 5.

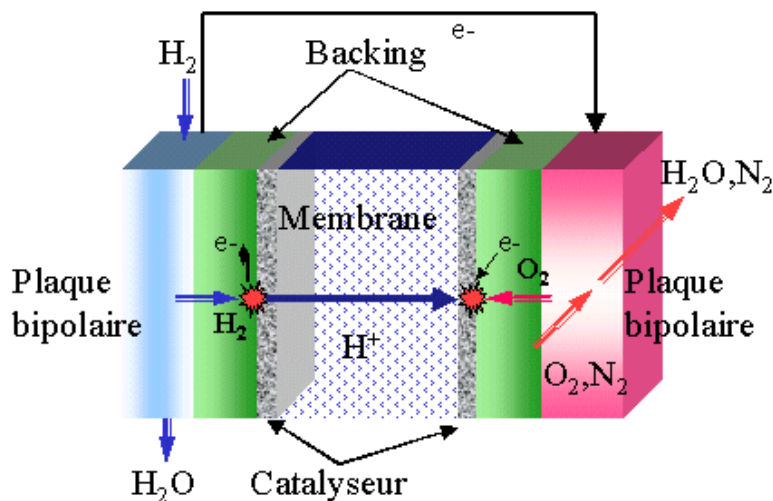


Figura I.3.1. Muestra del funcionamiento y flujo del hidrógeno y oxígeno.

(Referencia: <http://www.cienciateca.com/fuelcells.html>)

Las celdas de combustible individuales se combinan en conjuntos de celdas llamados "STACKS" para proveer la cantidad de potencia eléctrica demandada.

I.4. Características de la celda de combustible tipo PEM.

El polímero sólido o Membrana de Intercambio Protónico (PEM) contienen un polímero sólido como electrolito. Estas Celdas operan relativamente a bajas temperaturas ($80\text{ }^\circ\text{C}$), tienen una densidad de potencia alta, pueden variar su salida rápidamente para satisfacer cambios en la demanda de potencia y son adecuadas

para aplicaciones donde se requiere una demanda inicial rápida, tanto en equipos para la generación de energía eléctrica estacionarios como para automóviles, entre otros usos.

Lo descrito en los párrafos anteriores fueron algunos puntos importantes dentro de la historia del desarrollo de las celdas de combustible.

Referencia: <http://www.cienciateca.com/fuelcells.html>

El capítulo siguiente describe la estructura de la celda de combustible, y en específico del ensamble membrana-electrodo, que es el subsistema de la celda que nos interesa estudiar y en el que tiene aplicación el presente trabajo.

Capítulo I

Ensamble membrana electrodo

I.1. Introducción.

En el presente apartado se describe el ensamble de una membrana para una celda tipo PEM, así como las características y composición del electro-catalizador. Además se menciona el modo en que se desarrolla el proceso de aplicación del electro-catalizador en México, con la finalidad de tener una visión preliminar del problema a tratar en el presente trabajo.

I.2. Ensamble membrana electrodo.

De manera general se puede decir que los electrodos (ánodo y cátodo), la membrana y el polímero electro-catalítico en conjunto forman el ensamble membrana electrodo (MEA por sus siglas en inglés) de una celda de combustible tipo PEM. Este ensamble es el “corazón” en una celda de combustible y se refiere a la unión de la membrana con su capa de electro-catalizador por cada cara de la misma, con la capa de material difusor; formando un “apilamiento”. Esta unión se realiza aplicando temperatura a 120 [°C], una presión de 110 [atm] y tiempo de 5 [min] adecuados, hasta lograr una adhesión entre los componentes.

El espesor de la membrana en un MEA puede variar de acuerdo a su tipo y puede ser similar al de una hoja de papel. El espesor de la capa de electro-catalizador depende de la cantidad de mezcla de compuestos y solventes que es usada en cada electrodo y la cual es diferente para cada uno de estos. Dicho espesor es de aproximadamente 10 [μm], esto es menor que la mitad del grosor de una hoja de papel y puede contener alrededor de 0.15 [mg] de Pt/cm^2 en el caso del cátodo. Este MEA cuenta con un grosor total aproximadamente de 200 [μm] ó 0.2 [mm] y puede generar más de la mitad de un ampere de corriente por centímetro cuadrado de ensamble con un voltaje de 0.7 [V], pero solo en casos donde se realiza dentro de un sistema de análisis de laboratorio con variables controladas.

La operación de la celda de combustible depende de un ensamble correcto, una aplicación uniforme y la calidad del electro-catalizador.

I.3. Función del ensamble membrana electrodo.

Con el antecedente de la estructura del ensamble membrana electrodo (MEA), en el que observamos los elementos que lo integran, ahora como siguiente paso se describirá la aportación y el funcionamiento de cada uno de estos elementos, los cuales se representan en la siguiente figura.

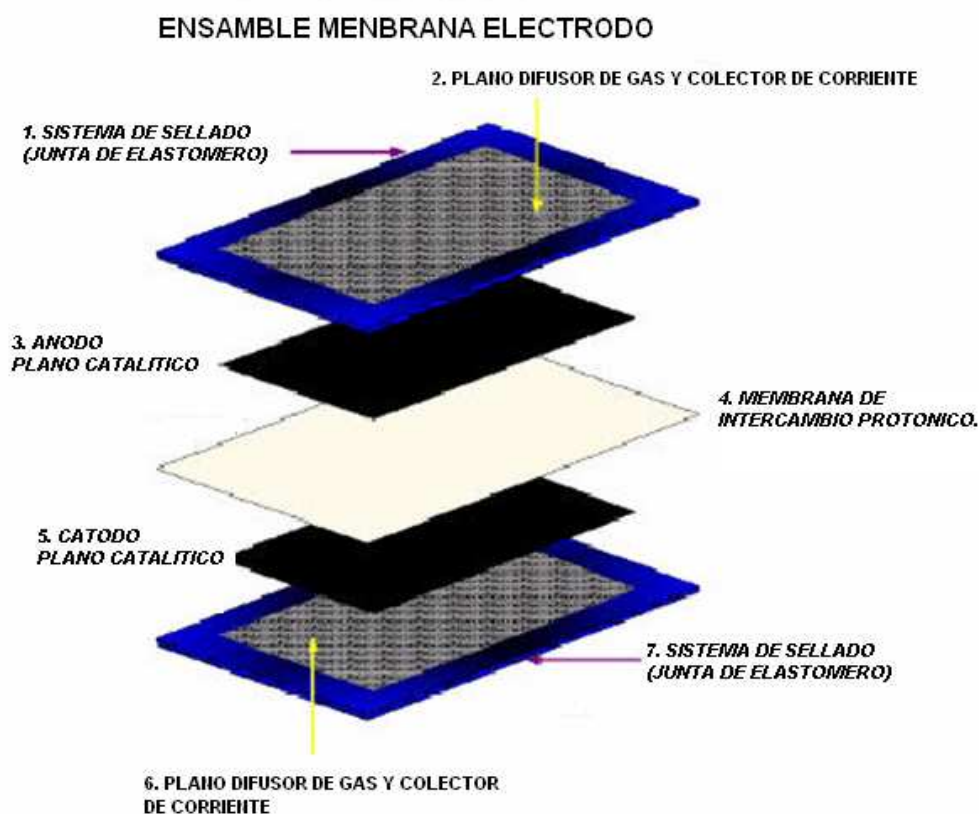


Figura I.1.1. Ensamble Membrana-Electrodo

Los siete elementos que conforman el MEA, se describen a continuación:

1. Sistema de sellado. Este sistema tiene la función de evitar cualquier fuga de gas hidrógeno durante su inserción en el respectivo plano difusor de este gas. Este sistema de sellado tiene una vital importancia, debido a las propiedades físicas del hidrógeno (A 0 [°C] y bajo 1 atmósfera de presión tiene una densidad de 0,089 [g/l]. Su masa atómica es 1,00794 [Uma]), lo cual lo hace un gas complicado de contener.

2. Plano difusor de gas y colector de corriente. Existen diversas configuraciones geométricas de este elemento. Hoy en día no se tiene aun una configuración apropiada correspondiente para un plano difusor más eficiente, este realiza un papel muy importante debido a que además de conducir los reactantes a los electrodos también retiran el agua del producto y reúnen la corriente generada en ambos lados de la membrana.

La difusión de gas hidrógeno, para nuestro caso en estudio, debe ser uniforme sobre el plano catalítico, y así obtener una aplicación de presión lo más homogénea posible en la capa del plano catalítico.

3. Ánodo (plano catalítico). Este elemento está comprendido por una capa de electro-catalizador, el cual a su vez está comprendido por una mezcla de elementos principalmente por óxido de rutenio, cobalto, nafión líquido monómero y etanol. Las figuras siguientes muestran imágenes tomadas en alta resolución en el laboratorio de análisis microestructural (con el microscopio electrónico) de la Facultad de Ingeniería UNAM.

El Pt (catalizador) del recubrimiento acelera el proceso de ionización de hidrógeno, realizado en el plano catalítico en el caso de la membrana tipo PEM.

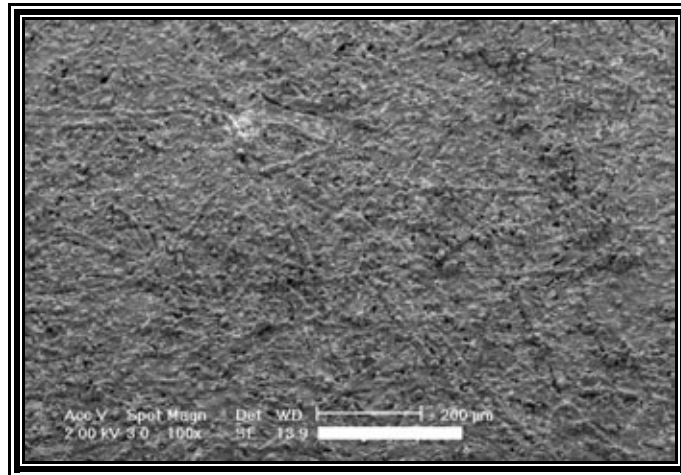


Figura I.1.2. Imagen a 100X. Microestructura de una capa de simulación de electrocatalizador a base de carbono.

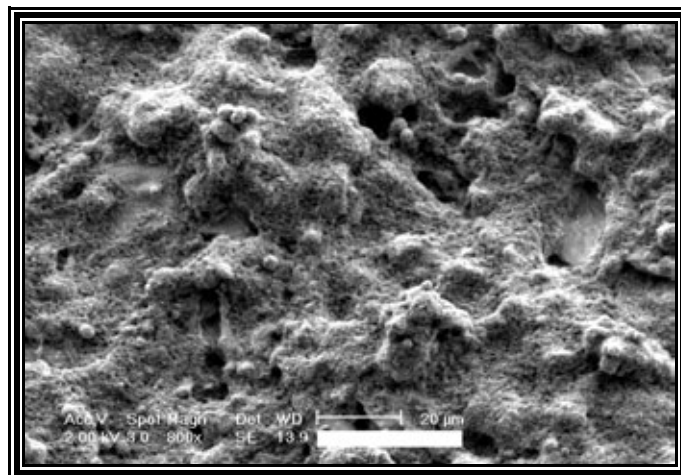


Figura I.1.3. Imagen a 800X. Microestructura de una capa de simulación de electrocatalizador a base de carbono.

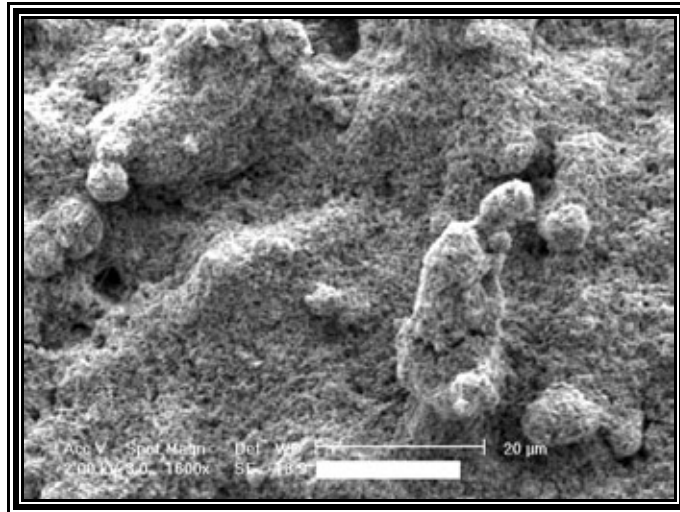


Figura I.1.4. Imagen a 1600X. Microestructura de una capa de simulación de electrocatalizador a base de carbono.

4. Membrana de intercambio protónico. Este elemento es permeable a los iones de hidrógeno debido a sus propiedades poliméricas pero no a los electrones, así es como se genera un flujo de electrones, por los cuales se origina una corriente eléctrica.
5. Cátodo (plano catalítico). Este elemento tiene básicamente platino nanométrico, carbón vulcan, nafion monómero y etanol. El reactante o elemento en cuestión es el oxígeno.
6. Plano difusor de gas y colector de corriente. Este elemento es geométrico al ubicado en la segunda posición, y tiene las mismas características.
7. Sistema de sellado (junta de elastómero). Este elemento es geométrico al ubicado en la primera posición, y tiene las mismas características.

En general, el MEA, es el sistema que se encarga de generar la energía eléctrica y los subproductos en la celda de combustible.

I.4. Composición de catalizadores.

Aunque algunos catalizadores se usan en estado puro (el agente activo solo), la gran mayoría de ellos están formados por varios elementos, entre los cuales los más importantes son:

Tipo	Conductividad	Ejemplos	Función Principal
Metales	Conductores	Pt, Ni, Fe, Cu, Ag.	Hydrogenaciones Deshydrogenaciones
Oxidos y Sulfuros Metálicos	Semiconductores	NiO, ZrO, V ₂ O ₅ , CuO, Cr ₂ O ₃	Oxidaciones Reducciones Desulfuración
Oxidos Metálicos	No conductores	Al ₂ O ₃	Deshidratación Isomerización
Acidos	No conductores	SiO ₂ -Al ₂ O ₃ H ₃ PO ₄	Cracking Isomerización Alquilación Polimerización

Tabla I.2.1. Elementos que conforman algunos catalizadores.

Agente Activo: Es propiamente la sustancia catalítica y la que produce la aceleración de la reacción química. Los ejemplos citados en la tabla I.2.1 son casos típicos.

Soporte: Es una sustancia generalmente muy poco activa en la reacción de gran superficie específica y porosidad, cuyo objetivo principal es extender el área del agente activo.

Muchas sustancias se utilizan como soportes. En la tabla I.2.2 se indican algunas de las más usadas comercialmente, junto con el rango aproximado de su superficie específica.

Sustancia Soporte	Superficie Específica (m ² /g)
Carbón Activado	500-1500
Gel de sílice	200-800
Aluminas activadas (γ y η - Al ₂ O ₃)	100-500
Silico-Aluminas (SiO ₂ -Al ₂ O ₃)	200-500
Arcillas naturales	100-200
Kieselgurhr	1
α - alúmina	1

Tabla I.2.2. Elementos que se utilizan como soporte el los catalizadores de la tabla I.2.1

Respecto a la acción catalítica del soporte, en la mayoría de los catalizadores es mínima o inexistente, como se ha señalado. Su participación se reduce a servir de base o esqueleto de la fase activa. Ambas sustancias manifiestan propiedades catalíticas ácidas que se suman a la acción del metal y dan lugar a un catalizador bifuncional.

Promotores: Son sustancias químicas que se agregan al catalizador con el objeto de mejorar sus cualidades. Dichas sustancias son muy poco activas catalíticamente, o no lo son, pero adicionadas a un agente activo aumentan significativamente su eficiencia. En general, se agregan en una proporción muy inferior a la del material activo.

No siempre es posible explicar la acción del promotor, si bien en algunos casos se ha observado intervención de tipo físico, que consiste en estabilizar las características estructurales del sólido; en otros casos, ha sido de tipo químico o electrónico, que favorece la transferencia de electrones entre reactivos y catalizador.

En el presente trabajo de tesis, los elementos que aplican en el estudio de la membrana, son el carbón activado (como elemento de soporte), y el platino (como elemento activo). Las pruebas en este trabajo fueron simulaciones con una solución a base de carbono, tal y como se menciona en las figuras I.1.2.a I.1.4 y además en estas, no se utilizó platino debido a su elevado costo.

I.5. Procesos para la activación de la membrana.

Actualmente las celdas de combustible son una tecnología experimental, sin embargo se han realizado avances significativos en la aplicación de dichas tecnologías. Por lo tanto, cada sistema es construido de forma manual utilizando materiales producidos en pequeñas cantidades. Es un proceso caro, y aun más dependiendo de su tamaño y aplicación.

Una forma de activación consiste en 4 baños, en cada uno de los baños se mantiene una temperatura constante de 80[°C]:

- Baño de 1hr en H₂O₂ al 3% en volumen.
Remueve las impurezas orgánicas de la membrana.
- Baño de 1 hr en H₂O desionizada.
Disuelve las impurezas que hayan quedado en la superficie e hidrata.
- Baño de 1hr en H₂SO₄ 2M.
Remueve los contaminantes de iones metálicos.
- Baño de 1hr en H₂O desionizada
Remueve el H₂SO₄ de la superficie e hidrata la membrana.

I.6. Procesos que se realizan actualmente para la aplicación del recubrimiento en las membranas.

Actualmente se tiene conocimiento de la aplicación de este electro-catalizador, realizado en algunas instituciones de investigación, tal es el caso del CINVESTAV-IPN (Centro de Investigaciones y Estudios Avanzados), en el que se han publicado reportes como el siguiente, que se basa en el diseño y construcción de un electrolizador y una pila de combustible para producir energía eléctrica libre de contaminantes, asesorada por el doctor Omar Solorza Feria

De este reporte se desprende el siguiente párrafo.

“Preparación de las soluciones catalíticas para el electrolizador.

Se prepararon dos diferentes tipos de soluciones catalíticas, una para el ánodo y otra para el cátodo.

La solución catalítica del ánodo contiene, óxido de rutenio y cobalto, nafion líquido monómero y etanol.

La solución catalítica del cátodo contiene platino nanométrico, carbón vulcan, nafion, monómero y etanol.

Las soluciones se prepararon como se describe a continuación:

- Se pesó la cantidad calculada de cada catalizador en una balanza analítica.
- Se le agregó al vial una cantidad de catalizador, y después nafion monómero al 5% y al último alcohol etílico.
- Por último se agitó la mezcla de compuestos y solventes en un ultrasonido (BRANSON 2210) por 10 minutos para fragmentar los sólidos.

Aplicación de la solución catalítica a las membranas por aspersion mediante un modulo semiautomático:

- Se aplicó la solución catalítica para el ánodo en el aerógrafo con agitación para evitar precipitados que tapen el aerógrafo, se aplicó por capas.

1. El espinazo de fluorocarbono es parecido al teflón
2. Cadenas de lado, que contactan el espinazo molecular a la región tercera.
3. Grupos de iones de ácido sulfónico

- Análogamente se pintó por la otra cara de la membrana, con la tinta catalítica para el cátodo.

- Ya recubiertos ambos lados, se planchó en caliente la membrana protegida por 2 cubiertas de teflón a 120 [°C] y 110 [atm] por am bos lados por 5 [min].
- Se sacó de la plancha y se dejó secar.

En estas se realiza la aplicación del electro-catalizador, por medio de un aerógrafo y operando este de forma semiautomática (manual).”¹

Dada la importancia de las características funcionales del electro-catalizador dentro del ensamble membrana electrodo así como la aplicación de este a las membranas PEM, se plantearán en el capítulo II, los problemas en la aplicación de esta solución catalítica así como sus soluciones.

¹ <http://www.HidrogenoyCelulasdecombustible.htm>, junio 2005

Capítulo II

*Planteamiento del problema y
soluciones.*

II.1. Introducción.

En el presente capítulo se expone el problema que se tiene en la aplicación del recubrimiento electro-catalizador sobre la membrana de intercambio protónico de la celda de combustible tipo PEM. Para diseñar una solución se enlistan una serie de requerimientos que se deben satisfacer para cumplir con el objetivo, de esa forma se obtuvo un diseño conceptual de un prototipo y así se generaron alternativas para evaluarlas y se llegó a una serie conjunta de soluciones a este problema.

II.2. Definición del problema.

En instituciones como el CINVESTAV y el IIE (Instituto de Investigaciones Eléctricas) se han generado técnicas de aplicación del electro-catalizador (recubrimiento) sobre la membrana tipo PEM. La aplicación la han realizado de forma manual con un aerógrafo comercial, inclusive con pincel. Sólo mediante la práctica logran medianamente acercarse a la repetitividad (control de la aplicación). Además de que esta labor lleva tiempo y en consecuencia el desperdicio de material de platino que ocasiona un costo elevado.

Al carecer de un control de la aplicación de la capa del electro-catalizador así como la homogeneidad que se requiere en toda el área, se ocasiona que los experimentos con monoceldas tengan variación de resultados, bajo las mismas condiciones de operación.

Considerando los puntos anteriores, se propone en el presente trabajo realizar el proceso de aplicación mediante un sistema automático que sustituya la aplicación manual y asimismo genere una aplicación homogénea de la solución.

II.3 Descripción de requerimientos.

Los requerimientos para la aplicación del electro-catalizador que se consideraron debido a los problemas específicos presentados durante la aplicación tradicional son:

1. Se partió desde el punto en que se requirió una superficie de trabajo plana y de tamaño considerable para colocar el material (membrana de intercambio protónico), de la cual existen en de diferentes dimensiones, a las que el sistema se adaptó.
2. Para realizar la aplicación del electro-catalizador, se necesitó un dispositivo para aplicar una finísima película de esta solución, que fuese confiable, ligero, con la flexibilidad de variar el flujo para realizar las pruebas necesarias y encontrar los parámetros adecuados, obteniendo así mejoras continuas en la eficiencia de las celdas de combustible.

Para obtener la homogeneidad en toda la superficie a cubrir, se requiere de una aplicación tipo barrido sobre ésta. Aunado a esto se requieren elementos que activen a este dispositivo de aplicación

3. Obtener repetividad en la aplicación y controlar en este proceso variables como la homogeneidad y velocidad.

4. Se deben tener dos alternativas como medio de operación de los parámetros antes mencionados, una usando una computadora, y otra en ausencia de esta.

5. Se necesitó un dispositivo para el control que permita el manejo y lectura de periféricos (entrada y salida).

6. Es indispensable una memoria de almacenamiento de datos para el uso de la opción semiautomática. Datos necesarios para la definición del área de la membrana y realizar las repeticiones para llevar a cabo la aplicación.

7. Para habilitar la forma semiautomática se debió valorar los parámetros de velocidad y distancia de recorridos para dimensionarlos en función de las características buscadas en las aplicaciones.

8. Es imprescindible un cero máquina (**home**), para definir en todo momento el punto de inicio del proceso, así como la referencia de la posición del mecanismo terminal.

9. Para el movimiento de dispositivos, se dispuso de actuadores (motores, y elementos de transmisión de movimiento).

10. Se debe considera estabilidad para evitar el “cabeceo” del soporte final y evitar las irregularidades en la aplicación del electro-catalizador.

II.4. Diseño conceptual.

El diseño conceptual trata del producto en forma global, es decir no se pretende estudiar el diseño a detalle de los subsistemas y componentes del producto, sino que se enfoca en su apariencia general, funciones principales y posibles soluciones, para ello se retomaron los puntos realizados durante la fase de definición de requerimientos.



Diagrama II.1. Diseño conceptual del sistema aplicador de electrocatalizador.

II.5. Generación de alternativas.

Después de analizar el problema y los requerimientos, a continuación se plantearon soluciones que posteriormente se evaluaron para obtener la que cumplió las expectativas, considerando en este punto los elementos con que se cuenta para su elaboración, como es el caso del plotter de cama plana y el aerógrafo.

En seguida se describen éstas alternativas por sistemas (control, y mecánico).

II.5.1. Sistema de control.

Para el sistema de control se tiene que un **microcontrolador** es el adecuado ya que este dispositivo es un **microprocesador** que cuenta con memoria para almacenar programas y datos, así como puertos de entrada/salida que le permiten comunicarse con los periféricos con los cuales se interrelaciona al recibir señales de éstos, y con otros dispositivos.

El microcontrolador común tiene terminales para la conexión externa de entradas y salidas, alimentación eléctrica, señales de reloj y control. Las conexiones de entrada y salida se agrupan en unidades denominadas puertos de entrada/salida. Por lo general cada puerto tienen ocho líneas para transportar una palabra de datos de 8 bits, los puertos son de entrada o salida o bidireccionales.

Entre los microcontroladores de 8 bits de uso común se tiene como alternativas los de Motorola, Intel y Microchip, de los que a continuación se muestran sus características principales para así posteriormente evaluarlas y obtener el dispositivo más adecuado.

Motorola;

Cuenta con dos familias básicas de microcontroladores de 8 bits: el 68H0C05, que es la versión económica, y el M68HC11 que se basa en el microprocesador 6800 de Motorola, el cual es muy utilizado para sistemas de control. Hay diversas versiones, las diferencias se deben al tipo de memoria RAM, ROM, EPROM, EEPROM y las características del registro de configuración. Por ejemplo, la versión 68HC11A8 tiene 8 [k bytes] de ROM, 512 bytes de EEPROM, 256 bytes de RAM, un sistema de temporización de 16 bits, una interfase serial síncrona, una interfase de comunicación serial sin retorno a cero asíncrona, un convertidor analógico a digital de 8 bits, 8 canales para las entradas analógicas y cinco puertos A, B, C, D, y E. El siguiente listado muestra las características estándar del HC11. Su hoja de especificaciones se puede ver en el apéndice A1.

- 256 bytes de memoria RAM.
- 512 bytes de memoria EEPROM.
- 5 puertos de 8 bits, con pines de entrada, salida y de entrada/salida.
- Frecuencia de oscilación externa de 8 MHz máxima.
- Conversor analógico-digital de 8 bits de resolución.
- Arquitectura de procesador Harvard.
- Juego de 143 instrucciones.

Intel:

El más común de los microcontroladores de Intel es el 8051, el cual tiene cuatro puertos de entrada/salida en paralelo: los puertos 0, 1, 2, y 3. los puertos 0, 2 y 3 también desempeñan funciones alternas. La versión 8051AH tiene una memoria ROM de 4 [K], una memoria de RAM de 128 bytes, dos temporizadores y un control de interrupción para cinco fuentes. La hoja de especificaciones se puede ver en el apéndice A2. El siguiente listado muestra las características estándar.

- 128 bytes de memoria RAM.
- 4 K de memoria ROM.
- 4 puertos de 8 bits de entrada, salida y de entrada/salida.
- 12 MHz máxima de frecuencia de oscilación externa.

- Convertidor analógico a digital de 8 bits de resolución.
- Arquitectura de procesador Harvard.
- Juego de 111 instrucciones.

Microchip:

De entre las familias de microcontroladores de 8 bits, la más empleada es la de Microchip PIC16F87X. Para designar sus microcontroladores de un solo chip se utiliza el término PIC (controlador de interfase de acoplamiento con periféricos, por sus siglas en inglés). El PIC 16F877 es de los micros más completos de la gama media. La hoja de especificaciones se puede ver en el apéndice A3. El siguiente listado muestra las características estándar.

- Memoria de Programa FLASH de 8 kb.
- Arquitectura de procesador Harvard.
- Memoria RAM 256 bytes.
- Memoria EEPROM 256 bytes.
- 33 pines en 5 puertos de entrada, salida y de entrada/salida.
- Frecuencia máxima de oscilación de 20 MHz, 200 ns por ciclo de instrucción.
- Convertidor analógico a digital de 8 canales con una resolución de 10 bits.
- Arquitectura de instrucciones RISC.
- Juego de 35 instrucciones.

La arquitectura Harvard permite acceder de manera simultánea e independiente a la memoria de datos y a la memoria de instrucciones facilitando el trabajo en paralelo de las dos memorias, lo que permite tener alto rendimiento.

La arquitectura RISC (computadora de juego reducido de instrucciones) permite que las operaciones que realizan las instrucciones sean ejecutadas en un solo ciclo de instrucción.

La memoria RAM (Random Access Memory, por sus siglas en inglés), es una memoria de acceso aleatoria donde se guardan datos del programa en ejecución.

La memoria ROM (Read Only Memory, por sus siglas en inglés), es una memoria de solo lectura donde se guarda un programa específico del fabricante.

La memoria EEPROM (Electrical Eraser Program Read Only Memory, por sus siglas en inglés), es una memoria de solo lectura que es eléctricamente borrable y programable por el usuario.

La frecuencia de oscilación, es la rapidez de procesamiento de instrucciones, la cual se mide en ciclos por segundo.

El convertidor analógico-digital transforma valores de voltaje a valores digitales.

El juego de instrucciones es el número de comandos necesarios para la programación.

Los puertos de entrada y salida son puntos de comunicación de recepción y transmisión de pulsos

Motores.

En la selección de los motores se plantearon cuatro posibles opciones, de las cuales se muestran sus principales características de acuerdo a los requerimientos del sistema.

Características de los motores de corriente continua.

Este tipo de motores son los más usados en la actualidad debido a las facilidades en su control. En este caso, se utiliza en el propio motor un sensor de posición (**encoder**) para realizar su control.

Las velocidades de rotación que se consiguen con estos motores son del orden de 1000 a 3000 [rpm] con un comportamiento suficientemente lineal y mejoras constantes de tiempo. La potencia que puede manejar puede llegar a los 10 [kW].

Los motores de DC son controlados mediante referencias de velocidad. Estas normalmente son seguidas mediante un **bucle** de retroalimentación de velocidad analógica que se cierra mediante una electrónica de potencia y control (accionador del motor).

Sobre este bucle de velocidad se coloca otro de posición, en el que las referencias son generadas por la unidad de control (microprocesador) sobre la base del error entre la posición deseada y la real.

El motor de corriente continua presenta el inconveniente del mantenimiento obligado de las escobillas. Por otra parte, no es posible mantener el par con el rotor parado más allá de un par de segundos, debido a los calentamientos que se producen en el colector. Para evitar estos problemas, se han desarrollado en los últimos años motores sin escobillas.

Características de los motores de corriente alterna.

Este tipo de motores no habían tenido aplicación en la robótica hasta hace unos años, debido fundamentalmente a la dificultad de su control. Sin embargo, las mejoras que se han introducido en las máquinas síncronas hacen que se presenten como un claro competidor de los motores de corriente continua. Tiene convertidores estáticos que permiten variar la frecuencia, y así la velocidad de giro con facilidad y precisión. Emplean la microelectrónica que permite una gran capacidad de control.

El motor síncrono auto pilotado excitado con un imán permanente, también llamado motor senoidal, no presenta problemas de mantenimiento debido a que no posee escobillas y tiene una gran capacidad de disipación de calor, ya que los devanados están en contacto directo con la carcasa. El control de posición se puede realizar sin la utilización de un sensor adicional, aprovechando el detector de posición del rotor que posee el propio motor. Además permite desarrollar, a igualdad de peso, una potencia mayor que el motor de corriente continua.

En la actualidad diversos robots industriales emplean este tipo de accionamientos con notables ventajas frente a los motores de corriente continua. En el caso de los motores asíncronos, no se ha conseguido resolver satisfactoriamente los problemas de control que presentan. Esto ha hecho que hasta el momento no tengan aplicación en robótica.

Características de los servomotores.

Un servomotor (también llamado servo) es un dispositivo similar a un motor de corriente continua, que tiene la capacidad de ubicarse en cualquier posición dentro de su rango de operación, y mantenerse estable en dicha posición. Está conformado por un motor, una caja reductora y un circuito de control. Los servos se utilizan frecuentemente en sistemas de radio control y en robótica, pero su uso no está limitado a estos. Es posible modificar un servomotor para obtener un motor de corriente continua que, si bien ya no tiene la capacidad de control del servo, conserva la fuerza, velocidad y baja inercia que caracteriza a estos dispositivos.

Dependiendo del modelo del servo, la tensión de alimentación puede estar comprendida entre los 4 y 8 [V]. El control de un servo se reduce a indicar su posición mediante una señal cuadrada de voltaje. El ángulo de ubicación del motor depende de la duración del nivel alto de la señal. Cada servomotor, dependiendo de la marca y modelo utilizado, tiene sus propios márgenes de operación.

Para un cierto servomotor, los valores posibles de la señal en alto están entre 0.3 y 2.1 [ms], que posicionan al motor en ambos extremos de giro (0° y 180° , respectivamente). El valor 1.2 [ms] indica la posición central, y otros valores de duración del pulso dejarían al motor en la posición proporcional a dicha duración.

Es sencillo notar que, para el caso del motor anteriormente mencionado, la duración del pulso alto para conseguir un ángulo de posición θ estará dada por la fórmula

$$t = 0.3 + \theta/100 \dots\dots\dots (1)$$

Para bloquear el servomotor en una posición, es necesario enviarle continuamente una señal con la posición deseada. De esta forma el servo conservará su posición y se resistirá a fuerzas externas que intenten cambiarlo de posición. Si los pulsos no se envían, el servomotor queda liberado, y cualquier fuerza externa puede cambiarlo de posición fácilmente.

Características de los motores a pasos.

En los últimos años se han mejorado notablemente sus características técnicas, especialmente en lo relativo a su control, lo que ha permitido fabricar motores paso a paso capaces de desarrollar suficiente par en pequeños pasos para su uso como accionamientos industriales.

Existen tres tipos de motores paso a paso:

- De imanes permanentes.

- De reluctancia variable.

- Híbridos.

En los primeros, de imanes permanentes, el rotor, que posee una polarización magnética constante, gira para orientar sus polos de acuerdo al campo magnético creado por las fases del estator. En los motores de reluctancia variable, el rotor está formado por un material ferro-magnético que tiende a orientarse de modo que facilite el camino de las líneas de fuerza del campo magnético generado por las bobinas de estator. Los motores híbridos combinan el modo de funcionamiento de los dos anteriores.

En los motores paso a paso la señal de control son trenes de pulsos que van actuando rotativamente sobre una serie de electroimanes dispuestos en el estator. Por cada pulso recibido, el rotor del motor gira un determinado número discreto de grados.

Para conseguir el giro del rotor en un determinado número de grados, las bobinas del estator deben ser excitadas secuencialmente a una frecuencia que determina la velocidad de giro. Las inercias propias del arranque y parada (aumentadas por las fuerzas magnéticas en equilibrio que se dan cuando está parado) impiden que el rotor alcance la velocidad nominal instantáneamente, y por tanto la frecuencia de los pulsos que la fija, debe ser aumentada progresivamente.

Su principal ventaja con respecto a los servomotores tradicionales es su capacidad para asegurar un posicionamiento simple y exacto. Pueden girar además de forma continua, como motores síncronos, ser sincronizados entre sí, obedecer a secuencias complejas de funcionamiento su velocidad se puede controlar fácilmente, tiene una larga vida, son pequeños, robustos y poseen un elevado torque en bajas revoluciones, lo que permite un bajo consumo tanto en vacío como

en plena carga, su mantenimiento es mínimo, debido a que no tienen escobillas, etc.

Al mismo tiempo son muy ligeros, fiables, y fáciles de controlar pues estos motores permiten el avance de su eje en ángulos muy precisos y por pasos en las dos posibles direcciones de movimiento (horario y antihorario). Aplicando a ellos una determinada secuencia de señales digitales, avanzan por pasos hacia un lado u otro y se detienen exactamente en una determinada posición.

Cada paso tiene un ángulo muy preciso, determinado por la construcción del motor, lo que permite realizar movimientos exactos sin necesidad de un sistema de control por lazo cerrado.

Su potencia nominal es baja y su precisión (mínimo ángulo girado) llega típicamente hasta 1.8° . Se emplean para el posicionado de ejes que no precisan grandes potencias (giro de pinza) o para robots pequeños. También son muy utilizados en dispositivos periféricos del robot, como mesas de coordenadas.

II.5.3. Sistema mecánico.

El diseño mecánico se planeó en base a las funciones requeridas por el dispositivo, es decir, el diseño del sistema aplicador de electro-catalizador manipulador es flexible (capacidad de modificar; movimientos en tres direcciones X, Y, y Z, velocidad de los dispositivos móviles, cantidad de electro-catalizador a aplicar) y tiene como objetivo realizar el movimiento coordinado lineal de sus eslabones, con el fin de controlar las posiciones de cada eslabón, a los que llamaremos (RX, RY, RZ), por lo que el diseño se debe en gran parte a la creatividad e ingenio sustentable para el desarrollo del mismo. El diseño se modeló con el software de Solid Works.

El diseño del SAE (Sistema Aplicador de Electro-catalizador) es de características y estructura parecida a la de un robot industrial, pero con aportaciones de ideas nuevas (elementos de sujeción y manipulación) sobre el diseño, con el fin de activar un aerógrafo para la aplicación del electro-catalizador sobre las membranas.

Para el diseño se analizaron las diferentes configuraciones de los brazos robóticos, de las cuales mencionaremos las configuraciones más comunes: a) cartesiana, b) cilíndrica, c) polar y d) angular, que se muestra en la siguiente figura.

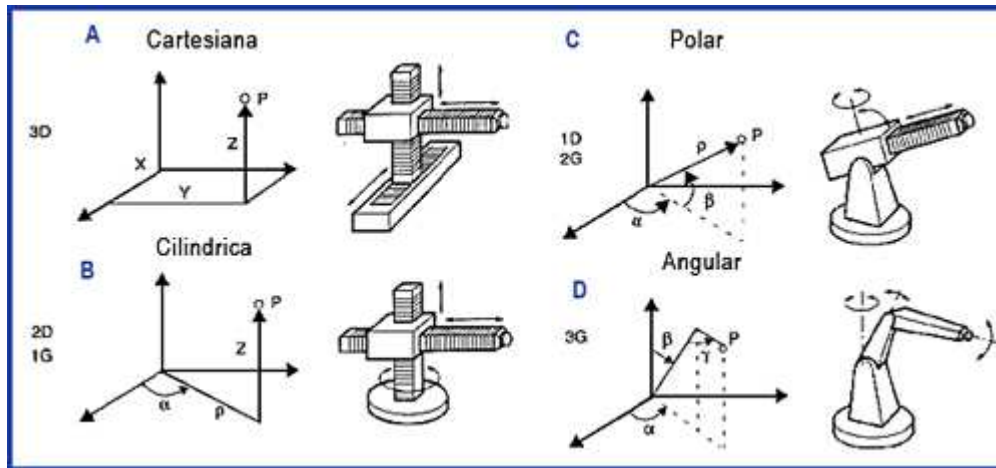


Figura II.1. Estructuras de configuraciones robots manipuladores
a) Cartesiana, b) cilíndrica, c) polar y d) angular.

Cartesiana. Este tipo de robot utiliza tres dispositivos deslizantes perpendiculares para construir los ejes x, y, z.

Cilíndrica. Utiliza una columna vertical y un dispositivo de deslizamiento que puede moverse hacia arriba o abajo a lo largo de la columna. El brazo del robot está unido al dispositivo deslizante de modo que puede moverse en sentido radial con respecto a la columna que puede girar.

Polar. Utiliza un brazo telescópico que puede elevarse o bajar al rededor de un pivote horizontal. Este pivote está montado sobre una base giratoria. Estas articulaciones proporcionan al robot la capacidad para desplazar su brazo dentro de un espacio esférico, y de aquí la denominación de robot de “coordenadas esféricas” que suelen aplicar a este tipo.

Angular. Es similar a la del brazo humano, está constituido por dos componentes rectos que simulan el brazo o antebrazo humano. Estos componentes están conectados por las articulaciones giratorias que asemejan el hombro y codo y una muñeca está al final del brazo del robot.

II.6 Evaluación de alternativas y solución a los requerimientos.

Para elegir la mejor opción de cada una de las disciplinas, se elaboró una matriz de decisión, ya que es un método efectivo y eficiente. Este método se basa en la construcción de una matriz en la que se colocan en el eje horizontal las posibles opciones que son probables soluciones y con las distintas características deseables o categorías que serán evaluadas y colocadas en el eje vertical. A cada una de las categorías se le asigna un factor de ponderación que se determina la

importancia relativa de esa característica (0 si no es importante y 1 si es importante), además de una calificación según cumpla con la categoría.

En este trabajo tomaremos la siguiente escala:

Desempeño relativo	Calificación
Mucho peor	1
Peor	2
Mejor	3

Tabla II.1. Valores de calificación según el desempeño de los elementos propuestos en la matriz de decisión.

Una vez que se han ingresado las calificaciones para cada concepto, las puntuaciones ponderadas se calculan multiplicando las puntuaciones de la fila por la importancia de los criterios. La puntuación final para cada concepto es la suma de las puntuaciones ponderadas¹:

$$S_j = \sum_{i=1}^n r_{ij} w_i \dots\dots\dots(2)$$

r_{ij} = calificación de la fila de concepto j para el criterio.

w_i = ponderación para el criterio i-ésimo.

n = número de criterios.

S_j = puntuación total del concepto.

II.6.1. Selección de un microcontrolador, configuración mecánica y motores.

Al elegir un microcontrolador se deben de considerar los siguientes factores:

1. Número de puertos de entrada/salida.

¿Cuántos puertos de entrada/salida son necesarios para realizar la tarea respectiva?.

2. Necesidades de memoria.

¿Qué capacidad de memoria se necesita para llevar a cabo una tarea?.

3. Velocidad de procesamiento requerida.

El microprocesador requiere de tiempo para ejecutar una instrucción.

¹ Diseño y Desarrollo de Productos, Kart T. Ulrich, 3 ed, Ed. McGraw-Hill, pag 136.

4. Tipo de convertidor analógico digital.

Capacidad de la resolución.

5. Programación.

Complejidad en la estructuración de la programación.

	No. E/S	Memoria	Velocidad	Resolución de C a/d	Facilidad de programación	Total	%
No. E/S	0	1	0	1	1	3	30
Memoria	0	0	1	0	1	2	20
Velocidad	1	0	0	0	0	1	10
Resolución de C a/d	0	1	1	0	1	3	30
Facilidad de programación	0	0	1	0	0	1	10

Tabla II.2. Ponderación para la selección del microcontrolador.

El siguiente listado muestra las características estándar.

De la columna de valores totales se observan los valores que representan la importancia de cada característica, las cuales se aplicaron a la matriz de decisión de la tabla II.3.

Propuestas	No. E/S 0.3		Memoria 0.2		Velocidad 0.1		Resolución de C a/d 0.3		Facilidad de programación 0.1		Total
M68HC11	3	0.9	3	0.6	1	0.1	2	0.6	1	0.1	2.3
8051	2	0.6	2	0.4	2	0.2	2	0.6	2	0.2	2
PIC16F877	2	0.6	3	0.6	3	0.3	3	0.9	3	0.3	2.7

Tabla II.3. Matriz de decisión para el microcontrolador.

El microcontrolador que mejor cumple con los requerimientos evaluados en la matriz, es el PIC16F877.

	Tamaño	Par	Control	Inercia	Costo	Manto	Consumo de energía	Total	%
Tamaño	0	0	0	1	0	1	0	2	9.52
Par	1	0	0	1	1	1	0	4	19.05
Control	1	1	0	1	1	1	1	6	28.57
Inercia	0	0	0	0	0	1	0	1	4.76
Costo	1	0	0	1	0	0	0	2	9.52
Manto	0	0	0	0	1	0	0	1	4.76
Consumo de energía	1	1	0	1	1	1	0	5	23.81

Tabla II.4. Ponderación para la selección de los motores de los rieles y carros.

De la columna de valores totales se observan los valores que representan la importancia de cada característica, las cuales se aplicaron a la matriz de decisión de la tabla II.5.

	Tamaño		Par		Control		Inercia		Costo		Mantenimiento		Consumo de energía		Total
	9.52	%	19.1	%	28.6	%	4.76	%	9.52	%	4.76	%	23.8	%	
CA	2	1.9	3	5.71	1	2.86	1	0.48	2	1.9	2	0.95	2	4.76	18.57
CD	2	1.9	3	5.71	2	5.71	1	0.48	2	1.9	2	0.95	2	4.76	21.43
M a pasos	2	1.9	2	3.81	3	8.57	3	1.43	1	0.95	3	1.43	3	7.14	25.24
Servomotore	2	1.9	3	5.71	2	5.71	3	1.43	1	0.95	2	0.95	3	7.14	23.81

Tabla II.5. Matriz de decisión para los motores de los rieles y carros.

De la tabla se observa que el motor que mejor cumple con los requerimientos es el motor a pasos.

	Tamaño	Par	Control	Inercia	Costo	Manto	Consumo de energía	Total	%
Tamaño	0	1	1	1	1	1	0	5	23.81
Par	0	0	0	1	1	1	0	3	14.29
Control	0	1	0	1	0	1	0	3	14.29
Inercia	0	0	0	0	1	1	0	2	9.52
Costo	0	0	1	0	0	0	1	2	9.52
Manto	0	0	0	0	1	0	0	1	4.76
Consumo de energía	1	1	1	1	0	1	0	5	23.81

Tabla II.6. Ponderación para la selección de los motores de los accionadores del aerógrafo..

De la columna de valores totales se observan los valores que representan la importancia de cada característica, las cuales se aplicaron a la matriz de decisión de la tabla II.7.

	Tamaño		Par		Control		Inercia		Costo		Mantenimiento		Consumo de energía		Total
	23.8	%	14.3	%	14.3	%	9.52	%	9.52	%	4.76	%	23.8	%	
CA	2	4.76	3	4.29	1	1.43	1	0.95	2	1.9	2	0.95	2	4.76	19.05
CD	2	4.76	3	4.29	2	2.86	1	0.95	2	1.9	2	0.95	2	4.76	20.48
M a pasos	2	4.76	2	2.86	3	4.29	3	2.86	2	1.9	3	1.43	2	4.76	22.86
Servomotores	3	7.14	3	4.29	2	2.86	3	2.86	1	0.95	2	0.95	3	7.14	26.19

Tabla II.7. Matriz de decisión para los motores de los accionadores del aerógrafo..

De la tabla se observa que el motor que mejor cumple con los requerimientos es el servomotor.

	Costo	Simplicidad y funcionalidad	Facilidad de operación	Facilidad de construcción	Compatibilidad con lo existente	Total	%
Costo	0	0	1	0	0	1	10
Simplicidad y funcionalidad	1	0	0	1	0	2	20
Facilidad de operación	0	1	0	1	1	3	30
Facilidad de construcción	1	0	0	0	0	1	10
Compatibilidad con lo existente	1	1	0	1	0	3	30

Tabla II.8. Ponderación para el diseño mecánico.

De la columna de valores totales se observan los valores que representan la importancia de cada característica, las cuales se aplicaron a la matriz de decisión de la tabla II.9.

Propuestas	Costo 10%		Simplicidad y funcionalidad 20%		Facilidad de operación 30%		Facilidad de construcción 10%		Compatibilidad con lo existente 30%		Total
Cartesiana	3	0.3	3	0.6	3	0.9	3	0.3	3	0.9	3
Cilíndrica	2	0.2	2	0.4	2	0.6	2	0.2	3	0.9	2.3
Polar	1	0.1	1	0.2	2	0.6	2	0.2	1	0.3	1.4
Angular	1	0.1	1	0.2	1	0.3	1	0.1	1	0.3	1

Tabla II.9. Matriz de decisión para el diseño mecánico.

La configuración que mejor cumple con los requerimientos evaluados en la matriz, es la cartesiana.

II.6.2. Solución a los requerimientos.

Se tiene una serie de soluciones en cuatro casos dados por las matrices de decisión y en otros casos el análisis se limita debido a los materiales con los que se cuenta para la construcción y por las características de los dispositivos existentes como es el caso del aerógrafo. Las soluciones se enumeran de acuerdo a la lista de requerimientos planteados en el punto II.3 que son las siguientes:

1. Se tiene un plotter de mesa obsoleto, el cual tiene una superficie plana y suficientemente amplia, el cual soluciona de manera satisfactoria este requerimiento.
2. Para la aplicación de la capa de electro-catalizador sobre las membranas tipo PEM se propone que el dispositivo con mayor cumplimiento en cuanto al requerimiento se refiere, es un aerógrafo, ya que tiene la capacidad de aplicar recubrimientos sumamente finos de espesor y manejan diferentes materiales como son: acrílicos, tintas, acuarelas, pinturas, lacas, barnices y aceites. En general estos dispositivos tienen un rango de trabajo de 20 a 30 [psi], es de simple acción. Para obtener los espesores de recubrimiento requeridos, bastará entre otros aspectos, el cambiar las boquillas de este dispositivo que por lo general se encuentran en el tipo grueso, mediano y fino así como de variar la distancia de aplicación hacia el objetivo. En el apéndice B se muestra la imagen y características del aerógrafo que mejor se adapta a esta tarea.

El control de la abertura de las válvulas del aerógrafo, debe ser solucionado con la implementación de actuadores independientes, los cuales pueden ser motores, con la restricción de que estos deben ser lo suficientemente pequeños para evitar un peso excesivo e innecesario en este sistema de aspersión, ya que deberá ser montado como parte del mecanismo terminal, que se montó sobre el CY (carro que se mueve en la dirección del eje Y).

3. Para obtener la homogeneidad sobre la superficie a cubrir, se tiene una aplicación tipo barrido, conjugada con la velocidad, posición y de los elementos, así como de la cantidad de solución que aplica el aerógrafo.

4. Los micro-controladores tienen comunicación serial con la PC, brindando la flexibilidad de variar los parámetros que definen la velocidad, tiempos y posiciones con la precisión adecuada para el modo automático. Para el modo semiautomático se usará la función de los convertidores analógico-digital del microcontrolador para que actúen con resistores variables que serán manipulados por el usuario y estos envíen señales analógicas para ser leídas y almacenadas de forma digital en las variables correspondientes de cada parámetro a variar. En el modo manual, se integrará en el sistema un circuito de botones digitales para la manipulación del mecanismo terminal sobre los ejes "X" y "Y".

5. El uso del microcontrolador adecuado, satisface el requerimiento de entradas y salidas suficientes para el control de distintos periféricos aportando mayor flexibilidad.

6. La memoria se cubre con la del microcontrolador, ya que como se ha visto en las características de este micro, la memoria interna es de amplia capacidad y en ella se reescribe o modifica el programa de acuerdo a las instrucciones de la PC o a las lecturas periféricas respectivamente para delimitar el área de trabajo, en conjunto con cuatro sensores de contacto que estarán ubicados estratégicamente en los extremos cartesianos. Estos sensores serán movibles y así se proporcionará al sistema la posibilidad de modificar las dimensiones del área de trabajo.

7. Se implementó el circuito de botones digitales y potenciómetros para medir la distancia y velocidad que el dispositivo debió tener en la forma semiautomática antes de iniciar en forma la aplicación del electro-catalizador.

8. El cero máquina se tomó como un sensor de contacto, el cual se fijó en un punto específico que indica siempre el punto de partida de los movimientos generados por el programa. Este sensor es uno de los cuatro sensores que delimitan el área de trabajo.

9. Se determinaron en base a las matrices de decisión dos tipos de motores a utilizar: los primeros son los motores a pasos ya que se busca exactitud, simplicidad en su manejo, control y un par suficiente para mover los ejes que soportan el dispositivo aplicador de electro-catalizador. Los segundos son servos para la activación del aerógrafo ya que son muy pequeños y con un par suficiente en relación con su tamaño, además de que no se requiere que giren a más de 180°. Esto es cubierto en su totalidad por el servomotor.

10. Se utilizó aluminio para la construcción de los elementos, debido a que este material, posee la resistencia y ligereza que proporcionan estabilidad y reducen la inercia en el mecanismo terminal. Se manejaron tolerancias requeridas en los ajustes para eliminar inestabilidad.

En la figura II.2 se muestra la configuración del sistema mecánico del SAE, requerido para la conducción y control del dispositivo de la aplicación catalítica.

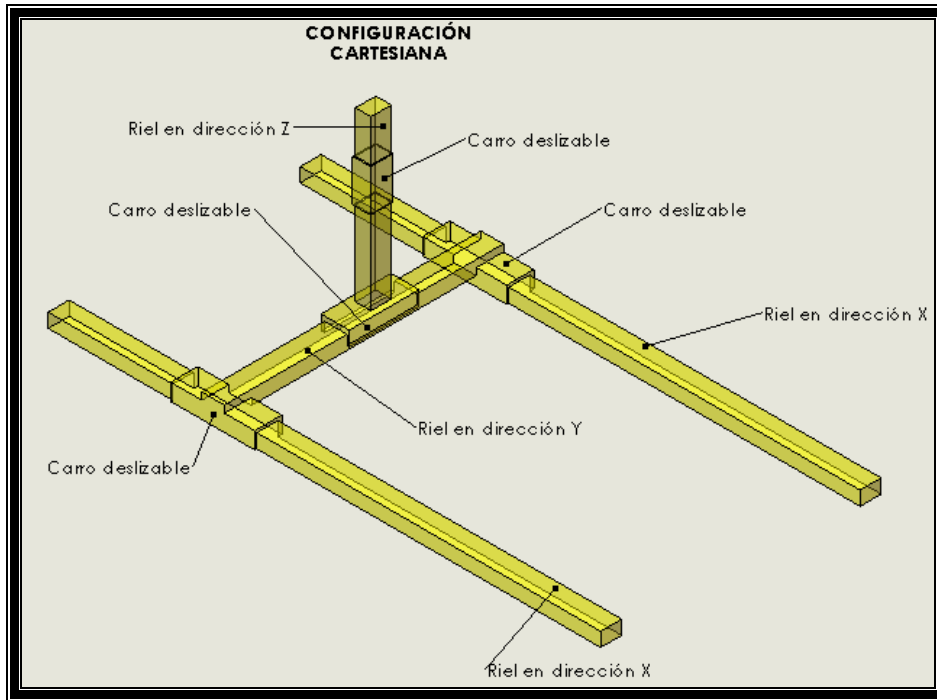


Figura II.2. Configuración del SAE. Los carros se deslizan sobre sus respectivos rieles

En este capítulo se describieron y evaluaron las posibles soluciones para la aplicación de la solución electrocatalítica.

En el siguiente capítulo se tomarán estas soluciones para el desarrollo del SAE.

Capítulo III

Diseño y desarrollo del SAE.

III.1 Introducción

En el presente capítulo se aborda el diseño y desarrollo de cada uno de los elementos que conforman el dispositivo, los cuales se agruparon para su mejor comprensión en dos sistemas, al igual que se realizó en el punto II.5.

1. Sistema de control.

En este sistema se caracterizaron los elementos existentes en la base original (teclado digital, fuente y líneas de conexión) para su reacondicionamiento, se diseñaron y realizaron circuitos nuevos para ser adaptados considerando los elementos a utilizar.

Posteriormente se planteó y diseñó el programa para el microcontrolador de acuerdo a la función de los periféricos mecánicos y electrónicos. De esta forma se consideraron las funciones necesarias de acuerdo a las posibles eventos y rutinas que se requieren para la manipulación y ejecución de los movimientos del dispositivo.

2. Sistema mecánico.

En este módulo se diseñaron los planos (los planos dimensionales se muestran en el apéndice D de los rieles, carros, bases, soportes y mecanismos motrices necesarios en la manipulación y posicionamiento del aerógrafo).

III.2 Diseño del sistema electrónico.

Planteados los requerimientos y las soluciones en el capítulo II, se inició el diseño de los circuitos necesarios para el funcionamiento de los dispositivos a implementar en el sistema. Antes de esto, se caracterizaron los circuitos que se tienen en la base (plotter), ya que estos se reutilizaron debido a que se cuenta con un teclado digital (*figura III.2.1*), fuente de alimentación eléctrica y líneas de conexión. Este teclado se utilizó originalmente para controlar los desplazamientos y funciones de dicho dispositivo.

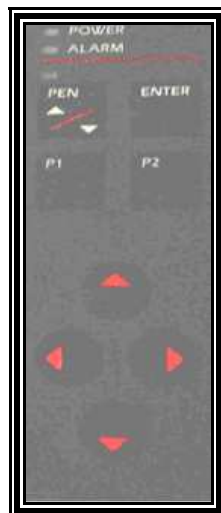


Figura III.2.1. Teclado original del plotter.

La caracterización del teclado digital se realizó para obtener información de la conexión de los botones a la terminal y esta a su vez a un cable membrana. Para esto se realizó la *tabla III.2.1* en donde se colocaron todos los botones e hilos conductores del cable membrana, con una numeración progresiva del 1 al 10 como referencia para diseñar el circuito electrónico principal y conducir las señales a los puertos del microcontrolador, en donde se conectaron los componentes electrónicos. La tabla se muestra a continuación:





Hilo	Descripción
1	P2
2	P1
3	PEN
4	ENTER
5	
6	
7	
8	
9	
10	PW

Tabla III.2.1. Caracterización del teclado digital

En la *figura III.2.1* se observa que se cuenta con 8 botones y un indicador de encendido y apagado (PW "power"), mismos que se tienen en la *tabla III.2.1*, en la cual se observan los números correspondientes a cada hilo del cable membrana, de donde se identifica el hilo 9 como el común ya que está conectado a todos los botones. Los demás botones son señales que se envían al circuito principal donde estas se registran. Estas señales se producen por el accionamiento de los botones que son normalmente abiertos. Basado en esto, se realizó el diagrama *III.2.1*, donde se muestran gráficamente las conexiones internas.

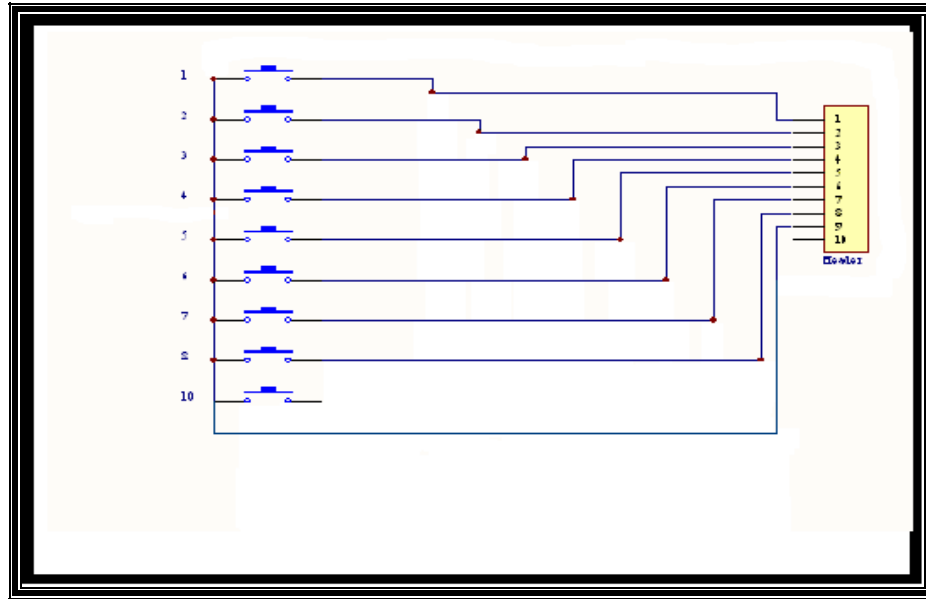


Diagrama III.2.1. Conexiones internas del teclado digital.

De igual forma, se realizó la caracterización de una tarjeta externa (*Diagrama III.2.2*) la cual tiene la función de conectar al motor B.

Se tiene en esta tarjeta, dos conectores para cable membrana y otro tipo molex para la conexión rápida del motor, los conectores son de once y seis líneas respectivamente, la caracterización se describe en la *tabla III.2.2*

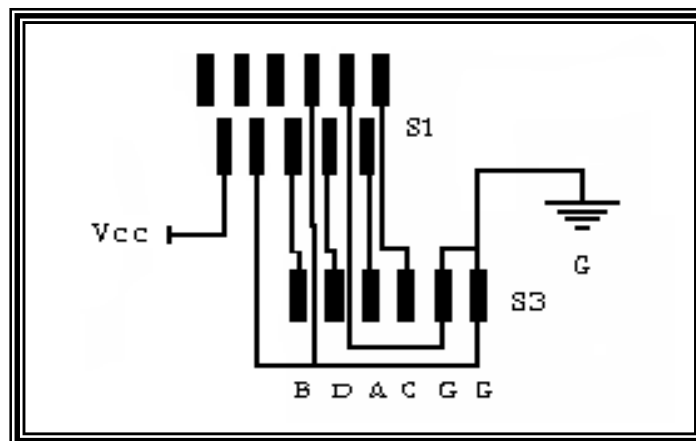


Diagrama III.2.2. Conector para cable membrana con conector tipo molex.

o.	Descripción	Conecta a
1	Conector p/cable membrana	
3	Conector tipo molex 6	Motor pasos a
	Conector A	Bobina del motor A
	Conector B	Bobina del motor B
	Conector C	Bobina del motor C
	Conector D	Bobina del motor D
	GND	Línea G
cc	Voltaje 5 [V]	Línea Vcc

Tabla III.2.2. Caracterización del conector tipo molex

Como se observa en el diagrama III.2.2, se utilizaron 8 de las 11 conexiones posibles, por lo cual las restantes fueron utilizadas para conectar 3 de los 4 sensores que se requieren en la limitación del área de trabajo.

Se realizó el diagrama III.2.3 donde se muestran las conexiones del motor a pasos y una representación del cable membrana de 18 hilos, así como su respectiva tabla de caracterización.

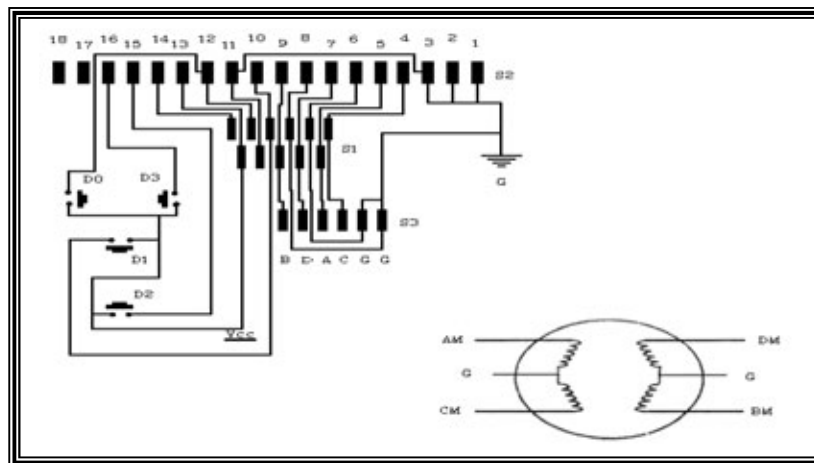


Diagrama III.2.3. Conexiones del cable membrana con los sensores y motor a pasos B.

En este diagrama III.2.3 los 18 hilos llegan al conector S1. Los hilos 10, 12, 13, 15 y 16 son para los cuatro sensores, y las conexiones 14, 17 y 18 son para el control de los servomotores que accionan al aerógrafo.

o.	Descripción	Conecta a
1	Conector p/cable membrana	
2	Cable membrana	
3	Header 6	Motor a pasos
	Línea 1	Línea 2, 3, 6, 8, 11 y G (GND)
	Línea 2	Línea 1, 3, 6, 8, 11 y G (GND)
	Línea 3	Línea 1, 2, 6, 8, 11 y G (GND)
	Línea 4	Conector C
	Línea 5	Conector A
	Línea 6	Línea 1, 2, 3, 8, 11 y G (GND)
	Línea 7	Conector D
	Línea 8	Línea 1, 2, 3, 6, 11 y G (GND)
	Línea 9	Conector B
0	Línea 10	Regreso del sensor D1
1	Línea 11	Línea 1, 2, 3, 6, 8 y G (GND)
2	Línea 12	Regreso del sensor D0
3	Línea 13	Vcc 5[V], D0, D1, D2 y D3
4	Línea 14	Vcc a servomotores
5	Línea 15	Regreso del sensor D2
6	Línea 16	Regreso del sensor D3
7	Línea 17	Señal a Servomotor A
8	Línea 18	Señal a Servomotor B
0	Sensor limite izq (Home)	Línea 12
1	Sensor limite arr	Línea 10

	(Home Y)	
2	Sensor limite aba	Línea 15
3	Sensor limite der	Línea 16
	Conector A	Línea 5 y AM
	Conector B	Línea 9 y BM
	Conector C	Línea 4 y CM.
	Conector D	Línea 7 y DM
M	Bobina A	A
M	Bobina B	B
M.	Bobina C	C
M	Bobina D	D
	GND	Línea 1, 2, 3, 6, 8 11 y G
cc	Voltaje 5 [V]	Línea 13, D0, D1, D2 y D3

Tabla III.2.3. Caracterización de los elementos incluidos en el diagrama III.2.3

Para el diseño del circuito eléctrico del SAE, se realizaron por separado los diagramas de cada uno de los dispositivos electrónicos empleados en el prototipo, como son: los diagramas del teclado digital, los controladores de motores a pasos, del microcontrolador, del MAX232 (interface PIC-PC), y de la etapa de regulación de voltaje, para su implementación y pruebas en protoboard previas al desarrollo de la tarjeta PCB (**Print Circuit Board** por sus siglas en inglés) que es el circuito impreso definitivo.

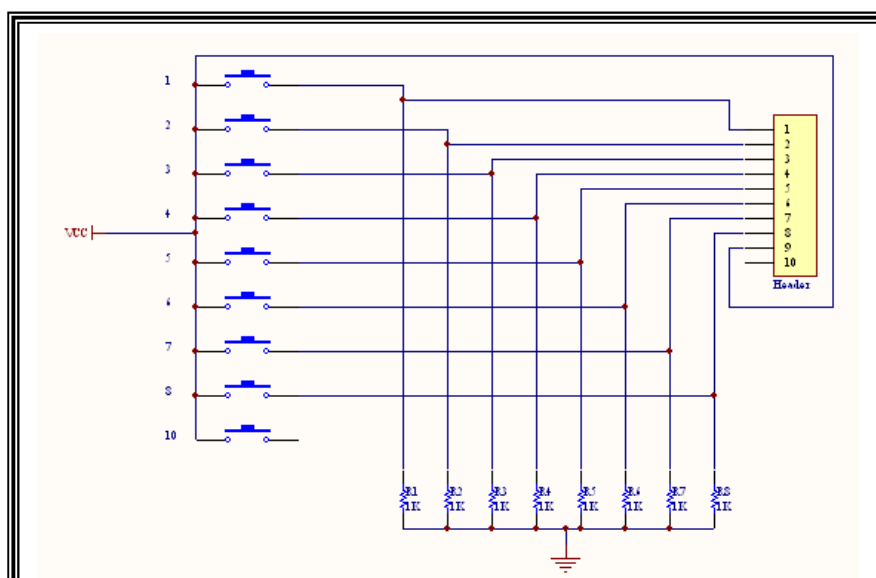


Diagrama III.2.4. Conexión de cada uno de los botones del teclado digital con su respectiva resistencia y conector a cable membrana.

En el diagrama III.2.4, se representan los nueve botones del teclado digital con su conexión a tierra, asegurando la puesta a cero de los botones cuando no se están activando, ya que se trabaja con señales digitales 1 ó 0 (5 ó 0 [V] respectivamente) para la lectura con el dispositivo de control. Esto es, cuando se cierra uno de los circuitos al presionar alguno de los botones, este permite que el dispositivo de control tome un 1 (5 [V]) y cuando no se presiona, este se descarga por medio de las resistencias de 1 [k Ω], dando un 0 (0 [V]).

Para comenzar el diseño del circuito eléctrico del SAE, se definieron los dispositivos electrónicos necesarios para cumplir con los requerimientos, por lo que se inició por los controladores o “drivers” para los motores a pasos. Donde su ficha técnica se muestra en el apéndice A4.

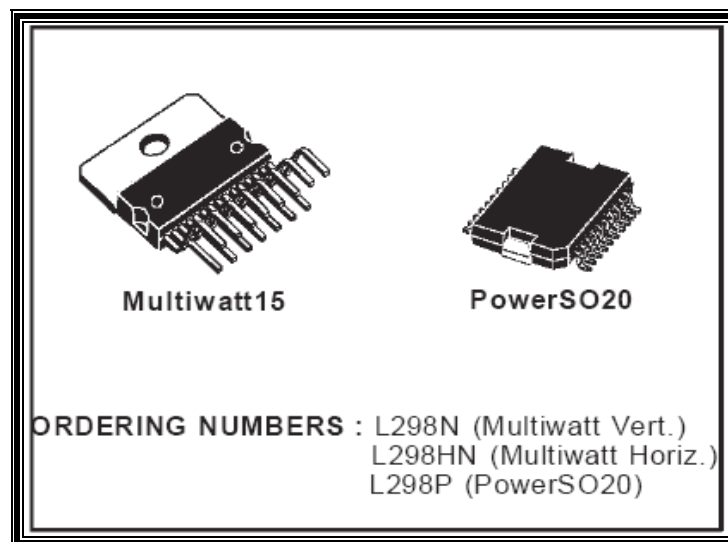


Figura 4.2.3. Circuito integrado L298

El “driver” L298 es usado para el control de estos motores, tiene cuatro salidas de alto voltaje (46 [V]) y alta corriente (3[A]) por canal y los cuatro canales aceptan los niveles lógicos estándares como el TTL y DTL. Cuenta con dos puentes H y cada par de canales esta equipado con entradas “enable”, por lo que estos son independientes, por lo tanto se pueden activar o desactivar según la señal que reciban.

El motor B trabaja a 3.5 [V] y el motor A a 5 [V], la corriente que demandan es de 1.3 [A]

Los dos diagramas siguientes muestran un conector diferente. El diagrama III.2.3 es del motor A (bobinas A, B, C, D y los dos comunes) y el diagrama III.2.4 corresponde al motor B en el que se aloja el cable membrana de 18 hilos compartido con el teclado digital, los 4 sensores y los 2 servomotores.

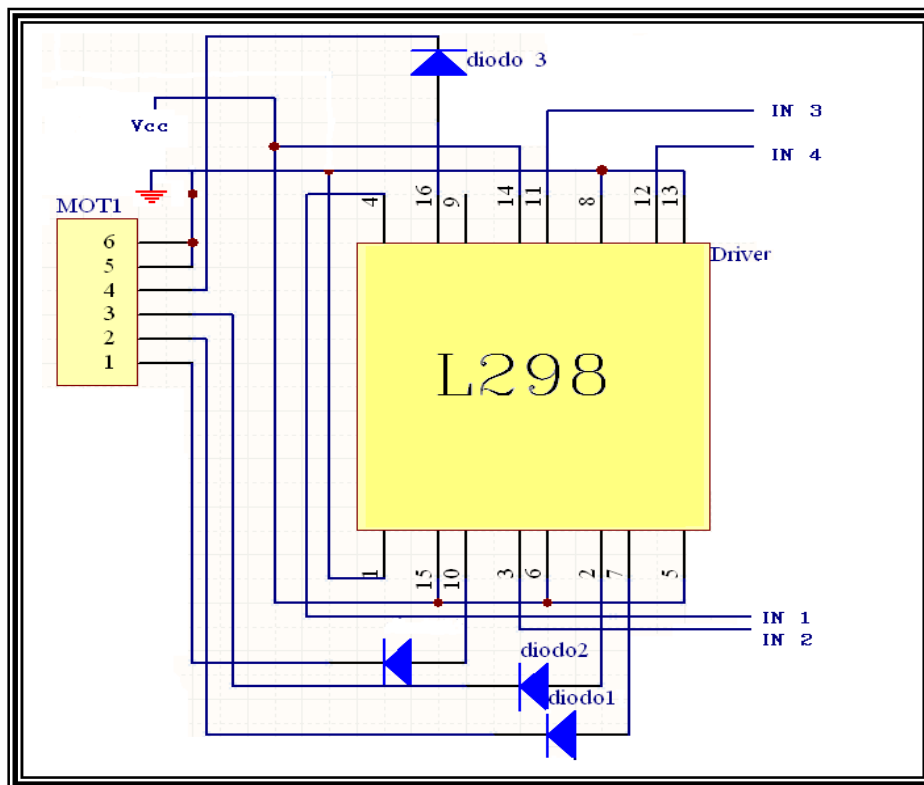


Diagrama III.2.3. Driver L298 con conector de 6 salidas para el motor A.

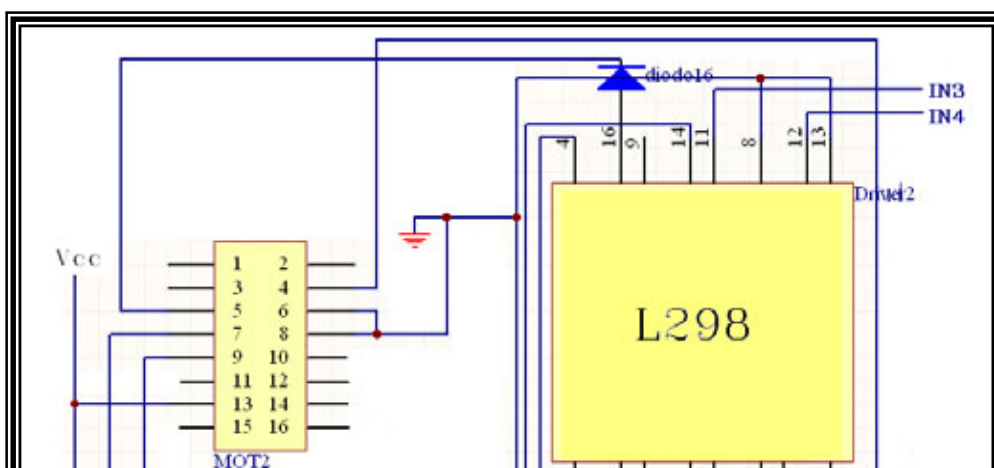


Diagrama III.2.4. Driver L298 con conector de 18 salidas para el motor B, teclado digital, sensores y servos.

Como se observa en los diagramas III.2.3 y III.2.4, se tienen 4 diodos uno en cada salida del “driver”, para garantizar el flujo en un solo sentido de la corriente hacia los motores, y así en caso de ser requerido los mecanismos se posicionen manualmente y no dañen los dispositivos electrónicos debido a la corriente generada por los motores.

Se muestran también las conexiones del puente L298 (GND, Vcc, enable, input, output). En este caso los “enables” están directamente conectados a Vcc (5 [V]) para que los dos puentes H estén activados y así trabajen en cualquier momento con las cuatro salidas, una para cada bobina.

El dispositivo de control (PIC16F877) cuenta con 32 entradas y salidas para el manejo de periféricos y lecturas de estado para el caso de los botones y sensores. Este PIC cuenta con memoria suficiente para el almacenamiento del programa de control, al igual que puede almacenar estados de sensores y valores de variables utilizadas durante las rutinas. Cuenta también con procesamiento rápido, y tiene la capacidad de comunicación y programación por medio de la PC. A continuación se muestra el sistema mínimo para el funcionamiento del microcontrolador.

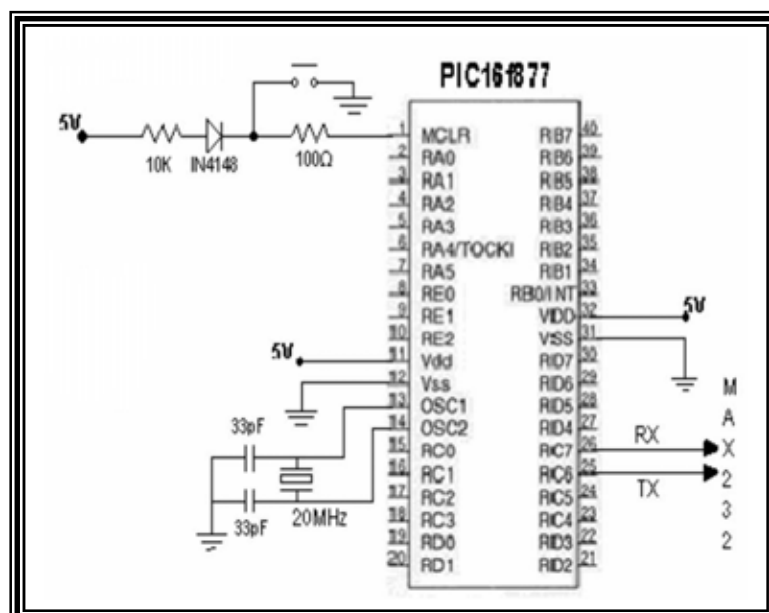


Diagrama III.2.5. Sistema mínimo para el funcionamiento del PIC

Para comunicar y programar el microcontrolador (PIC) con la PC, se implementó un “drivers/receivers” MAX 232 (apéndice A5) que es una interfase entre los dos protocolos de comunicación que tiene por un lado la PC y por el otro el PIC, utilizando para ello el protocolo RS232, este dispositivo trabaja con un voltaje de 5 [V] hasta 12[V]. El diagrama III.2.5 muestra la conexión con sus diferentes capacitores electrolíticos, la alimentación de Vcc, sus conectores hacia los terminales correspondientes del PIC y su conector DB9 para comunicarse a través del puerto común de la PC.

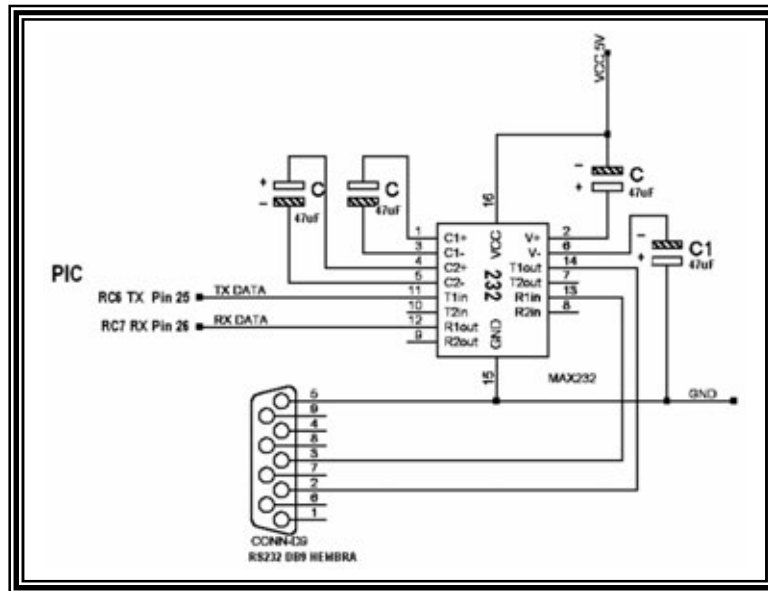


Diagrama III.2.6. Sistema mínimo para el funcionamiento del MAX232.

El MAX232 y el microcontrolador tienen un funcionamiento correcto cuando no se manifiestan variaciones de voltaje.

Al medir los valores de voltaje de las salidas de la fuente estas varían, así que se elaboró una etapa de regulación a 5[V]. Para esto se implementó el L7805 (apéndice A6) el cual se alimenta con un mínimo de 7[V] y máximo de 12 [V] para que a su salida se obtenga el voltaje de 5 [V] requerido. El diagrama III.2.7 muestra la conexión del L7805 con los dispositivos pasivos que se requieren para su funcionamiento.

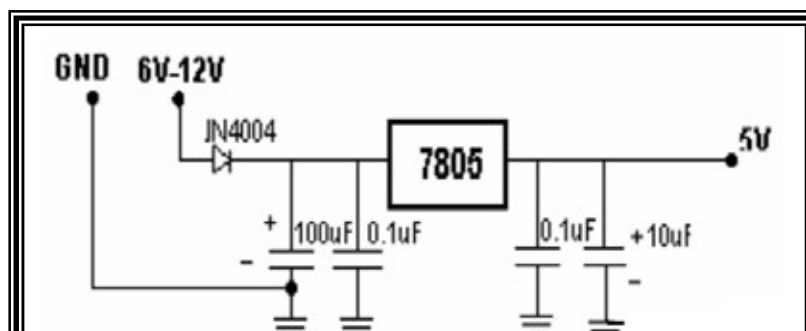


Diagrama III.2.7. Diagrama de conexión del L7805

Se conjuntaron los diagramas de conexión para diseñar un diagrama general y así realizar las pruebas necesarias en protoboard para su posterior implementación y construcción del circuito impreso. Este diagrama (*Diagrama III.2.8*) se realizó en PROTEL DXP.

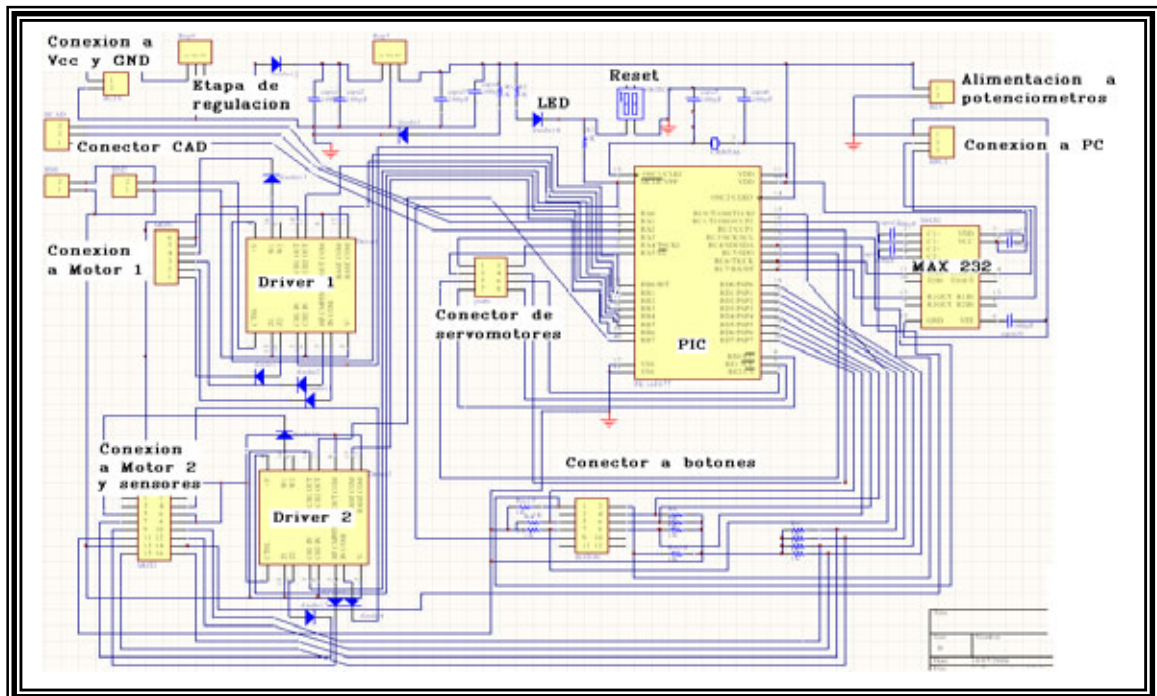


Diagrama III.2.8. Diagrama general de conexiones del SAE.

En este diagrama, se observan el PIC, el MAX 232, los drivers L298 con sus conectores de los motores a pasos, conectores para servomotores, la etapa de regulación, el conector de la botonería, los conectores para el convertidor a/d y los conectores para la alimentación entre otros dispositivos.

III.3. Diseño del Sistema de Control.

En el presente tema, se muestra el diseño y la programación del microcontrolador de acuerdo a las necesidades y periféricos con los que se contaron, ya sean mecánicos o dispositivos electrónicos y actuadores apoyados en la siguiente metodología.

Método común para diseñar programas¹

1. Definir el problema, indicando con toda claridad qué función se espera que ejecute el programa, las entradas y salidas requeridas, cuales son las restricciones de la velocidad de operación, exactitud, capacidad de memoria, etc.
2. Definir el algoritmo que se va a utilizar. Un algoritmo es la secuencia de pasos que definen el método de solución del problema.
3. En sistemas con menos de mil instrucciones, es útil representar el algoritmo mediante un diagrama de flujo. Otra herramienta de diseño es el pseudocódigo. Este es una forma de describir los pasos de un algoritmo de manera informal, la cual es posible traducir posteriormente a un programa. El diagrama de flujo y el pseudocódigo son auxiliares para el diseño de programas sistemáticos y estructurados.
4. Traducir el diagrama de flujo/algoritmo a instrucciones que el microcontrolador sea capaz de ejecutar. Para ello se escriben las instrucciones en determinado lenguaje, por ejemplo en ensamblador o en C, y luego se convierten ya sea en forma manual o mediante un programa ensamblador, en código máquina.
5. Probar o depurar el programa. Al proceso de rastreo y eliminación se le conoce como depuración.

Para comenzar a estructurar el programa, siguiendo los cinco puntos del método común para el diseño de programas descrito, se tiene para el primer punto la definición del problema realizada en la sección del capítulo II (planteamiento del problema) y se planteó la función del programa que es el deslizamiento controlado realizado por el dispositivo la cual se describe en la sección de requerimientos del capítulo anterior de este trabajo. La selección del microcontrolador que satisface la velocidad de operación, capacidad de memoria, número de entradas y salidas también fue realizada en el capítulo anterior.

Dado lo anterior, se planteó el segundo punto y se realizó el algoritmo con las características dadas a continuación.

1-Inicialmente el SAE debe ser conectado a un alimentador de 127 [V] de CA y hasta que no sea presionado el botón de inicio (“enter”), el dispositivo no realiza ninguna rutina.

2-Una vez realizado el punto anterior, el SAE pasa a la toma de lecturas de los convertidores A/D (potenciómetros) y los resultados serán guardados en los registros correspondientes del microcontrolador.

3-Posteriormente se verifica que el mecanismo terminal de aspersion este colocado en “cero máquina” (home).

¹ Mecatrónica – Sistemas de Control Electrónico en Ingeniería Mecánica y Eléctrica, W. Bolton, 2 ed., Ed. Alfaomega Grupo Editor, pag 359 – 360.

4-Si no esta en home, pasa a verificar el estado de los botones del teclado digital esperando a que sean activados para la conducción del dispositivo hasta dicho punto.

5-Después de verificar cada una de las posibles indicaciones introducidas por el teclado digital, vuelve a revisar si el dispositivo esta en home corriendo nuevamente desde el punto 2.

6-Una vez que este activado el sensor “**home**”, el sistema espera a que se pulse nuevamente el botón Enter para iniciar la ejecución del programa que realiza la rutina de barrido.

7-Si no se oprime el botón Enter, pasa a verificar el estado del teclado digital realizando los movimientos indicados por el operador, posteriormente éste pasara a revisar el estado del Enter desde el punto 2.

8-Si es presionado el Enter estando el mecanismo en el punto 6, se ejecuta una rutina de barrido programada en el PIC, delimitada por los sensores y parámetros de velocidad correspondientes. Esta rutina es muy sencilla y consiste en solo cuatro movimientos, los cuales se describen a continuación:

8.1-Inicia con el movimiento en el eje “X” en dirección “+X” revisando el estado del sensor S1 entre cada paso del motor a pasos, dicho sensor es el que limita esta dimensión. Mientras no sea activado S1, el carro montado sobre dicho eje continua realizando este movimiento.

8.2-Si es activado S1, se realiza el movimiento en el eje “Y” en la dirección de “+Y”. Se revisa entre cada paso del motor a pasos el estado del sensor S3 que es el que limita la dimensión de la membrana en esta dirección, si no es activado, pasará inmediatamente a revisar el valor de una variable en la que se almacena la dimensión establecida a recorrer definida por el tipo de barrido, y si aún no se alcanza este valor, se seguirá ejecutando este movimiento hasta que alguna de estas dos condiciones se cumpla.

8.2.1-Si se activa el S3 se indica el final del barrido, lo que significa que el mecanismo terminal pasa a buscar su home, iniciando el recorrido en el eje “Y” en la dirección de “-Y” hasta activar el sensor S2, al alcanzar esta posición revisará el estado del sensor S0 “home”, si esta activado, finaliza esta rutina y regresa al punto 2.

8.2.1.1-Si no esta activado S0, se ejecuta el movimiento en el eje “X” en dirección “-X” hasta activar el sensor S0 y esto indica que el dispositivo ya se encuentra en home y regresa hasta el paso 2 y espera nuevas instrucciones.

8.2.2-Si el valor de la variable es igual al valor del registro, pasa a realizar el movimiento en el eje “X” en la dirección de “-X” hasta ser activado el sensor S0, tomando en cuenta el estado de este, que en este caso tiene la función de limitador de este movimiento.

8.2.2.1-Al ser activado S0 pasa al movimiento del eje “Y” en dirección de “+Y”, nuevamente se espera alguno de dos eventos, de

los cuales son nuevamente la activación del sensor S3 o el cumplimiento de la variable del registro que define la distancia del tipo de barrido, distancia que dan como resultado los siguientes casos.

8.2.2.1.1-Si es activado el sensor S3, pasará al punto 8.2.1.

8.2.2.1.2-Si la variable no tiene el valor del registro, entonces se seguirá ejecutando este movimiento desde el punto 8.2.2.1, si ya se cumple el valor, se va al paso 8.1.

En los casos en el dispositivo se opera manualmente con el teclado digital, se toma la lectura de cada uno de los sensores correspondientes al tiempo que se definen las dimensiones y en cuanto se activa alguno de ellos, ya no se permite el movimiento en esa dirección. Esto es, para el movimiento en dirección de “Y” se toma la lectura del sensor S2, el cual indica el límite de este movimiento y ya no se mueve más en esta dirección una vez alcanzado y pasa a la lectura de los demás botones. Este es el mismo funcionamiento para los tres botones restantes y solamente cambia si se acciona otro botón.

Para el movimiento en “-Y” el sensor asignado es el S3, para el movimiento “X” el sensor es el S1, y para el movimiento en “-X” el sensor S0. Al no activarse ninguno de los botones, se continuara desde en punto 2.

Para el tercer punto del método común para el diseño de programas, se cuenta con lo necesario para realizar el diagrama de flujo, para una mejor comprensión y programación. El *diagrama de flujo1* describe lo mencionado anteriormente.

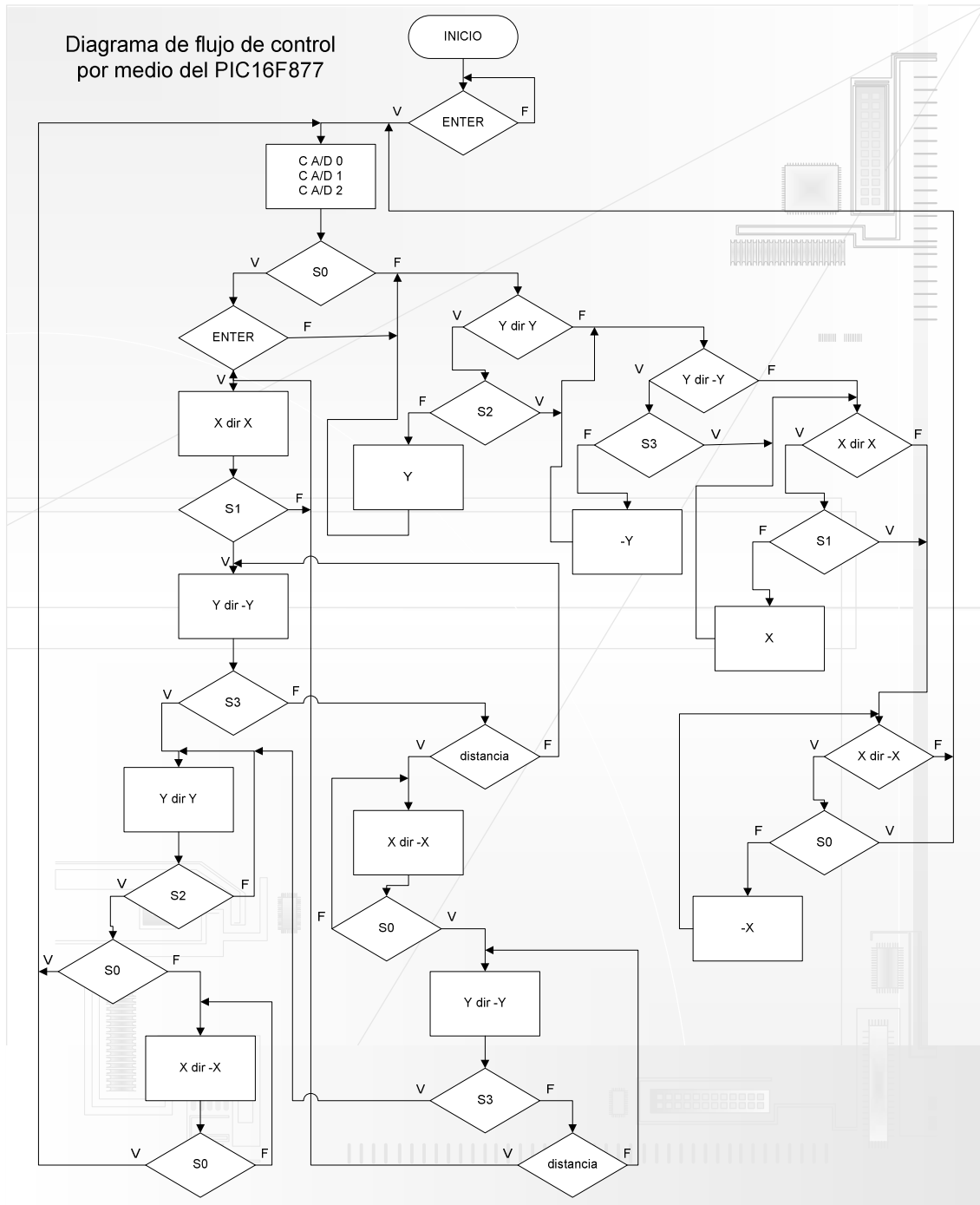


Diagrama de Flujo III.3.1. Diagrama general de control.

Para el cuarto punto, “la programación del microcontrolador” se realizó en el programa “MPLAB” de Microchip que es un lenguaje ensamblador.

El programa generado con esta información es el mostrado en el apéndice C y se explica línea por línea el significado de la combinación de los comandos empleados.

Por último, en el quinto punto, el programa fue probado y depurado simulando la configuración de la electrónica del dispositivo sobre una protoboard con 2 motores a pasos y cinco botones que hicieron las veces de los cuatro sensores y el “enter” necesarios como sistema mínimo, así como tres potenciómetros conectados al puerto

A del PIC utilizando el sistema obtenido en el diseño del modulo electrónico sobre las tarjetas de prototipo en el apartado III.2 gráfico III.2.1

III.4. Diseño del sistema mecánico.

Un punto muy importante es el de identificar los sistemas que integran al dispositivo aplicador del electro-catalizador, en este caso nuestro interés se enfoca en el módulo mecánico, y de esta forma se desarrolla una descripción de los requerimientos de este sistema, así como observar y comprender su aportación y funcionamiento en el sistema general (Sistema Aplicador de Electro-catalizador).

En los puntos anteriores se mencionó la existencia de carros y rieles, tras haber seleccionado un sistema cartesiano como sistema de posicionamiento global dentro del área de trabajo del SAE. Se propuso como resultado, transmitir movilidad a un mecanismo terminal, el cual sujeta un aerógrafo, y el cual adquiere la movilidad y posicionamiento general dentro del plano del SAE. Esta movilidad la adquiere a través del sistema de carros y rieles en conjunto con los motores a pasos y servomotores seleccionados. Lo motores a pasos transmiten movimiento a los carros y los servomotores activan los dispositivos que accionan el aerógrafo.

En este punto se describe el diseño y funcionamiento de la estructura de los elementos mecánicos.

De lo descrito en el párrafo anterior, se planteó el sistema mecánico del SAE y se dividió en los siguientes subsistemas:

III.4.1 Subsistema de carros y rieles.

III.4.2 Subsistema de transmisión de potencia a los carros y rieles.

III.4.3 Subsistema motriz y de soporte del mecanismo terminal del SAE.

III.4.1 Subsistema de carros y rieles.

Para el diseño de los carros y rieles así como el acoplamiento de estos entre sus elementos, se utilizaron baleros y pernos (ejes) respectivamente.

Los baleros y ejes así como elementos que así lo requirieron se fijaron por sujeción con apriete, esta es una técnica de ensamble fijo que no requiere de otros elementos de sujeción como tornillos y pijas, entre otros.

En la siguiente tabla se muestran algunos grados de ajuste.

Grado de ajuste	Calidades superficiales	SISTEMA		ASIENTO	
		Agujero único	Eje único	Clase	Características



		Agujero	Eje	Eje	Agujero		
PRECISIÓN		H 6	P 5	h 5	P 6	Forzado muy duro	Piezas montadas por dilatación o contracción; no necesitan seguro contra giro.
			n 5		N 6	Forzado duro	Piezas montadas o desmontadas a presión; necesitan seguro contra giro.
			k 5		K 6	Forzado medio	Piezas que han de montarse o desmontarse con gran esfuerzo; seguro para giro y deslizamiento.
			j 5		J 6	Forzado ligero	Montaje y desmontaje sin gran esfuerzo; necesita seguro contra giro y deslizamiento.
			h 5		H 6	Deslizante	Piezas lubricadas que se montan y desmontan sin gran trabajo, a mano.
			g 5		G 6	Giratorio	En piezas lubricadas el giro y deslizamiento puede efectuarse a mano

Tabla III.4.1 Grados de Ajuste entre ejes y orificios².

El ajuste entre los rodamientos del carro y las guías del riel son del tipo deslizante, por lo tanto al tener contacto los rodamientos del carro con las ranuras guía, estas tolerancias son aproximadamente de ± 0.2 milésimas de pulgada entre el balero y la superficie de la guía del riel. Con esto se logra el deslizamiento entre dos cuerpos eliminando la holgura.

La base principal de este dispositivo es como ya se mencionó, un plotter del tipo de cama plana, que cuenta con un riel (RX) (figura III.4.1) y el carro (CX) respectivo que se desliza sobre este riel. El RX está posicionado a lo largo de la base rectangular del plotter. El carro se mueve de extremo a extremo sobre el riel, recorriendo una distancia de 40 [cm] aproximadamente.

² <http://www.ing.puc.cl/~icm2312/apuntes/ajustes/fino.html>

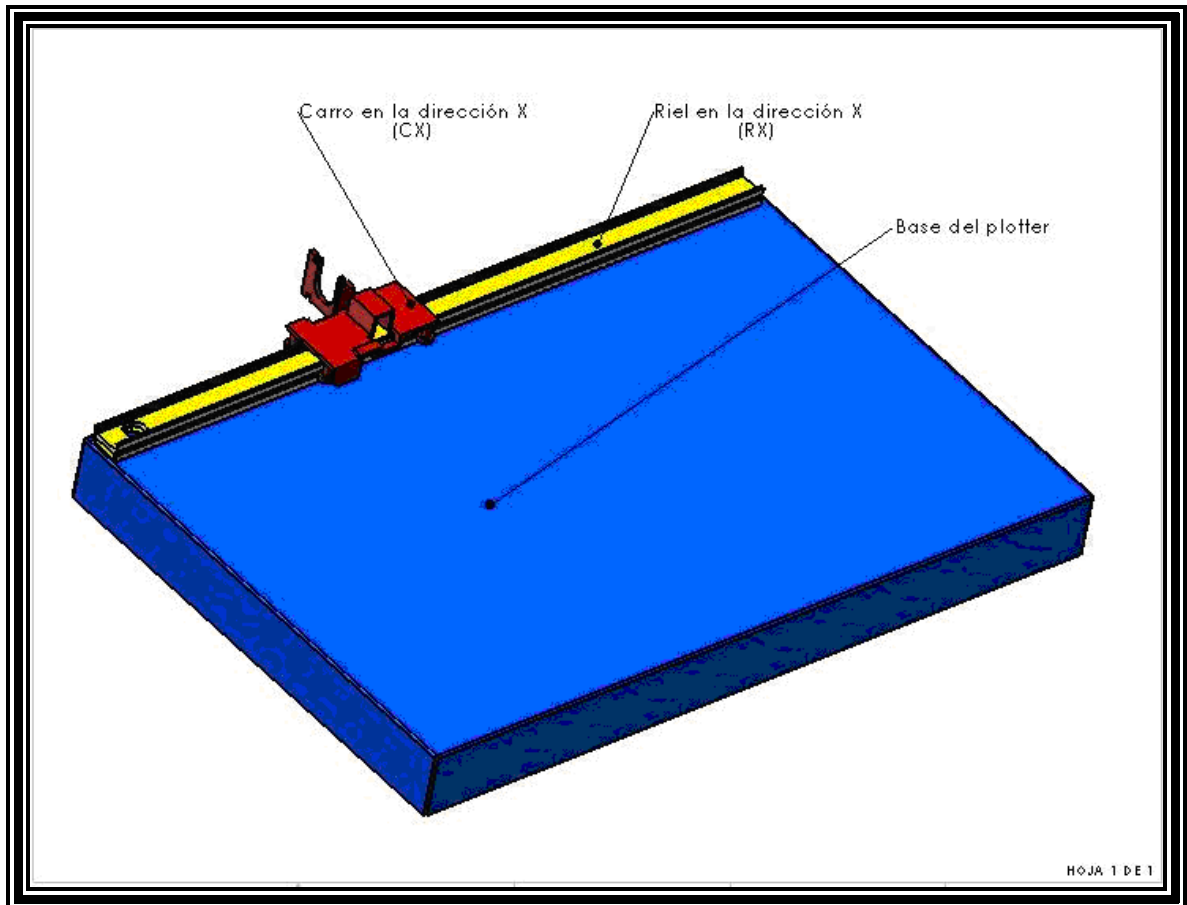


Figura III.4.1. Elementos del plotter original del tipo de cama plana.

Debido al desempeño de este carro y riel en este eje X, los carros y rieles de en Y y Z se fabricaron con características similares.

Lo siguiente es diseñar un segundo riel (RX'), el cual se posicionó paralelo al RX, a una distancia determinada por la longitud de RY. Este nuevo riel se diseñó en base a las dimensiones del carro X' (CX') mostrado en la figura III.4.2.

La razón de incluir un riel paralelo al RX es dar soporte al peso de RY, CY y el mecanismo terminal que trasladan el CX.

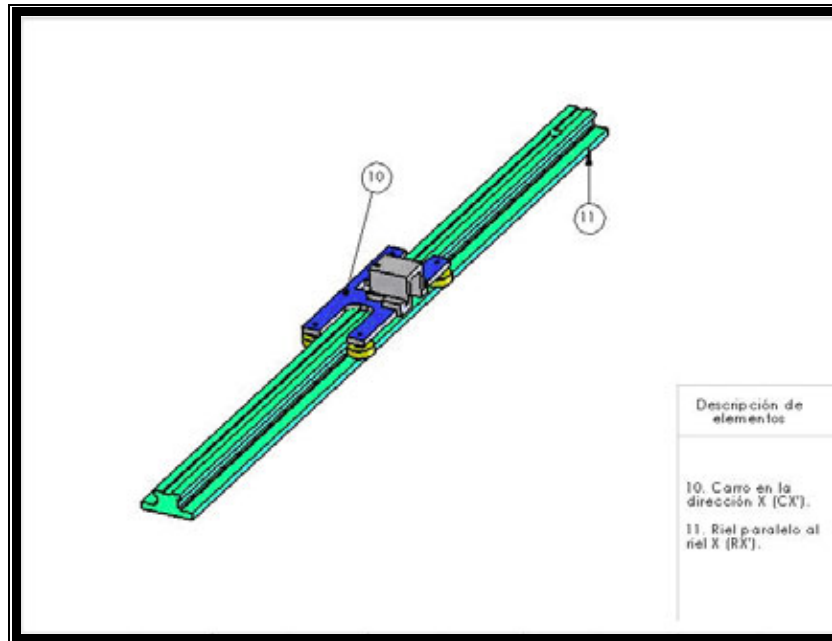


Figura III.4.2. Riel en la dirección X (RX').

Para el diseño del riel "Y" se aumentaron las proporciones dimensionales, en relación con los rieles "X y X' ", debido a que se proporcionó una mayor área de soporte para disminuir de ser posible hasta su eliminación las oscilaciones (cabeceo) del eje "Z" al que se hace referencia mas adelante. Al RY con las características mencionadas anteriormente se le substrajo la sección h'a'i. Se formaron dos guías del tamaño de los baleros de soporte y desplazamiento ($h = 1/8''$) que ruedan sobre estas. El RY adquirió la forma que se muestra en la figura III.4.3.

Este RY se diseñó junto con su carro (CY) de desplazamiento.

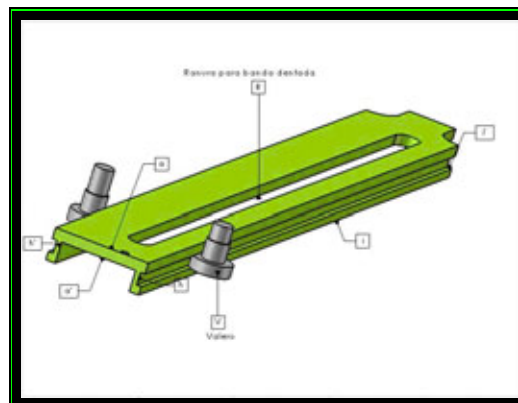


Figura III.4.3 Diseño del RY con la configuración de los rodamientos correspondientes.

Se diseñó un carro para este RY con barras de aluminio las cuales se unieron por medio de pernos y se montaron al riel (RY) a través de rodamientos.

La sujeción de las cuatro barras se realizó por medio de ejes, que se unieron con ajuste forzado muy duro entre las barras y los ejes, tal como se muestra en la figura III.4.4. La configuración obtenida ofrece ventajas para manipular cada una de

las barras que constituyen el carro y ajustar los rodamientos que se posicionan sobre los ejes (pernos) del carro, a las guías del riel. Con este procedimiento se unen las cuatro barras, de tal forma que el carro se desliza sin juego entre las paredes de la ranura-guía del RY, además de que se evita el cabeceo del eje “Z”.

Los baleros (rodamientos) del carro se colocaron con un apriete de $\pm 1/5$ milésima con los ejes de unión. De esta forma, estos mismos ejes realizaron la función de perno entre las barras, así como de eje de soporte a los baleros y ejes de unión entre estos y las barras del carro, obteniendo una ganancia de ligereza al ahorrar piezas de ensamble como son tornillos y tuercas.

Al unir las cuatro barras y ajustar los baleros que están unidos a estas, se obtiene la configuración que se muestra en la figura III.4.4. Los rodamientos también se indican en la figura III.4.2.

Se barrenó un orificio en una de las barras de CY, con el propósito de fijar por ajuste forzado muy duro el eje “Z”.

La sección circular mayor del eje Z, posee la superficie de unión con apriete al barreno de la barra del carro.

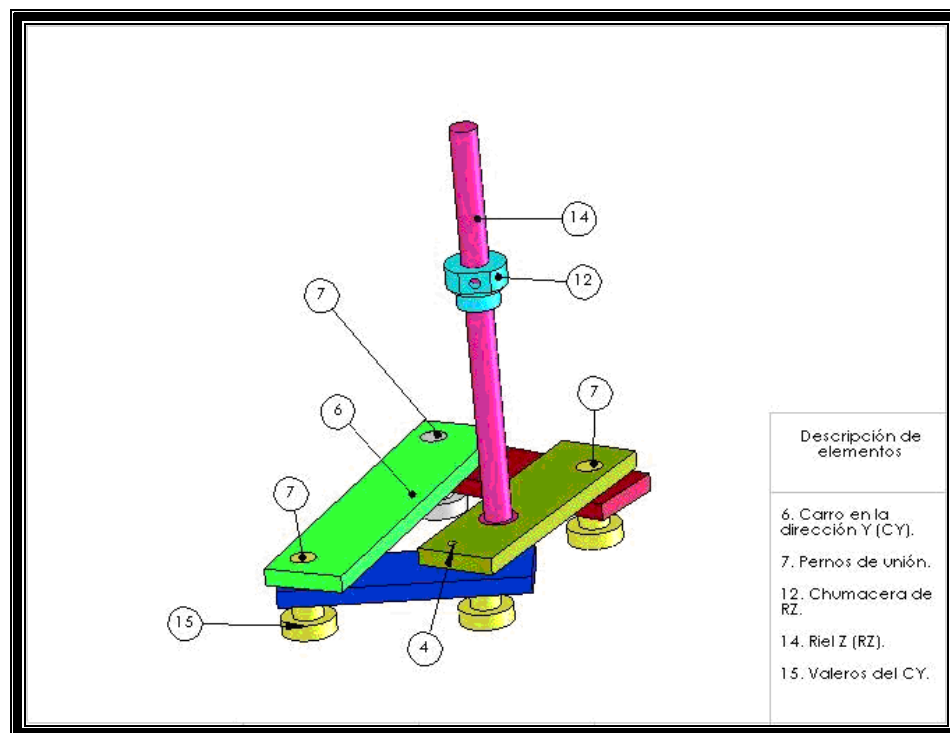


Figura III.4.4. Carro en la dirección Y (CY), con sus respectivos rodamientos y pernos de unión

El resto del eje se rectificó debido a que sobre esta superficie corre una chumacera. Esta chumacera soporta al mecanismo terminal, y la cual, al correr sobre el eje Z. Tiene la función de variar la altura del mecanismo terminal del SAE.

El RY se montó por un extremo sobre el CX y por el otro sobre el CX'. Ambos carros (CX y CX') se desplazan paralelamente cada uno en su respectivo riel, y el CY se desplaza en dirección perpendicular a ambos, de tal forma que los movimientos

del mecanismo terminal generan un plano cartesiano. Esta configuración es la que finalmente describe los movimientos del mecanismo terminal, realizando los desplazamientos acotados por el área del plano de trabajo del SAE.

La configuración final que se obtiene al ensamblar los elementos mecánicos mencionados anteriormente es la que se muestra en la figura III.4.5..

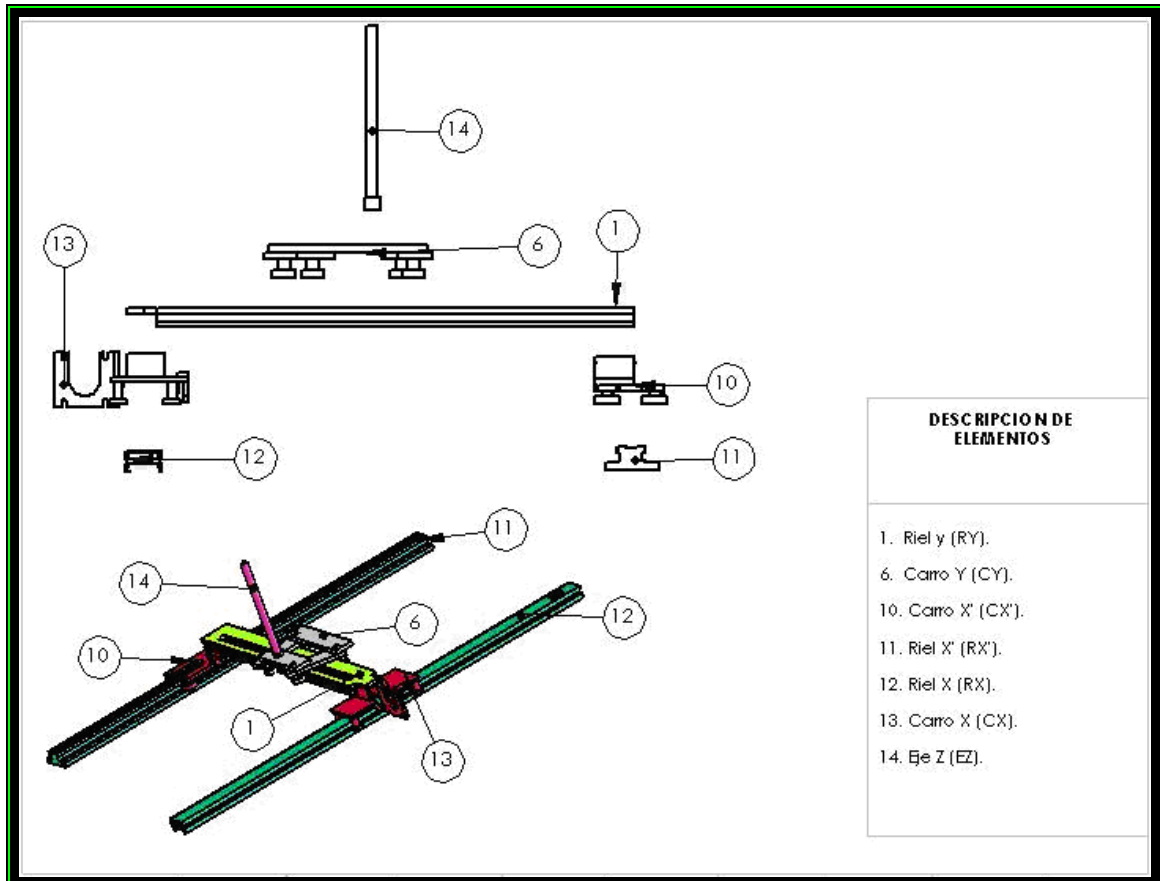


Figura III.4.5. Sistema cartesiano formado por una configuración de rieles y carros

En la figura siguiente se pueden observar también los elementos descritos anteriormente, con una vista de detalle para su mejor apreciación.

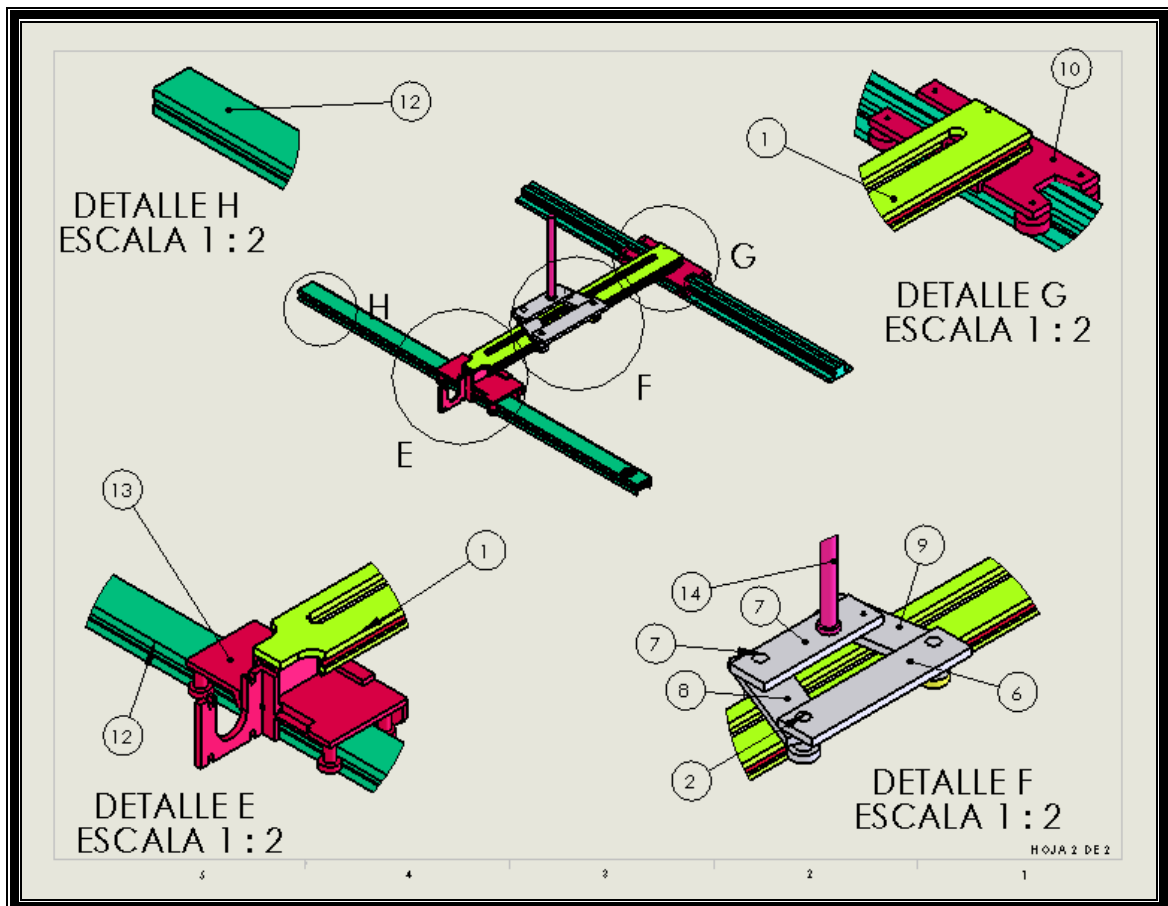


Figura III.4.6. Sistema con vista de detalle de los tres rieles (RX, RX' Y RY) y con sus respectivos carros correspondientes (CX, CX' y CY).

En el detalle E se observa el CX, con su RX, en la vista de detalle F se observan el CY con su RY, y en la vista G se puede apreciar el carro X' y su respectivo RX'.

III.4.2. Subsistema de transmisión de potencia de los carros y rieles.

Para desplazar los carros sobre sus respectivos rieles se implementó un sistema motriz basado en bandas dentadas y sus respectivas poleas de transmisión.

Al RY se le manufacturó la ranura mostrada en la figura III.4.3. Esta ranura tiene prácticamente la misma longitud que RY y se realizó con la finalidad de proporcionar libre deslizamiento a la banda. El motor a pasos que da movilidad a la banda del CY esta montado sobre el CX.

Para obtener el movimiento del CX' al mismo tiempo que el CX, en el mismo sentido y a la misma velocidad, se diseñó una configuración de transmisión con las bandas y poleas dentadas, para asegurar de esta forma que la transmisión del movimiento del motor al CX sea el mismo para el CX'.

Sobre el eje del motor que se encarga de transmitir el movimiento al CX, se encuentra la polea dentada que proporciona un movimiento a razón del par que este motor entrega, sobre esta misma polea.

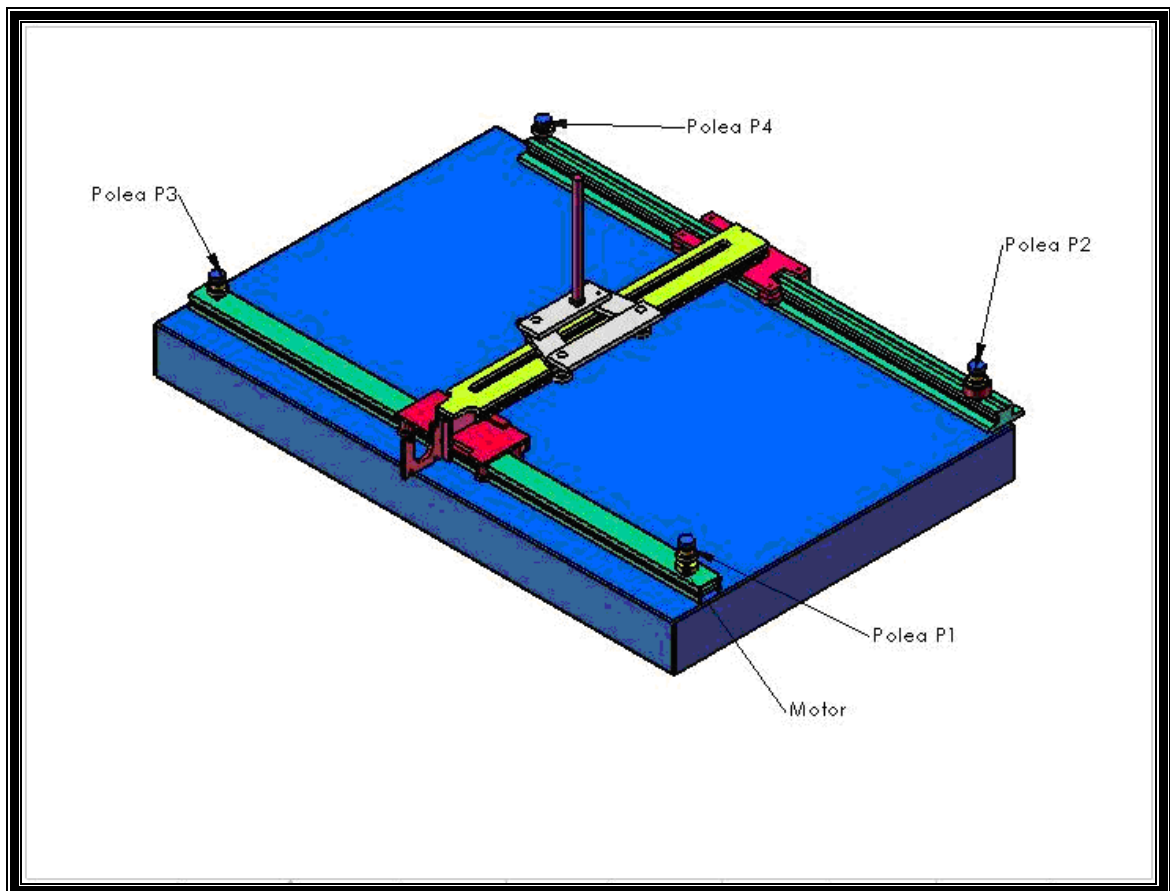


Figura III.4.7. Configuración de las poleas de transmisión de movimiento.

Para que el motor a pasos transmita movimiento al CX', se adicionó otra polea (P2) del mismo diámetro y paso que la P1 colocada en un extremo de RX, para proporcionar la misma velocidad y dirección al CX' respecto al CX.

Para fijar la P3 en este caso se usó también el recurso de la unión por apriete. La configuración de esta nueva polea es la que se muestra en la figura III.4.7.

Se diseñaron los elementos que se muestran en la figura III.4.8, los cuales soportan la polea P3 y la banda dentada. Esta polea transmite el movimiento al CX'.

El cople indicado se diseñó con una cavidad que contiene al balero como se muestra en la figura siguiente. El balero presenta la geometría indicada.

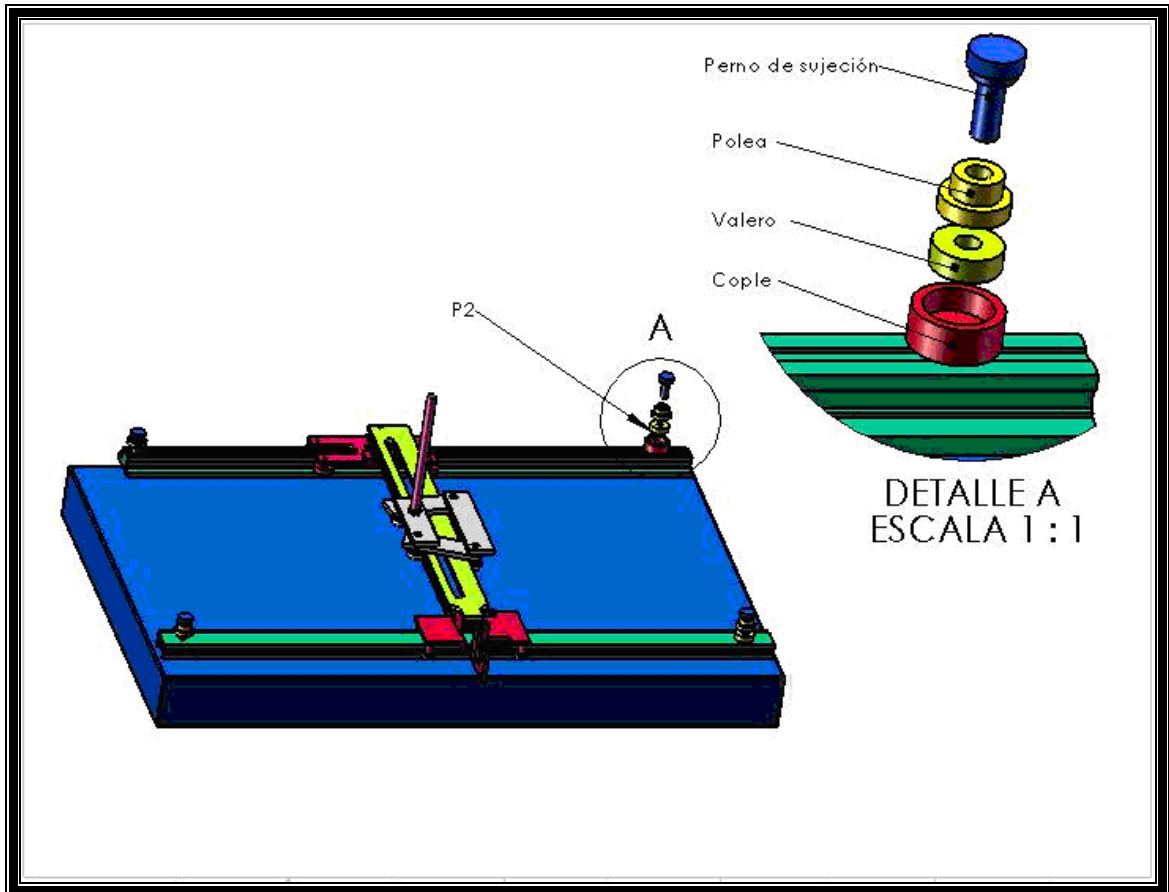


Figura III.4.8. Vista de detalle del sistema de la polea P3.

Los elementos de soporte de P2 forman la configuración mostrada en la figura III.4.8. El detalle A muestra el orden en que los elementos se ensamblan para dar lugar al módulo de soporte de P2.

El cople es el elemento de unión entre RX' y los elementos (balero perno y polea) de P2. El balero permite el giro de la polea. La polea adquiere la velocidad y potencia de la banda dentada que adquiere de P1. El perno se encarga de fijar la polea al balero.

De este modo, únicamente se requiere para tener la tracción completa en los carros CX y CX', de un motor a pasos. Las poleas P3 y P4 son solo de soporte a las bandas dentadas. A estas poleas (P4 y P3) se les diseñó un sistema de tensión, mediante un dispositivo de resorte sujeto a una placa de acero.

III.4.3. Subsistema de soporte del mecanismo terminal del SAE.

Este sistema de soporte y accionamiento del aerógrafo (mecanismo terminal) cuenta con dos sistemas motrices, uno para regular la salida del flujo catalítico (servomotor S1) y otro para regular la presión en el aerógrafo (servomotor S2).

Se comenzó por diseñar el soporte de ensamble (pieza 11) que se une con la chumacera, la cual da soporte al ensamble del resto de piezas mostradas en la figura

III.4.9. La pieza que se diseño después es la 10 que tiene una función de buje, ya que la pieza 9 que es un selector de ángulo, que gira sobre este buje. Este selector de ángulo a la vez es soporte del aerógrafo y soporte de la base del servo 1 (pieza 3).

Al rotor del servo 1 se le diseño la palanca soporte (pieza 4). Esta pieza realiza el movimiento de palanca requerido por el aerógrafo para regular el flujo de solución catalítica y dicho movimiento esta controlado por el servo 1.

El soporte de la base (pieza 1) se acopla a la palanca soporte y sujeta la base del servo 2 (pieza 3).

El embrague del volante del servo 2 (pieza 6) ensambla al volante (pieza 5) y al cople del gatillo del aerógrafo (pieza 7). El embrague del volante funciona como tornillo sin fin para empujar al cople del gatillo.

La descripción de las piezas del mecanismo terminal, se muestra en la siguiente figura.

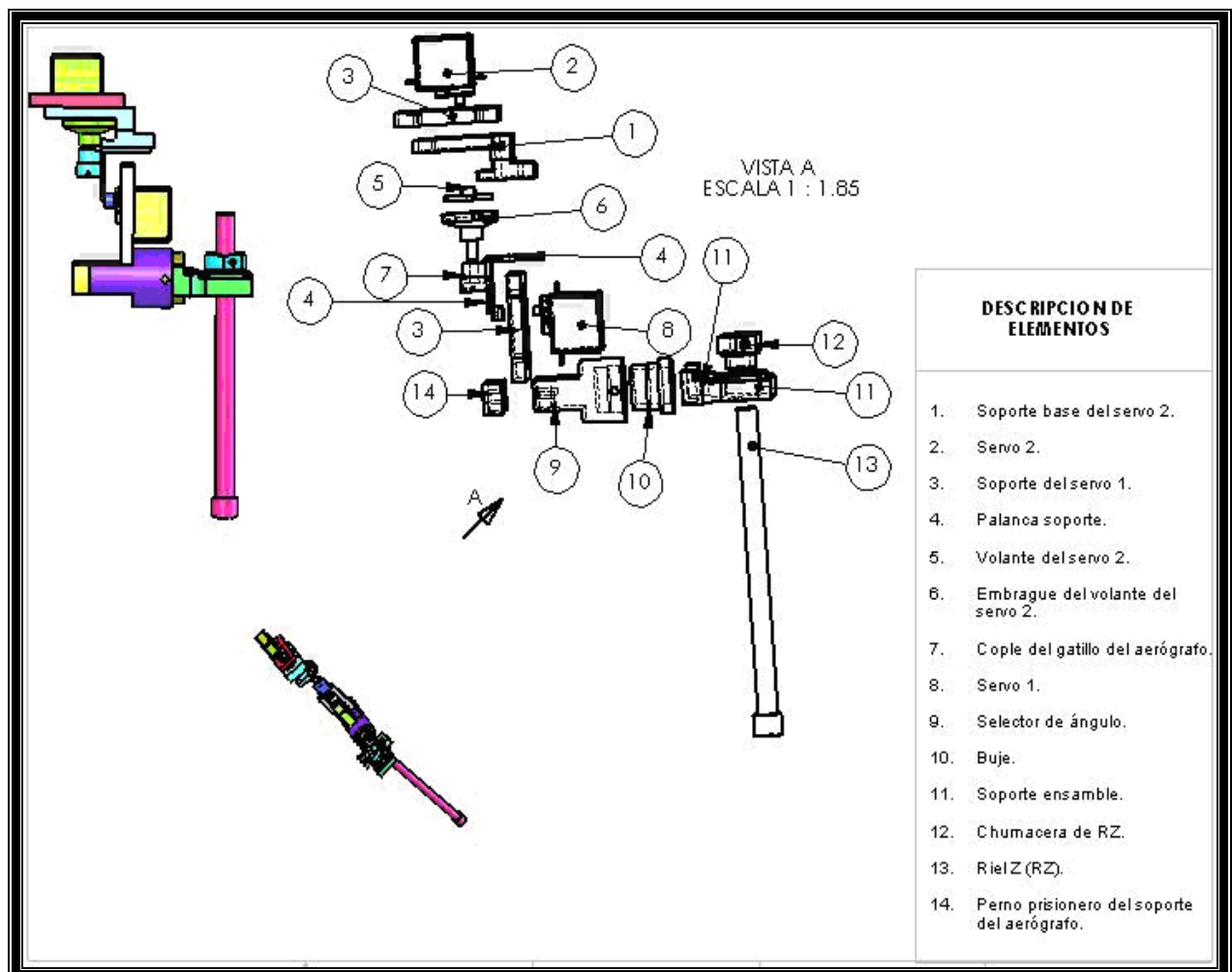


Figura III.4.9. Vista explosionada del ensamble de mecanismo terminal.

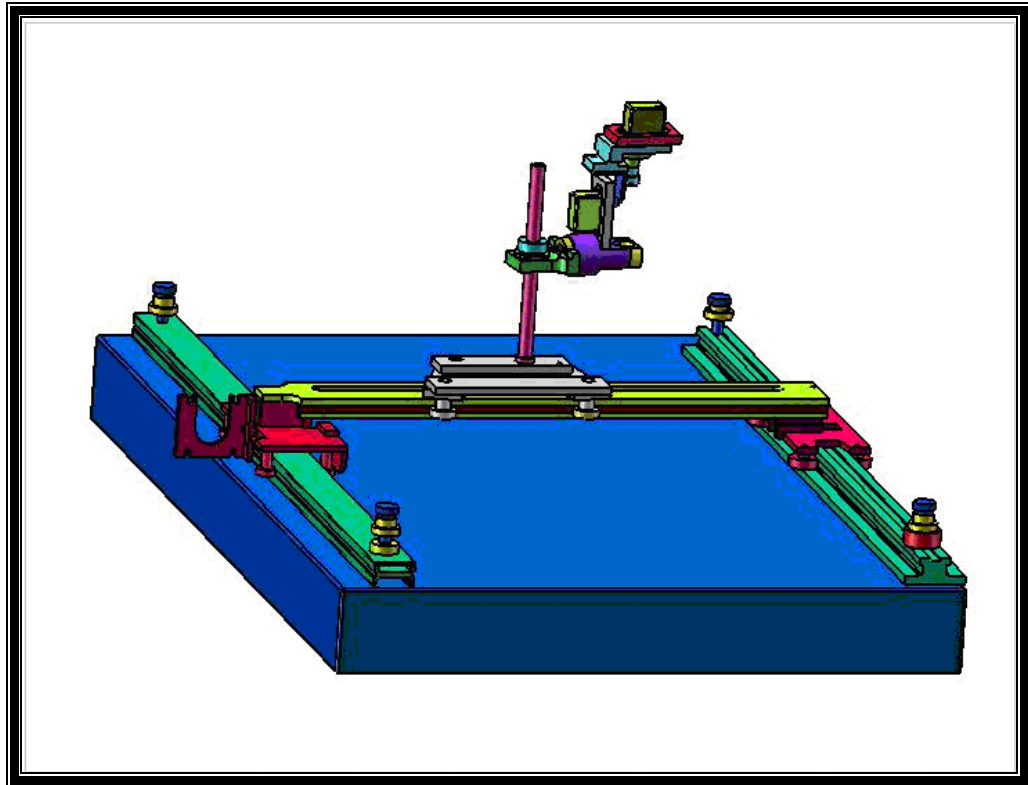


Figura III.4.10. Sistema Aplicador de electro-catalizador (SAE).

La figura III.4.10 muestra ensamblados en su totalidad los subsistemas mecánicos (Subsistema de carros y rieles. Subsistema de transmisión de potencia a los carros y rieles. Subsistema motriz y de soporte del mecanismo terminal del SAE).

En este capítulo se elaboraron los diseños de los sistemas mecánico y control basados en los requerimientos, evaluación de alternativas y sus respectivas soluciones, planteados en el capítulo II.

En el capítulo IV (**Fabricación y puesta en marcha del SAE**) se describe el proceso que se llevó a cabo para construir el SAE a partir de los resultados de diseño de cada sistema obtenidos en este capítulo.

Capítulo IV

*Fabricación y puesta en marcha
del SAE.*

IV.1. Introducción.

En el presente capítulo se expone el proceso de construcción de los elementos de los sistemas de control y mecánico del SAE en base al diseño de cada uno de estos elementos realizados en el capítulo III. Se incluyen los problemas y soluciones que se presentaron durante la construcción..

IV.2. Construcción del sistema de control.

Para llevar a cabo la construcción del sistema de control, se comenzó con el sistema electrónico descrito en el capítulo III

Se realizaron por separado los circuitos del teclado digital, los controladores (**driver**) de los motores y se utilizó una tarjeta de circuito impreso para el PIC (figuras IV.2.1, IV.2.2 y IV.2.3)

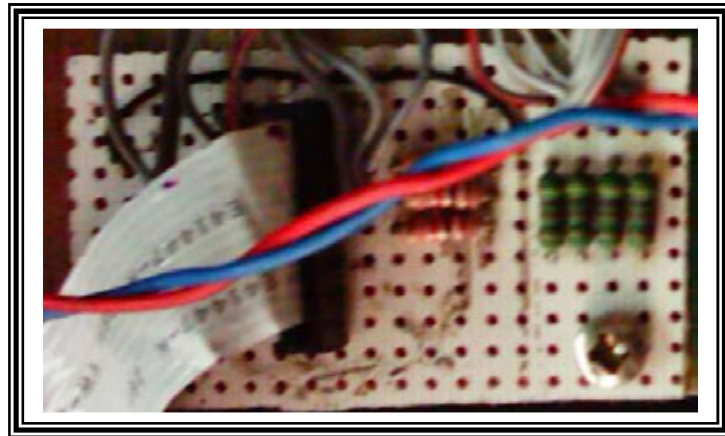


Figura IV.2.1. Circuito para el teclado digital con conector de cable membrana.

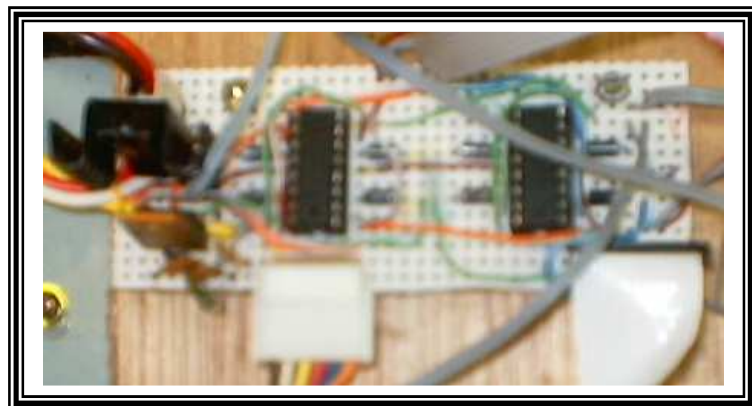


Figura IV.2.2. Circuito de los drivers para motores, sensores y etapa de regulación de voltaje.

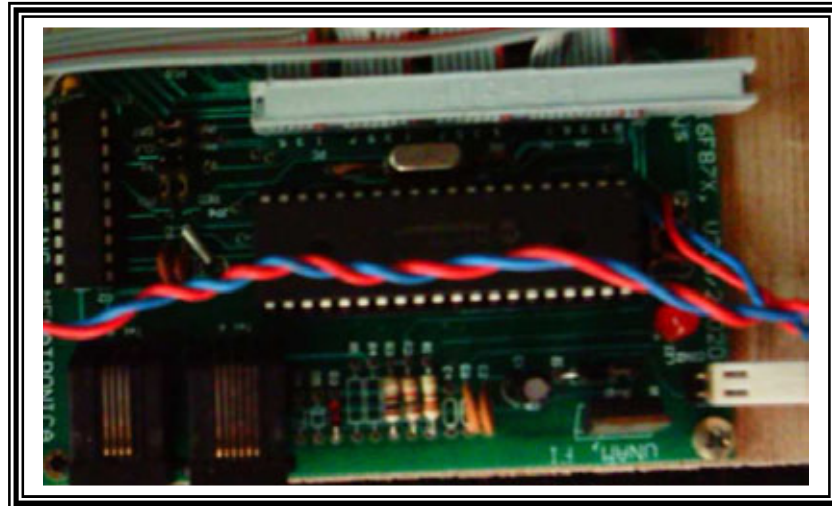


Figura IV.2.3. Circuito para PIC y periféricos

El circuito para el PIC es una tarjeta de circuito impreso que fue diseñado en el laboratorio de Diseño Mecatrónico de la UNAM para impartir las prácticas de dicho laboratorio.

Los circuitos de las figuras IV.2.1, IV.2.2 y IV.2.3 se interconectaron y se realizaron pruebas previas a la construcción de la tarjeta de control PCB. Al obtener los resultados deseados se retomó el diagrama III.2.5 que engloba los tres circuitos anteriores, diseñados en el capítulo III con PROTEL DXP.

En el módulo PCB de PROTEL DXP se realizaron algunas configuraciones de distribución de los componentes hasta tener la optima para su ruteado (*figura IV.2.1*) sobre dos caras En la figura IV.2.2 se muestra el resultado del ruteado.

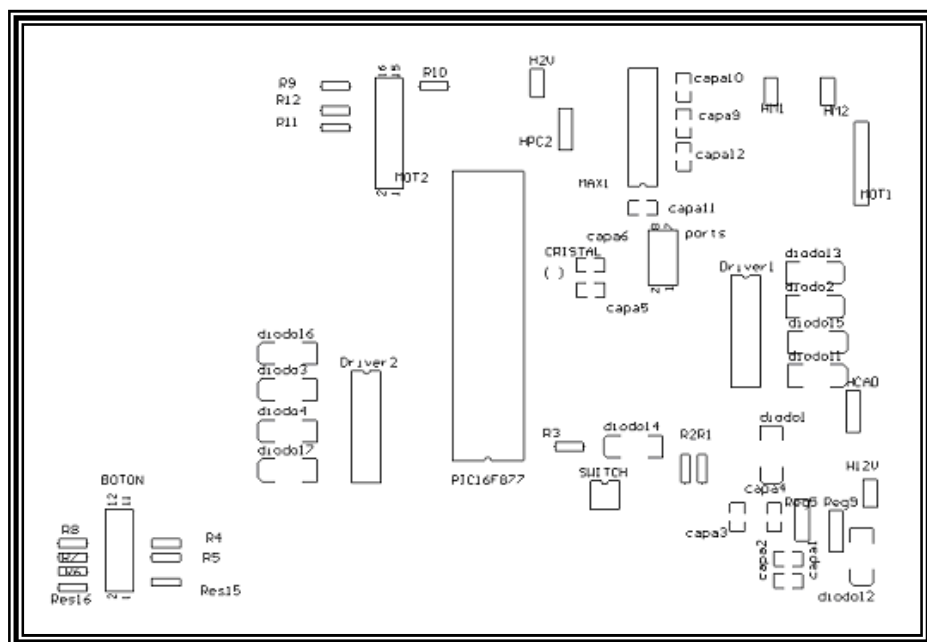


Figura IV.2.4. Distribución de componentes del circuito final.

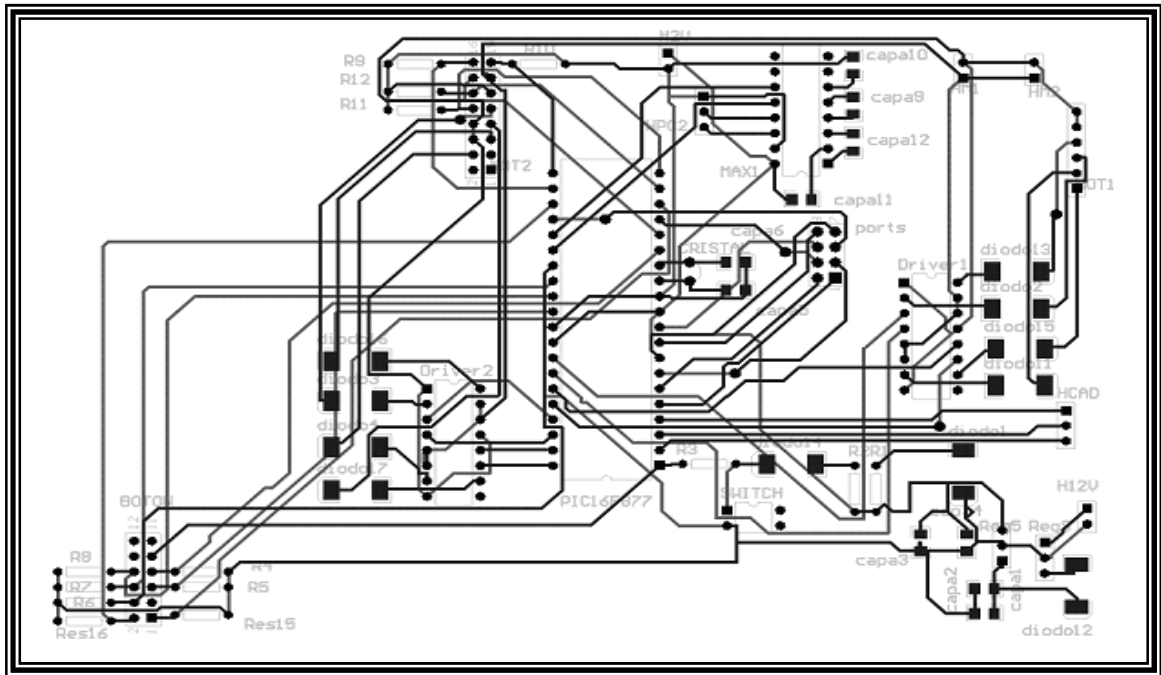


Figura IV.2.5. Vista general del ruteado en dos caras.

Una vez revisado el ruteado entre componentes, se crearon negativos de las vistas por separado (figura IV.2.6 y IV.2.7) para colocarlos uno por cada cara de la tarjeta de cobre previamente cubiertas de **fotorresist**, cuidando que coincidan las distribuciones de los componentes al empalmarse, para posteriormente exponerlas a luz ultravioleta durante 2 minutos aproximadamente por cada cara. De este modo el cobre expuesto a ésta luz se conserva y el restante con la acción del fotorresist se elimina quedando solamente las pistas de los negativos como se ve en las figuras.

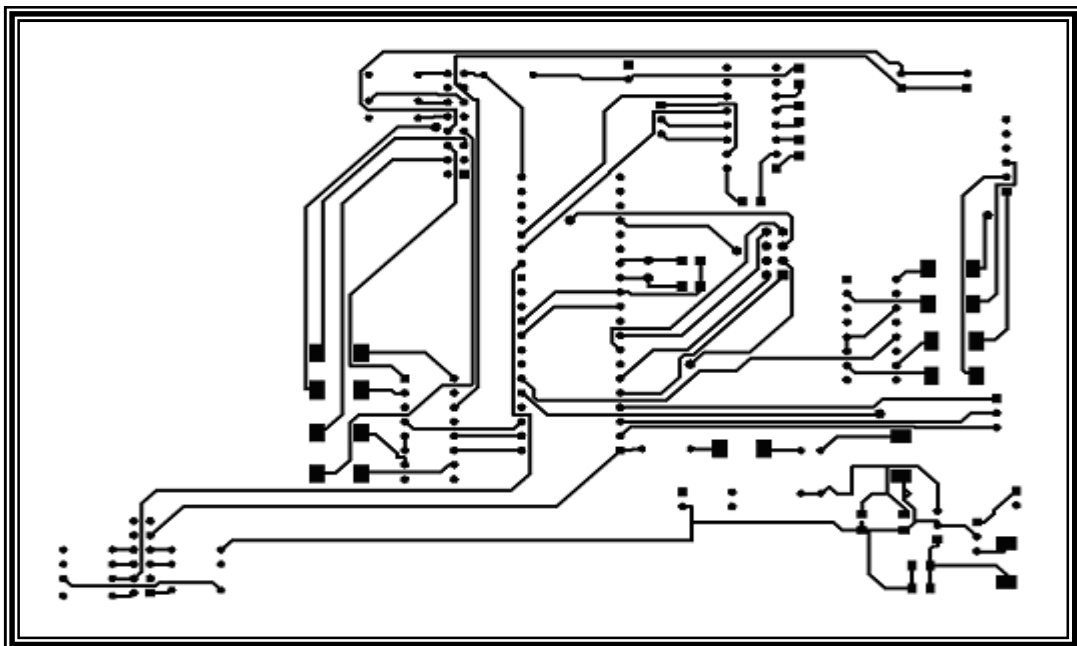


Figura IV.2.6. Vista frontal del ruteado.

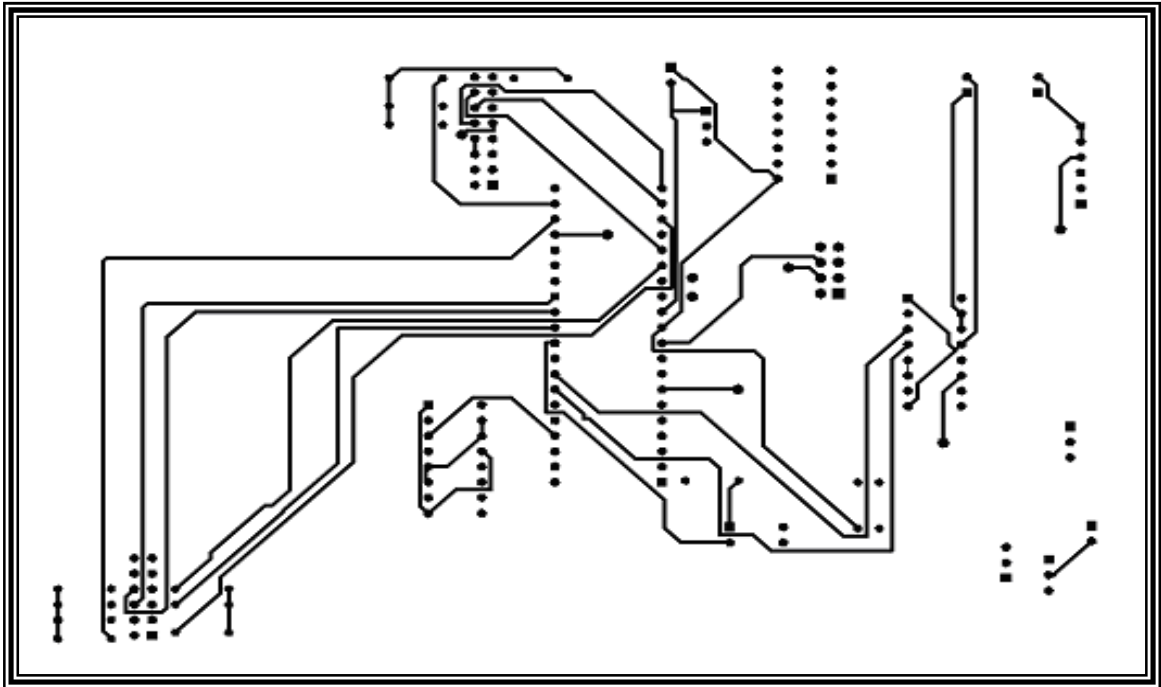


Figura IV.2.7. Vista posterior del ruteado.

Para colocar los componentes en la PCB se realizaron perforaciones con la máquina herramienta fresadora y broca de acero rápido de 1/32 [in] TTL y de 0.9 [mm] para los componentes pasivos.

Se colocaron y soldaron los componentes en su lugar y se comprobó con un multímetro que estuviese soldado cada pin con su pista correctamente.

Se instaló la tarjeta y se realizaron las conexiones hacia la fuente de alimentación, motores, botones, potenciómetros, sensores y hacia la PC para descargar el programa al microcontrolador realizado en el capítulo III y llevar a cabo las pruebas de este sistema.

IV.2.1 Problemas y soluciones durante la construcción del sistema de control.

La tarjeta se construyó en dos caras para evitar realizar puentes de conexión entre dispositivos debido a que en el corrimiento del ruteado en una sola cara se presentaron mas de 11 puentes por la complejidad del circuito.

Al realizar la tarjeta en primera instancia se imprimió por separado las vistas (figura IV.2.6 y IV.2.7) sobre hojas especiales para el estampado en cobre y aplicando calor se transfirió a la tarjeta en ambas caras para posteriormente introducirla en una solución de cloruro férrico al 2% y así obtener las pistas de cobre como las impresas.

El problema que se tuvo en este proceso fue la degradación del cobre más rápido en algunas partes que en otras quedando zonas con excesos de cobre que interfirieron entre varias líneas, para esto se le expuso más tiempo de en dicha

solución, este tiempo adicionado ocasionó que en las zonas donde estaban correctas las pistas de la tarjeta, se eliminaron parcialmente dichas pistas de cobre e incluso algunas perdieron la continuidad.

Debido a este problema se optó por realizarlo con el proceso fotoquímico descrito en el punto IV.2 obteniendo resultados satisfactorios.

Al realizar las pruebas del sistema se presentó sobrecalentamiento en la fuente y en el regulador L7805 por lo que se implementó un par de pequeños ventiladores que se usaron en la disipación de calor de los microprocesadores de las PC, estos se colocaron en la parte posterior de la base y se energizaron de la misma fuente solucionando de esta manera el calentamiento.

IV.3. Construcción del sistema mecánico.

Los elementos en su totalidad, se construyeron en los laboratorios del Centro de Diseño Mecánico e Innovación Tecnológica de la UNAM. Las maquinas que se utilizaron en la construcción de los elementos diseñados, fueron principalmente torno y fresa.

Las herramientas de corte se prepararon para realizar la manufacturar de cada elemento del SAE, en el orden que se describe en el diseño.

El RX' fue el primer elemento a construir. El CX' no requirió modificaciones. Dada la geometría del RX' las superficies planas se generaron con la fresa.

Para construir el CY y el RY se requirió del uso de torno para manufacturar los pernos de ensamble y la fresa para manufacturar las superficies planas. Esta serie de operaciones se realizaron con cada elemento hasta obtener las piezas mostradas en el capítulo III desde la figura III.4.2 hasta la III.4.9.

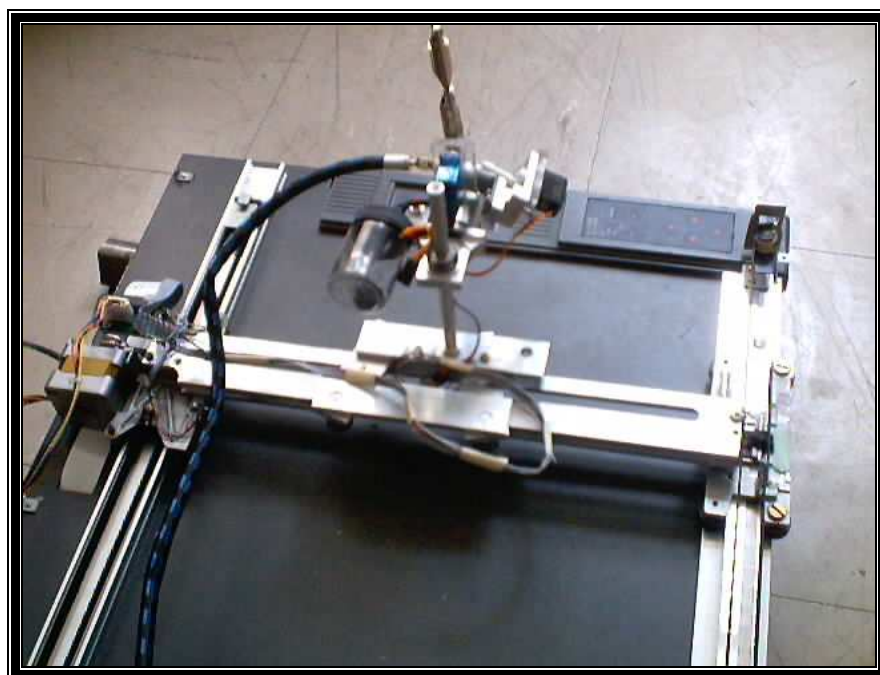


Figura IV.3.1. *Imagen del dispositivo (SAE) terminado.*

La figura IV.3.1 muestra el ensamble de los elementos, así como la inclusión del aerógrafo, la línea de alimentación de aire, el electro-catalizador, los motores a pasos y servomotores. Con este dispositivo físico, se da por concluida la fase de construcción del SAE. La electrónica no se aprecia en la figura ya que esta ubicada debajo de la base.

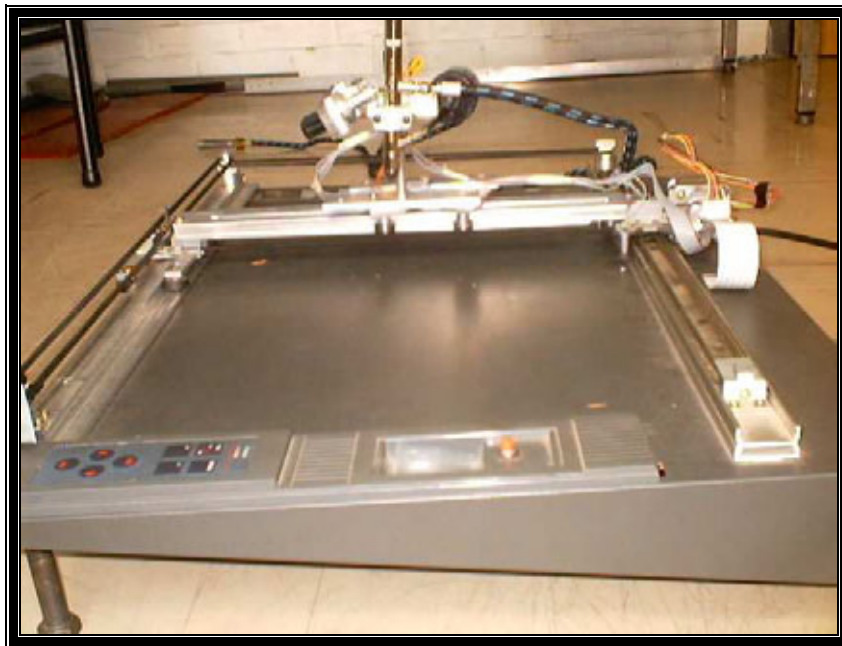


Figura IV.3.2. *Imagen con otra perspectiva del dispositivo (SAE) terminado.*

En la figura IV.3.2 se aprecia el sistema de bandas y poleas (P1, P2, P3 y P4) dentadas, el teclado digital, entre otros elementos.

CONCLUSIONES

Conclusiones.

El SAE cumplió en gran medida con el objetivo buscado, el cual fue el de diseñar y construir un sistema automático que reemplace a los métodos descritos en el capítulo II para la aplicación de la solución electro-catalítica sobre las membranas de las celdas de combustible tipo PEM, los cuales conllevan al desperdicio del platino que es el principal material del electro-catalizador y además es sumamente costoso. Esto se logró al obtener movimientos controlados y repetitivos, así como la ventaja de variar sus parámetros de velocidad y distancias con una PC o manualmente de una manera sencilla y entendible por el usuario. Esto es importante para que se realice la investigación y optimización de esta tecnología limpia basada en el hidrógeno.

Por lo tanto una conclusión muy importante es que al incursionar con este trabajo en el área de la tecnología del hidrogeno, ésta se ve beneficiada por esta técnica de aplicación de electro-catalizador sobre la membranas de intercambio protónico.

El desempeño mecánico del SAE se comportó como se especificó en los requerimientos (de forma estable). La configuración de los carros y rieles generaron los movimientos requeridos en el plano de trabajo, necesarios para la aplicación del electro-catalizador sobre las membranas de intercambio protónico, que es elemento fundamental en las celdas de combustible.

Del párrafo anterior se comprueba para el sistema mecánico, la correcta elección de la configuración mecánica de posicionamiento (estructuras de configuración de robots manipuladores)

La utilidad de este dispositivo (SAE), puede trasladarse a otras aplicaciones en las que uno de los principales objetivos sea la precisión de aplicación de soluciones sobre superficies planas

La interacción entre la mecánica, informática y electrónica por la que se desarrolló este proyecto, fue una herramienta elemental, ya que gracias a esto se conjuntaron los elementos para obtener finalmente el SAE.

Este dispositivo se puede mejorar en algunos aspectos, por ejemplo, la parte de informática se puede mejorar creando una interfase amigable con el usuario para especificar de una manera gráfica y sencilla con la PC la velocidad, dimensiones e incluso el número de membranas a cubrir con la solución electro-catalítica sobre el área de trabajo con una sola ejecución.

En el control manual, se puede considerar la posibilidad de presentar de una manera digital (**display**) los valores de los parámetros de trabajo (velocidad y distancia), los cuales se calibran por medio de los potenciómetros analógicos.

BIBLIOGRAFÍA

Bibliografía

Libros

Kart T. Ulrich, “Diseño y Desarrollo de Productos”, 3^a ed, Ed. McGraw-Hill, 136 p.

C. J. Savant Jr. “Diseño electrónico, Circuitos y sistemas” 2^a ed, Addison-Wesley Iberoamericana, 1992, 880 p.

W. Bolton., “Mecatrónica, Sistemas de control electrónico en la ingeniería mecánica y eléctrica” 2^a ed, Alfaomega, 2001. 542 p.

Microchip Technology Incorporated, USA, “Microchip, PIC16F87X, 2001, 216 p.

Tesis

Araujo Nieto Jorge, Muñoz Barrera Jesús Abraham, “Diseño y caracterización de los campos de flujo de una celda de combustible” México 2005. 89p. Tesis de Licenciatura en Ingeniería Mecánica UNAM, Facultad de Ingeniería.

Reyes Farias Martín, Zapatero Jiménez José V. “Diseño estructural de un snack de celdas de combustible tipo PEM” México 2005. 123p. Tesis de Licenciatura en Ingeniería Mecánica UNAM, Facultad de Ingeniería.

Internet

<http://www.conae.gob.mx/work/secciones/466/imagenes/celdas.pdf>, 23 de enero de 2005

<http://www.gsm-clientes.com.ar/ancefn/hidrogeno/fosil.pdf>, 22 febrero 2005

<http://www.eco2site.com>, 22 febrero 2005

http://www.ford.cl/outfitters/reportaje_39.html, 30 abril 2005

<http://www.celulaacombustivel.com.br/cac/componentes/introcomp.htm>, 30 abril 2005

<http://www.energuia.com/es/indice2.aspx?Categoria=24&Subcategoría=26>, 30 abril 2005

<http://www.HidrogenoyCelulasdeCombustible.htm>, 5 de junio 2005

http://www.amerlis.pt/fuel_cell/fuelcel.htm, 5 junio 2005

<http://www.generaciondistribuida.com>, 7 julio 2005

http://www.workwide.fuelcells.org/sp_base.cgim, 7 julio 2005

<http://www.adts.info/hidrogen/infohidrogen.pdf>, 7 julio 2005

http://www.autric.com/MicroboticayMecatronica/motores_c_c.htm, 20 febrero 2008

http://www.autric.com/MicroboticayMecatronica/motores_paso_a_paso.htm, 20 febrero 2008

http://www.tmasi.com/robotica/pwmtut/pwm/motores_servo.htm, 20 febrero 2008

http://www.tmasi.com/robotica/pwmtut/tut_4.htm, 20 febrero 2008

<http://www.cinterfor.org.uy/?Quéesel analisisfuncional.htm>, 20 febrero 2008

<http://www.proton.ucting.udg.mx/materias/robotica/r166/r19/r19.htm>, 26 febrero 2008

http://www.wikipedia.org/wiki/motor_electrico, 5 de marzo 2008

http://www.wikipedia.org/wiki/motor_corriente_alterna, 5 de marzo 2008

http://www.wikipedia.org/wiki/motor_corriente_continua, 5 de marzo 2008

<http://www.iuma.ulpgc.es/proto3d/systems/pic/index.htm>, 22 de marzo 2008

<http://www.ing.puc.cl/~icm2312/apuntes/ajustes/fino.html>, 22 marzo 2008

http://cfievalladolid2.net/tecno/cyr_01/robotica/sistema/motores_servo.htm, 22 marzo 2008

www.todorobot.com.ar/informacion/tutorial%20stepper/stepper-tutorial.htm, 22 marzo 2008

www.datasheetcatalog.net/es/datasheets_pdf/L/2/9/3/L293.shtml, 2 abril 2008

http://www.datasheetcatalog.net/es/datasheets_pdf/L/2/9/8/, 2 abril 2008

www.datasheetcatalog.net/es/datasheets_pdf/L/M/7/8/LM7805.shtml, 2 abril 2008

www.alldatasheet.com/view.jsp?Searchword=IN4001/4, 2 abril 2008

<http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/30292c.pdf>

www.datasheetcatalog.net/es/datasheets_pdf/M/A/X/2/MAX232.shtml, 2 abril 2008

http://www.datasheet4u.com/html/8/0/5/8051AH_IntelCorporation.pdf.html, 2 abril 2008

http://www.freescale.com/files/microcontrollers/doc/data_sheet/MC68HC11.pdf, 2 abril 2008

<http://www.sparmax.com.ar/aerografos.htm> 5 de mayo de 2008

APÉNDICES

MC68HC11A8
MC68HC11A1
MC68HC11A0

Technical Summary **8-Bit Microcontrollers**

1 Introduction

The MC68HC11A8, MC68HC11A1, and MC68HC11A0 high-performance microcontroller units (MCUs) are based on the M68HC11 Family. These high speed, low power consumption chips have multiplexed buses and a fully static design. The chips can operate at frequencies from 3 MHz to dc. The three MCUs are created from the same masks; the only differences are the value stored in the CONFIG register, and whether or not the ROM or EEPROM is tested and guaranteed.

For detailed information about specific characteristics of these MCUs, refer to the *M68HC11 Reference Manual (M68HC11RM/AD)*.

1.1 Features

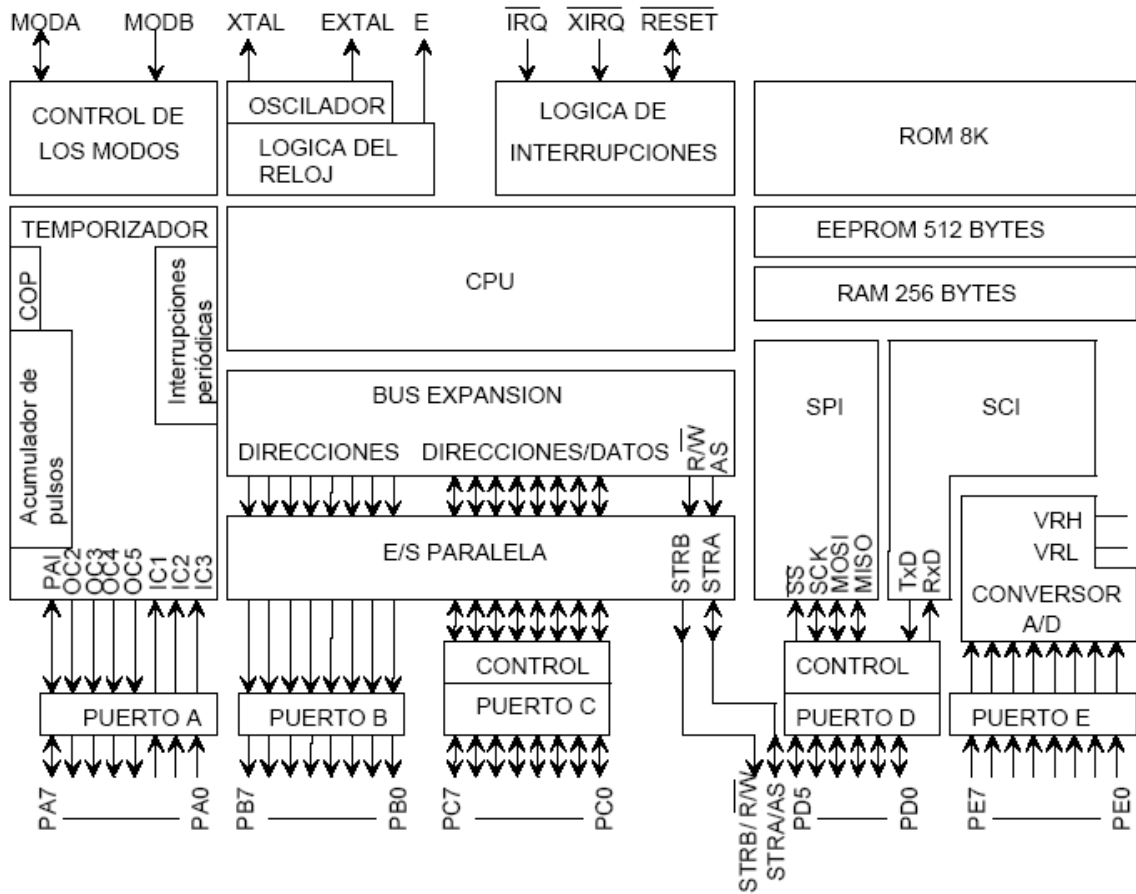
- M68HC11 CPU
- Power Saving STOP and WAIT Modes
- 8 Kbytes ROM
- 512 Bytes of On-Chip EEPROM
- 256 Bytes of On-Chip RAM (All Saved During Standby)
- 16-Bit Timer System
 - 3 Input Capture Channels
 - 5 Output Compare Channels
- 8-Bit Pulse Accumulator
- Real-Time Interrupt Circuit
- Computer Operating Properly (COP) Watchdog System
- Synchronous Serial Peripheral Interface (SPI)
- Asynchronous Nonreturn to Zero (NRZ) Serial Communications Interface (SCI)
- 8-Channel, 8-Bit Analog-to-Digital (A/D) Converter
- 38 General-Purpose Input/Output (I/O) Pins
 - 15 Bidirectional I/O Pins
 - 11 Input-Only Pins and 12 Output-Only Pins (Eight Output-Only Pins in 48-Pin Package)
- Available in 48-Pin Dual In-Line Package (DIP) or 52-Pin Plastic Leaded Chip Carrier (PLCC)

This document contains information on a new product. Specifications and information herein are subject to change without notice.



APÉNDICE A-1

Microcontrolador Motorola M68HC11 (continuación)





MCS® 51
8-BIT CONTROL-ORIENTED MICROCONTROLLERS
Commercial/Express

8031AH/8051AH/8051AHP
8032AH/8052AH
8751H/8751H-8
8751BH/8752BH

- | | |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> ■ High Performance HMOS Process ■ Internal Timers/Event Counters ■ 2-Level Interrupt Priority Structure ■ 32 I/O Lines (Four 8-Bit Ports) ■ 64K External Program Memory Space ■ Security Feature Protects EPROM Parts Against Software Piracy | <ul style="list-style-type: none"> ■ Boolean Processor ■ Bit-Addressable RAM ■ Programmable Full Duplex Serial Channel ■ 111 Instructions (64 Single-Cycle) ■ 64K External Data Memory Space ■ Extended Temperature Range (-40°C to +85°C) |
|--|--|

The MCS® 51 controllers are optimized for control applications. Byte-processing and numerical operations on small data structures are facilitated by a variety of fast addressing modes for accessing the internal RAM. The instruction set provides a convenient menu of 8-bit arithmetic instructions, including multiply and divide instructions. Extensive on-chip support is provided for one-bit variables as a separate data type, allowing direct bit manipulation and testing in control and logic systems that require Boolean processing.

The 8751H is an EPROM version of the 8051AH. It has 4 Kbytes of electrically programmable ROM which can be erased with ultraviolet light. It is fully compatible with the 8051AH but incorporates one additional feature: a Program Memory Security bit that can be used to protect the EPROM against unauthorized readout. The 8751H-8 is identical to the 8751H but only operates up to 8 MHz.

The 8051AHP is identical to the 8051AH with the exception of the Protection Feature. To incorporate this Protection Feature, program verification has been disabled and external memory accesses have been limited to 4K.

The 8052AH is an enhanced version of the 8051AH. It is backwards compatible with the 8051AH and is fabricated with HMOS II technology. The 8052AH enhancements are listed in the table below. Also refer to this table for the ROM, ROMless and EPROM versions of each product.

Device	Internal Memory		Timers/ Event Counters	Interrupts
	Program	Data		
8031AH	none	128 x 8 RAM	2 x 16-Bit	5
8051AH	4K x 8 ROM	128 x 8 RAM	2 x 16-Bit	5
8051AHP	4K x 8 ROM	128 x 8 RAM	2 x 16-Bit	5
8751H	4K x 8 EPROM	128 x 8 RAM	2 x 16-Bit	5
8751H-8	4K x 8 EPROM	128 x 8 RAM	2 x 16-Bit	5
8751BH	4K x 8 EPROM	128 x 8 RAM	2 x 16-Bit	5

APÉNDICE A-1
Microcontrolador Intel 8051 (continuación)

MCS® 51 CONTROLLER

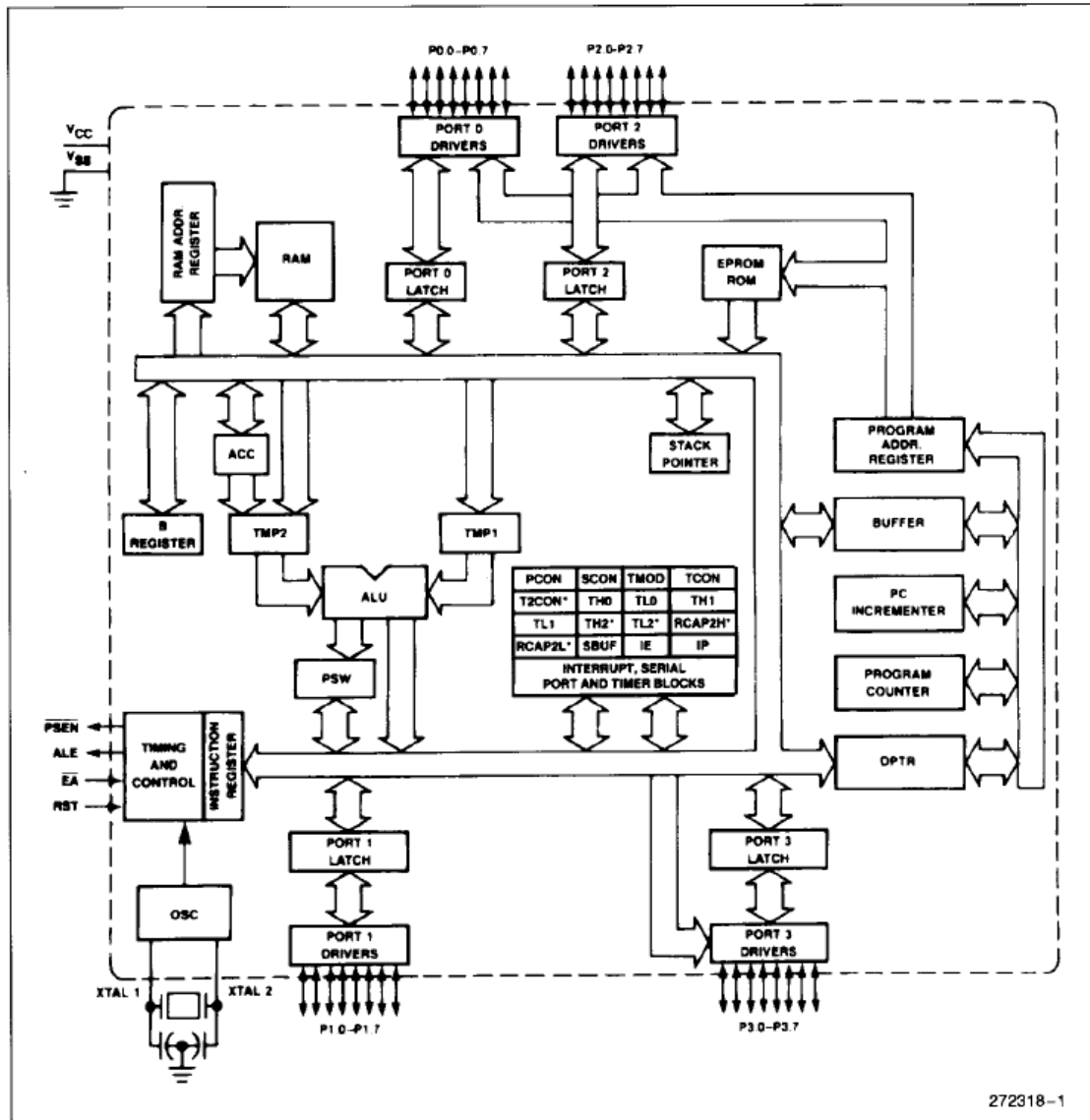


Figure 1. MCS® 51 Controller Block Diagram

PROCESS INFORMATION

The 8031AH/8051AH and 8032AH/8052AH devices are manufactured on P414.1, an HMOS II process. The 8751H/8751H-8 devices are manufactured on P421.X, an HMOS-E process. The 8751BH and 8752BH devices are manufactured on P422. Additional process and reliability information is available in Intel's *Components Quality and Reliability Handbook*, Order No. 210997.



PIC16F87X

28/40-Pin 8-Bit CMOS FLASH Microcontrollers

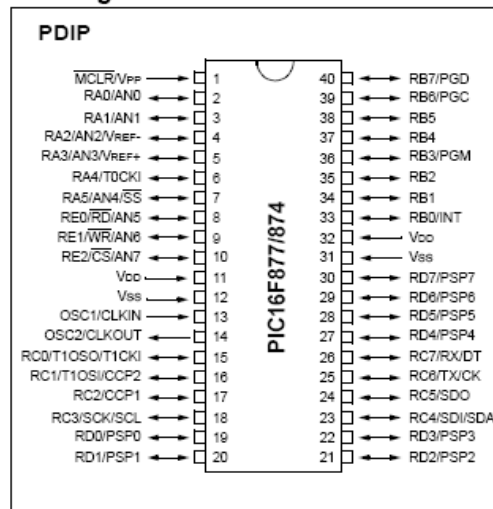
Devices Included in this Data Sheet:

- PIC16F873 • PIC16F876
- PIC16F874 • PIC16F877

Microcontroller Core Features:

- High performance RISC CPU
- Only 35 single word instructions to learn
- All single cycle instructions except for program branches which are two cycle
- Operating speed: DC - 20 MHz clock input
DC - 200 ns instruction cycle
- Up to 8K x 14 words of FLASH Program Memory,
Up to 368 x 8 bytes of Data Memory (RAM)
Up to 256 x 8 bytes of EEPROM Data Memory
- Pinout compatible to the PIC16C73B/74B/76/77
- Interrupt capability (up to 14 sources)
- Eight level deep hardware stack
- Direct, indirect and relative addressing modes
- Power-on Reset (POR)
- Power-up Timer (PWRT) and
Oscillator Start-up Timer (OST)
- Watchdog Timer (WDT) with its own on-chip RC
oscillator for reliable operation
- Programmable code protection
- Power saving SLEEP mode
- Selectable oscillator options
- Low power, high speed CMOS FLASH/EEPROM
technology
- Fully static design
- In-Circuit Serial Programming™ (ICSP) via two
pins
- Single 5V In-Circuit Serial Programming capability
- In-Circuit Debugging via two pins
- Processor read/write access to program memory
- Wide operating voltage range: 2.0V to 5.5V
- High Sink/Source Current: 25 mA
- Commercial, Industrial and Extended temperature
ranges
- Low-power consumption:
 - < 0.6 mA typical @ 3V, 4 MHz
 - 20 µA typical @ 3V, 32 kHz
 - < 1 µA typical standby current

Pin Diagram



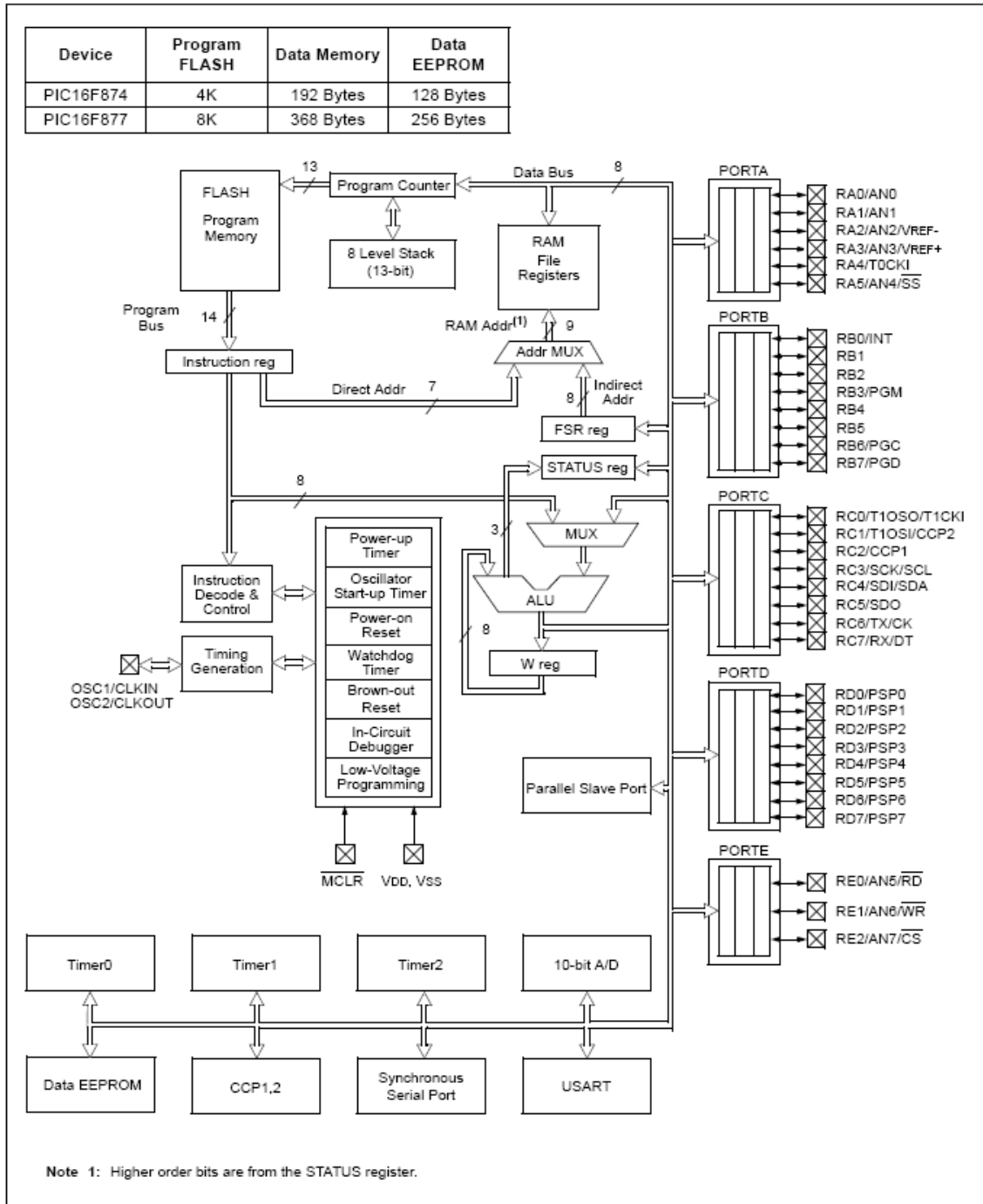
Peripheral Features:

- Timer0: 8-bit timer/counter with 8-bit prescaler
- Timer1: 16-bit timer/counter with prescaler,
can be incremented during SLEEP via external
crystal/clock
- Timer2: 8-bit timer/counter with 8-bit period
register, prescaler and postscaler
- Two Capture, Compare, PWM modules
 - Capture is 16-bit, max. resolution is 12.5 ns
 - Compare is 16-bit, max. resolution is 200 ns
 - PWM max. resolution is 10-bit
- 10-bit multi-channel Analog-to-Digital converter
- Synchronous Serial Port (SSP) with SPI™ (Master
mode) and I²C™ (Master/Slave)
- Universal Synchronous Asynchronous Receiver
Transmitter (USART/SCI) with 9-bit address
detection
- Parallel Slave Port (PSP) 8-bits wide, with
external RD, WR and CS controls (40/44-pin only)
- Brown-out detection circuitry for
Brown-out Reset (BOR)

APÉNDICE A-1

Microcontrolador Microcip PIC16F8777 (continuación)

FIGURE 1-2: PIC16F874 AND PIC16F877 BLOCK DIAGRAM



APÉNDICE A-1

Microcontrolador Microcip PIC16F8777 (continuación)

PIC16F87X

Key Features PICmicro™ Mid-Range Reference Manual (DS33023)	PIC16F873	PIC16F874	PIC16F876	PIC16F877
Operating Frequency	DC - 20 MHz	DC - 20 MHz	DC - 20 MHz	DC - 20 MHz
RESETS (and Delays)	POR, BOR (PWRT, OST)	POR, BOR (PWRT, OST)	POR, BOR (PWRT, OST)	POR, BOR (PWRT, OST)
FLASH Program Memory (14-bit words)	4K	4K	8K	8K
Data Memory (bytes)	192	192	368	368
EEPROM Data Memory	128	128	256	256
Interrupts	13	14	13	14
I/O Ports	Ports A,B,C	Ports A,B,C,D,E	Ports A,B,C	Ports A,B,C,D,E
Timers	3	3	3	3
Capture/Compare/PWM Modules	2	2	2	2
Serial Communications	MSSP, USART	MSSP, USART	MSSP, USART	MSSP, USART
Parallel Communications	—	PSP	—	PSP
10-bit Analog-to-Digital Module	5 input channels	8 input channels	5 input channels	8 input channels
Instruction Set	35 instructions	35 instructions	35 instructions	35 instructions

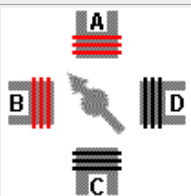
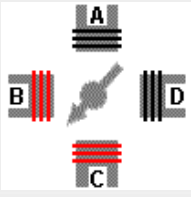
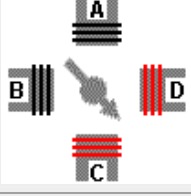
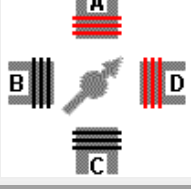
APÉNDICE A-2

Funcionamiento de los motores a pasos

Secuencias para manejar motores paso a paso Unipolares

Existen tres secuencias posibles para este tipo de motores, las cuales se detallan a continuación. Todas las secuencias comienzan nuevamente por el paso 1 una vez alcanzado el paso final (4 u 8). Para revertir el sentido de giro, simplemente se deben ejecutar las secuencias en modo inverso.

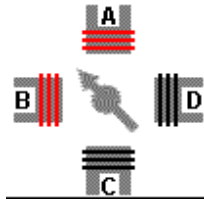
Secuencia Normal: Esta es la secuencia más usada y la que generalmente recomienda el fabricante. Con esta secuencia el motor avanza un paso por vez y debido a que siempre hay al menos dos bobinas activadas, se obtiene un alto torque de paso y de retención.

PASO	Bobina A	Bobina B	Bobina C	Bobina D	
1	ON	ON	OFF	OFF	
2	OFF	ON	ON	OFF	
3	OFF	OFF	ON	ON	
4	ON	OFF	OFF	ON	

APÉNDICE A-2

Funcionamiento de los motores a pasos (continuación)

A continuación se muestra la secuencia en sentido horario en modo normal:



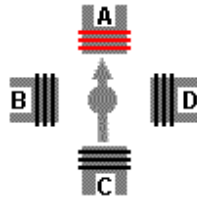
Secuencia del tipo wave drive: En esta secuencia se activa solo una bobina a la vez. En algunos motores esto brinda un funcionamiento mas suave. La contrapartida es que al estar solo una bobina activada, el torque de paso y retención es menor.

PASO	Bobina A	Bobina B	Bobina C	Bobina D	
1	ON	OFF	OFF	OFF	
2	OFF	ON	OFF	OFF	
3	OFF	OFF	ON	OFF	
4	OFF	OFF	OFF	ON	

APÉNDICE A-2

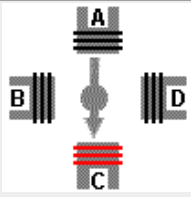
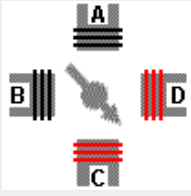
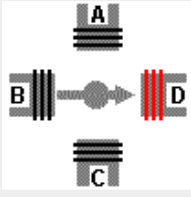
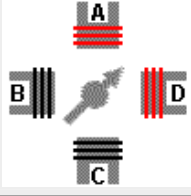
Funcionamiento de los motores a pasos (continuación)

A continuación se muestra la secuencia en sentido horario en modo wave drive:

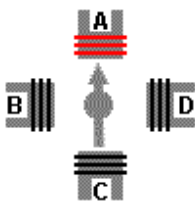


Secuencia del tipo medio paso: En esta secuencia se activan las bobinas de tal forma de brindar un movimiento igual a la mitad del paso real. Para ello se activan primero 2 bobinas y luego solo 1 y así sucesivamente. Como vemos en la tabla la secuencia completa consta de 8 movimientos en lugar de 4.

PASO	Bobina A	Bobina B	Bobina C	Bobina D	
1	ON	OFF	OFF	OFF	
2	ON	ON	OFF	OFF	
3	OFF	ON	OFF	OFF	
4	OFF	ON	ON	OFF	

5	OFF	OFF	ON	OFF	
6	OFF	OFF	ON	ON	
7	OFF	OFF	OFF	ON	
8	ON	OFF	OFF	ON	

A continuación se puede apreciar la secuencia animada en modo medio paso:



Como comentario final, cabe destacar que debido a que los motores paso a paso son dispositivos mecánicos y como tal deben vencer ciertas inercias, el tiempo de duración y la frecuencia de los pulsos aplicados es un punto muy importante a tener en cuenta. En tal sentido el motor debe alcanzar el paso antes que la próxima secuencia de pulsos comience. Si la frecuencia de pulsos es muy elevada, el motor puede reaccionar en alguna de las siguientes formas:

- Puede que no realice ningún movimiento en absoluto.
- Puede comenzar a vibrar pero sin llegar a girar.
- Puede girar erráticamente.
- O puede llegar a girar en sentido opuesto.

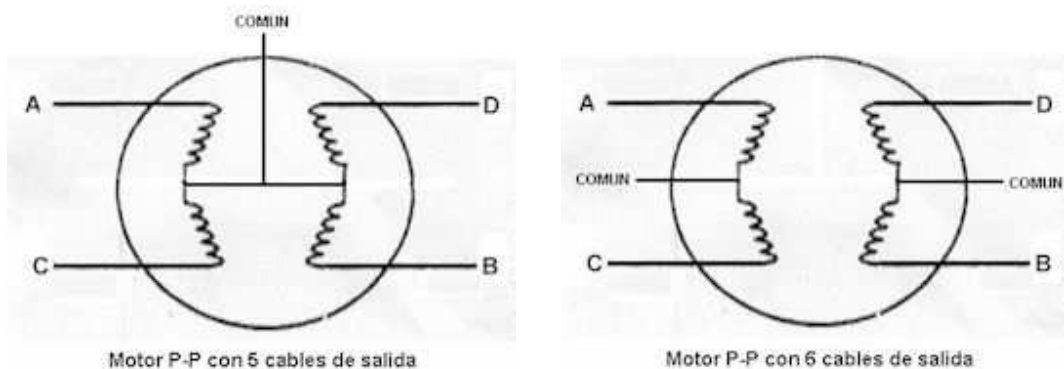
APÉNDICE A-2

Funcionamiento de los motores a pasos (continuación)

Para obtener un arranque suave y preciso, es recomendable comenzar con una frecuencia de pulso baja y gradualmente ir aumentándola hasta la velocidad deseada sin superar la máxima tolerada. El giro en reversa debería también ser realizado previamente bajando la velocidad de giro y luego cambiar el sentido de rotación.

Una referencia importante:

Cuando se trabaja con motores P-P usados o bien nuevos, pero de los cuales no tenemos hojas de datos. Es posible averiguar la distribución de los cables a los bobinados y el cable común en un motor de paso unipolar de 5 o 6 cables siguiendo las instrucciones que se detallan a continuación:



1. Aislado el cable(s) común que va a la fuente de alimentación: Como se aprecia en las figuras anteriores, en el caso de motores con 6 cables, estos poseen dos cables *comunes*, pero generalmente poseen el mismo color, por lo que lo mejor es unirlos antes de comenzar las pruebas.

Usando un tester para chequear la resistencia entre pares de cables, el cable común será el único que tenga la mitad del valor de la resistencia entre ella y el resto de los cables.

Esto es debido a que el cable *común* tiene una bobina entre ella y cualquier otro cable, mientras que cada uno de los otros cables tienen dos bobinas entre ellos. De ahí la mitad de la resistencia medida en el cable *común*.

APÉNDICE A-2

Funcionamiento de los motores a pasos (continuación)

2. Identificando los cables de las bobinas (A, B, C y D): aplicar un voltaje al cable *común* (generalmente 12 volts, pero puede ser más o menos) y manteniendo uno de los otros cables a masa (GND) mientras vamos poniendo a masa cada uno de los demás cables de forma alternada y observando los resultados.

El proceso se puede apreciar en el siguiente cuadro:

Seleccionar un cable y conectarlo a masa. Ese será llamado cable A .	
Manteniendo el cable A conectado a masa, probar cuál de los tres cables restantes provoca un paso en sentido antihorario al ser conectado también a masa. Ese será el cable B .	
Manteniendo el cable A conectado a masa, probar cuál de los dos cables restantes provoca un paso en sentido horario al ser conectado a masa. Ese será el cable D .	
El último cable debería ser el cable C . Para comprobarlo, basta con conectarlo a masa, lo que no debería generar movimiento alguno debido a que es la bobina opuesta a la A .	

Nota: La nomenclatura de los cables (A, B, C, D) es totalmente arbitraria.

Identificando los cables en Motores P-P Bipolares:

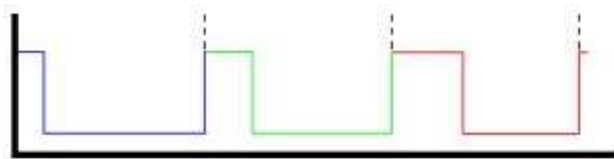
Para el caso de motores paso a paso bipolares (generalmente de 4 cables de salida), la identificación es más sencilla. Simplemente tomando un tester en modo ohmetro (para medir resistencias), podemos hallar los pares de cables que corresponden a cada bobina, debido a que entre ellos deberá haber continuidad (en realidad una resistencia muy baja). Luego solo deberemos averiguar la polaridad de la misma, la cual se obtiene fácilmente probando. Es decir, si conectado de una manera no funciona, simplemente damos vuelta los

cables de una de las bobinas y entonces ya debería funcionar correctamente. Si el sentido de giro es inverso a lo esperado, simplemente se deben invertir las conexiones de ambas bobinas y el H-Bridge.

Funcionamiento del servo. Control PWM

La **modulación por ancho de pulso**, PWM (*Pulse Width Modulation*), es una de los sistemas más empleados para el control de servos. Este sistema consiste en generar una onda cuadrada en la que se varía el tiempo que el pulso está a nivel alto, manteniendo el mismo período (normalmente), con el objetivo de modificar la posición del servo según se desee.

Para la generación de una onda PWM en un microcontrolador, lo más habitual es usar un *timer* y un comparador (interrupciones asociadas), de modo que el microcontrolador quede libre para realizar otras tareas, y la generación de la señal sea automática y más efectiva. El mecanismo consiste en programar el *timer* con el ancho del pulso (el período de la señal) y al comparador con el valor de duración del pulso a nivel alto. Cuando se produce una interrupción de *overflow* del *timer*, la subrutina de interrupción debe poner la señal PWM a nivel alto y cuando se produzca la interrupción del comparador, ésta debe poner la señal PWM a nivel bajo. En la actualidad, muchos microcontroladores, como el 68HC08, disponen de hardware específico para realizar esta tarea, eso sí, consumiendo los recursos antes mencionados (*timer* y comparador).



PWM para recorrer todo el rango de operación del servo.

El sistema de control de un servo se limita a indicar en que posición se debe situar. Esto se lleva a cabo mediante una serie de pulsos tal que la duración del pulso indica el ángulo de giro del motor. Cada servo tiene sus márgenes de operación, que se corresponden con el ancho del pulso máximo y mínimo que el servo entiende. Los valores más generales se corresponden con pulsos de entre 1 ms y 2 ms de anchura, que dejarían al motor en ambos extremos (0° y 180°). El valor 1.5 ms indicaría la posición central o neutra (90°), mientras que otros valores del pulso lo dejan en posiciones intermedias. Estos valores suelen ser los recomendados, sin embargo, es posible emplear pulsos menores de 1 ms o mayores de 2 ms, pudiéndose conseguir ángulos mayores de 180°. Si se sobrepasan los límites de movimiento del servo, éste comenzará a emitir un zumbido, indicando que se debe cambiar la longitud del pulso. El factor limitante es el tope del potenciómetro y los límites mecánicos constructivos.

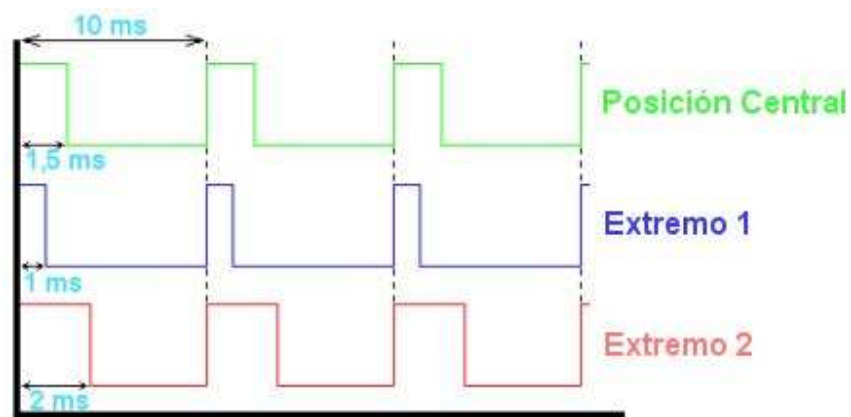
El período entre pulso y pulso (tiempo de OFF) no es crítico, e incluso puede ser distinto entre uno y otro pulso. Se suelen emplear valores ~ 20 ms (entre 10 ms y 30 ms). Si el intervalo entre pulso y pulso es inferior al mínimo, puede interferir con la temporización interna del servo, causando un zumbido, y la vibración del eje de salida. Si es mayor que el

APÉNDICE A-3

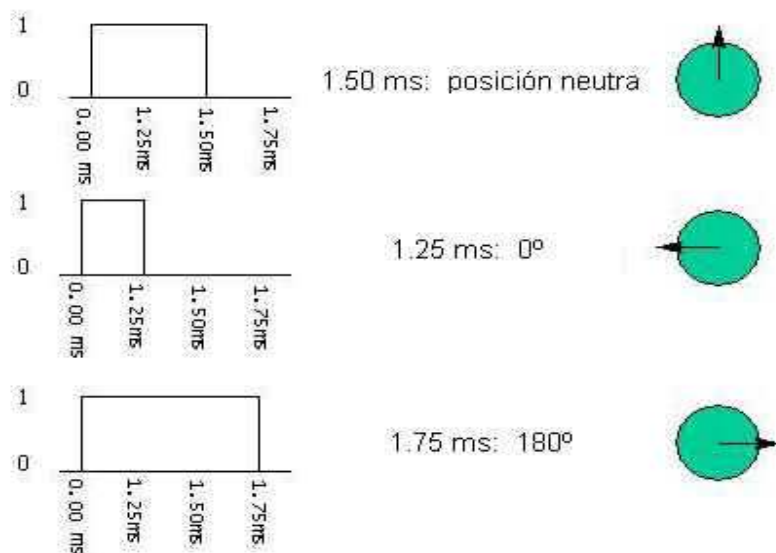
Funcionamiento de los servomotores (continuación)

máximo, entonces el servo pasará a estado dormido entre pulsos. Esto provoca que se mueva con intervalos pequeños.

Es importante destacar que para que un servo se mantenga en la misma posición durante un cierto tiempo, es necesario enviarle continuamente el pulso correspondiente. De este modo, si existe alguna fuerza que le obligue a abandonar esta posición, intentará resistirse. Si se deja de enviar pulsos (o el intervalo entre pulsos es mayor que el máximo) entonces el servo perderá fuerza y dejará de intentar mantener su posición, de modo que cualquier fuerza externa podría desplazarlo.



Tren de pulsos para control del servo.



Otra posibilidad de pulsos de control



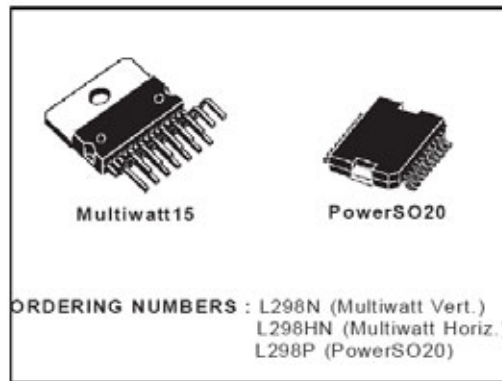
L298

DUAL FULL-BRIDGE DRIVER

- OPERATING SUPPLY VOLTAGE UP TO 46 V
- TOTAL DC CURRENT UP TO 4 A
- LOW SATURATION VOLTAGE
- OVERTEMPERATURE PROTECTION
- LOGICAL "0" INPUT VOLTAGE UP TO 1.5 V (HIGH NOISE IMMUNITY)

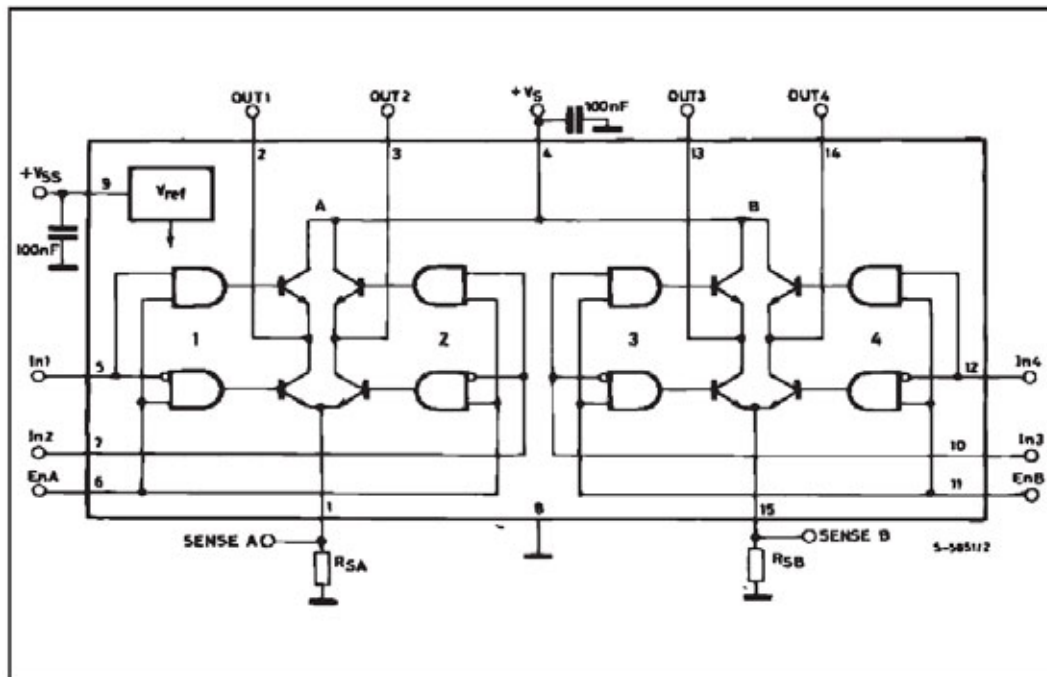
DESCRIPTION

The L298 is an integrated monolithic circuit in a 15-lead Multiwatt and PowerSO20 packages. It is a high voltage, high current dual full-bridge driver designed to accept standard TTL logic levels and drive inductive loads such as relays, solenoids, DC and stepping motors. Two enable inputs are provided to enable or disable the device independently of the input signals. The emitters of the lower transistors of each bridge are connected together and the corresponding external terminal can be used for the con-



nection of an external sensing resistor. An additional supply input is provided so that the logic works at a lower voltage.

BLOCK DIAGRAM



APÉNDICE A-4

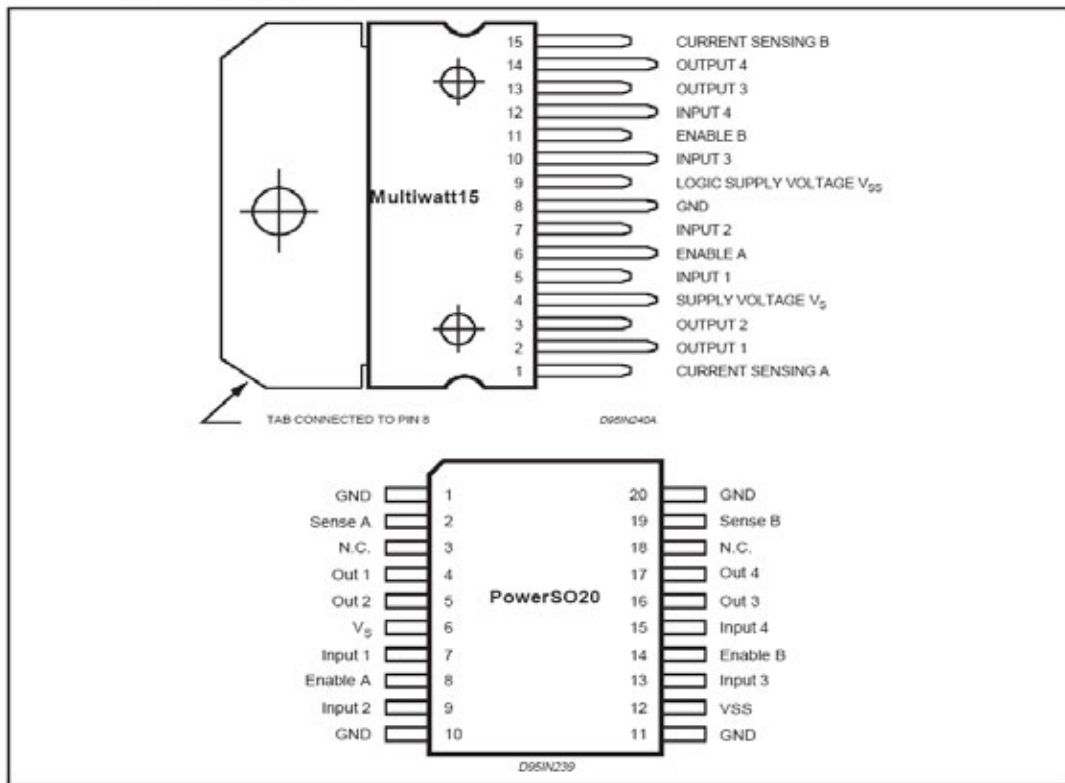
Controlador de los motores a pasos (continuación)

L298

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Symbol	Parameter	Value	Unit
V_S	Power Supply	50	V
V_{SS}	Logic Supply Voltage	7	V
V_i, V_{en}	Input and Enable Voltage	-0.3 to 7	V
I_O	Peak Output Current (each Channel)		
	- Non Repetitive ($t = 100\mu s$)	3	A
	- Repetitive (80% on -20% off; $t_{on} = 10ms$)	2.5	A
	-DC Operation	2	A
V_{sens}	Sensing Voltage	-1 to 2.3	V
P_{tot}	Total Power Dissipation ($T_{case} = 75^\circ C$)	25	W
T_{op}	Junction Operating Temperature	-25 to 130	$^\circ C$
T_{stg}, T_j	Storage and Junction Temperature	-40 to 150	$^\circ C$

PIN CONNECTIONS (top view)



THERMAL DATA

Symbol	Parameter		PowerSO20	Multiwatt15	Unit
$R_{th\ j-case}$	Thermal Resistance Junction-case	Max.	-	3	$^\circ C/W$
$R_{th\ j-amb}$	Thermal Resistance Junction-ambient	Max.	13 (*)	35	$^\circ C/W$

(*) Mounted on aluminum substrate

APÉNDICE A-4

Controlador de los motores a pasos (continuación)

L298

PIN FUNCTIONS (refer to the block diagram)

MW.15	PowerSO	Name	Function
1;15	2;19	Sense A; Sense B	Between this pin and ground is connected the sense resistor to control the current of the load.
2;3	4;5	Out 1; Out 2	Outputs of the Bridge A; the current that flows through the load connected between these two pins is monitored at pin 1.
4	6	V _S	Supply Voltage for the Power Output Stages. A non-inductive 100nF capacitor must be connected between this pin and ground.
5;7	7;9	Input 1; Input 2	TTL Compatible Inputs of the Bridge A.
6;11	8;14	Enable A; Enable B	TTL Compatible Enable Input: the L state disables the bridge A (enable A) and/or the bridge B (enable B).
8	1,10,11,20	GND	Ground.
9	12	V _{SS}	Supply Voltage for the Logic Blocks. A 100nF capacitor must be connected between this pin and ground.
10; 12	13;15	Input 3; Input 4	TTL Compatible Inputs of the Bridge B.
13; 14	16;17	Out 3; Out 4	Outputs of the Bridge B. The current that flows through the load connected between these two pins is monitored at pin 15.
-	3;18	N.C.	Not Connected

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (V_S = 42V; V_{SS} = 5V, T_J = 25°C; unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
V _S	Supply Voltage (pin 4)	Operative Condition	V _{IH} +2.5		46	V
V _{SS}	Logic Supply Voltage (pin 9)		4.5	5	7	V
I _S	Quiescent Supply Current (pin 4)	V _{en} = H; I _L = 0 V _I = L V _I = H		13 50	22 70	mA mA
I _{SS}	Quiescent Current from V _{SS} (pin 9)	V _{en} = L V _I = X		4		mA
I _{SS}	Quiescent Current from V _{SS} (pin 9)	V _{en} = H; I _L = 0 V _I = L V _I = H		24 7	36 12	mA mA
I _{SS}	Quiescent Current from V _{SS} (pin 9)	V _{en} = L V _I = X			6	mA
V _{IL}	Input Low Voltage (pins 5, 7, 10, 12)		-0.3		1.5	V
V _{IH}	Input High Voltage (pins 5, 7, 10, 12)		2.3		V _{SS}	V
I _{IL}	Low Voltage Input Current (pins 5, 7, 10, 12)	V _I = L			-10	μA
I _{IH}	High Voltage Input Current (pins 5, 7, 10, 12)	V _I = H ≤ V _{SS} - 0.6V		30	100	μA
V _{en} = L	Enable Low Voltage (pins 6, 11)		-0.3		1.5	V
V _{en} = H	Enable High Voltage (pins 6, 11)		2.3		V _{SS}	V
I _{en} = L	Low Voltage Enable Current (pins 6, 11)	V _{en} = L			-10	μA
I _{en} = H	High Voltage Enable Current (pins 6, 11)	V _{en} = H ≤ V _{SS} - 0.6V		30	100	μA
V _{CEsat(H)}	Source Saturation Voltage	I _L = 1A I _L = 2A	0.95	1.35 2	1.7 2.7	V V
V _{CEsat(L)}	Sink Saturation Voltage	I _L = 1A (5) I _L = 2A (5)	0.85	1.2 1.7	1.6 2.3	V V
V _{CEsat}	Total Drop	I _L = 1A (5) I _L = 2A (5)	1.80		3.2 4.9	V V
V _{sens}	Sensing Voltage (pins 1, 15)		-1 (1)		2	V



3/13

APÉNDICE A-5

Dispositivo de interfase de comunicación PIC-PC

19-4323; Rev 9; 4/00

MAXIM

+5V-Powered, Multichannel RS-232 Drivers/Receivers

MAX220-MAX249

General Description

The MAX220-MAX249 family of line drivers/receivers is intended for all EIA/TIA-232E and V.28/V.24 communications interfaces, particularly applications where $\pm 12V$ is not available.

These parts are especially useful in battery-powered systems, since their low-power shutdown mode reduces power dissipation to less than 5 μ W. The MAX225, MAX233, MAX235, and MAX245/MAX246/MAX247 use no external components and are recommended for applications where printed circuit board space is critical.

Applications

- Portable Computers
- Low-Power Modems
- Interface Translation
- Battery-Powered RS-232 Systems
- Multidrop RS-232 Networks

Features

Superior to Bipolar

- ◆ Operate from Single +5V Power Supply (+5V and +12V—MAX231/MAX239)
- ◆ Low-Power Receive Mode in Shutdown (MAX223/MAX242)
- ◆ Meet All EIA/TIA-232E and V.28 Specifications
- ◆ Multiple Drivers and Receivers
- ◆ 3-State Driver and Receiver Outputs
- ◆ Open-Line Detection (MAX243)

Ordering Information

PART	TEMP. RANGE	PIN-PACKAGE
MAX220CPE	0°C to +70°C	16 Plastic DIP
MAX220CSE	0°C to +70°C	16 Narrow SO
MAX220CWE	0°C to +70°C	16 Wide SO
MAX220C/D	0°C to +70°C	Dice*
MAX220EPE	-40°C to +85°C	16 Plastic DIP
MAX220ESE	-40°C to +85°C	16 Narrow SO
MAX220EWE	-40°C to +85°C	16 Wide SO
MAX220EJE	-40°C to +85°C	16 CERDIP
MAX220MJE	-55°C to +125°C	16 CERDIP

Ordering information continued at end of data sheet.

*Contact factory for dice specifications.

Selection Table

Part Number	Power Supply (V)	No. of RS-232 Drivers/Rx	No. of Ext. Caps	Nominal Cap. Value (μ F)	SHDN & Three-State	Rx Active in SHDN	Data Rate (kbps)	Features
MAX220	+5	2/2	4	4.7/10	No	—	120	Ultra-low-power, industry-standard pinout
MAX222	+5	2/2	4	0.1	Yes	—	200	Low-power shutdown
MAX223 (MAX213)	+5	4/5	4	1.0 (0.1)	Yes	✓	120	MAX241 and receivers active in shutdown
MAX225	+5	5/5	0	—	Yes	✓	120	Available in SO
MAX230 (MAX200)	+5	5/0	4	1.0 (0.1)	Yes	—	120	5 drivers with shutdown
MAX231 (MAX201)	+5 and +7.5 to +13.2	2/2	2	1.0 (0.1)	No	—	120	Standard +5/+12V or battery supplies; same functions as MAX232
MAX232 (MAX202)	+5	2/2	4	1.0 (0.1)	No	—	120 (64)	Industry standard
MAX232A	+5	2/2	4	0.1	No	—	200	Higher slew rate, small caps
MAX233 (MAX203)	+5	2/2	0	—	No	—	120	No external caps
MAX233A	+5	2/2	0	—	No	—	200	No external caps, high slew rate
MAX234 (MAX204)	+5	4/0	4	1.0 (0.1)	No	—	120	Replaces 1488
MAX235 (MAX205)	+5	5/5	0	—	Yes	—	120	No external caps
MAX236 (MAX206)	+5	4/3	4	1.0 (0.1)	Yes	—	120	Shutdown, three state
MAX237 (MAX207)	+5	5/3	4	1.0 (0.1)	No	—	120	Complements IBM PC serial port
MAX238 (MAX208)	+5	4/4	4	1.0 (0.1)	No	—	120	Replaces 1488 and 1489
MAX239 (MAX209)	+5 and +7.5 to +13.2	3/5	2	1.0 (0.1)	No	—	120	Standard +5/+12V or battery supplies; single-package solution for IBM PC serial port
MAX240	+5	5/5	4	1.0	Yes	—	120	DIP or flatpack package
MAX241 (MAX211)	+5	4/5	4	1.0 (0.1)	Yes	—	120	Complete IBM PC serial port
MAX242	+5	2/2	4	0.1	Yes	✓	200	Separate shutdown and enable
MAX243	+5	2/2	4	0.1	No	—	200	Open-line detection simplifies cabling
MAX244	+5	8/10	4	1.0	No	—	120	High slew rate
MAX245	+5	8/10	0	—	Yes	✓	120	High slew rate, int. caps, two shutdown modes
MAX246	+5	8/10	0	—	Yes	✓	120	High slew rate, int. caps, three shutdown modes
MAX247	+5	8/9	0	—	Yes	✓	120	High slew rate, int. caps, nine operating modes
MAX248	+5	8/8	4	1.0	Yes	✓	120	High slew rate, selective half-chip enables
MAX249	+5	6/10	4	1.0	Yes	✓	120	Available in quad flatpack package

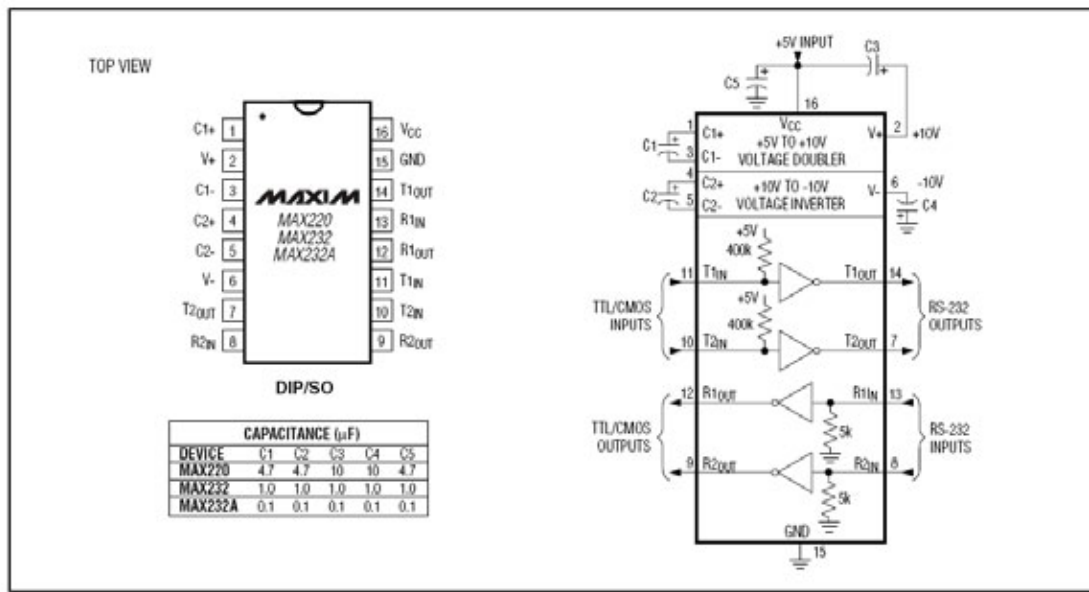
MAXIM

Maxim Integrated Products 1

APÉNDICE A-5

Dispositivo de interfase de comunicación PIC-PC (continuación)

+5V-Powered, Multichannel RS-232 Drivers/Receivers



MAX220-MAX249

Figure 5. MAX220/MAX232/MAX232A Pin Configuration and Typical Operating Circuit

+5V-Powered, Multichannel RS-232 Drivers/Receivers

MAX220-MAX249

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS—MAX220/222/232A/233A/242/243

Supply Voltage (V _{CC})	-0.3V to +6V	20-Pin Plastic DIP (derate 8.00mW/°C above +70°C)	..440mW
Input Voltages		16-Pin Narrow SO (derate 8.70mW/°C above +70°C)	..696mW
T _{IN}	-0.3V to (V _{CC} - 0.3V)	16-Pin Wide SO (derate 9.52mW/°C above +70°C)	..762mW
R _{IN} (Except MAX220)	±30V	18-Pin Wide SO (derate 9.52mW/°C above +70°C)	..762mW
R _{IN} (MAX220)	±25V	20-Pin Wide SO (derate 10.00mW/°C above +70°C)	..800mW
T _{OUT} (Except MAX220) (Note 1)	±15V	20-Pin SSOP (derate 8.00mW/°C above +70°C)	..640mW
T _{OUT} (MAX220)	±13.2V	16-Pin CERDIP (derate 10.00mW/°C above +70°C)	..800mW
Output Voltages		18-Pin CERDIP (derate 10.53mW/°C above +70°C)	..842mW
T _{OUT}	±15V	Operating Temperature Ranges	
R _{OUT}	-0.3V to (V _{CC} + 0.3V)	MAX2_AC_, MAX2_C_	0°C to +70°C
Driver/Receiver Output Short Circuited to GND	Continuous	MAX2_AE_, MAX2_E_	-40°C to +85°C
Continuous Power Dissipation (T _A = +70°C)		MAX2_AM_, MAX2_M_	-55°C to +125°C
16-Pin Plastic DIP (derate 10.53mW/°C above +70°C)	..842mW	Storage Temperature Range	-65°C to +160°C
18-Pin Plastic DIP (derate 11.11mW/°C above +70°C)	..889mW	Lead Temperature (soldering, 10sec)	+300°C

Note 1: Input voltage measured with T_{OUT} in high-impedance state, $\overline{\text{SHDN}}$ or V_{CC} = 0V.

Note 2: For the MAX220, V₊ and V₋ can have a maximum magnitude of 7V, but their absolute difference cannot exceed 13V.

Stresses beyond those listed under "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated in the operational sections of the specifications is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

ELECTRICAL CHARACTERISTICS—MAX220/222/232A/233A/242/243

(V_{CC} = +5V ±10%, C1-C4 = 0.1µF, MAX220, C1 = 0.047µF, C2-C4 = 0.33µF, T_A = T_{MIN} to T_{MAX}, unless otherwise noted.)

PARAMETER	CONDITIONS		MIN	TYP	MAX	UNITS
RS-232 TRANSMITTERS						
Output Voltage Swing	All transmitter outputs loaded with 3kΩ to GND		±5	±8		V
Input Logic Threshold Low				1.4	0.8	V
Input Logic Threshold High	All except MAX220		2	1.4		V
	MAX220: V _{CC} = 5.0V		2.4			
Logic Pull-Up/Input Current	All except MAX220, normal operation			5	40	µA
	$\overline{\text{SHDN}} = 0V$, MAX222/242, shutdown, MAX220			±0.01	±1	
Output Leakage Current	V _{CC} = 5.5V, $\overline{\text{SHDN}} = 0V$, V _{OUT} = ±15V, MAX222/242			±0.01	±10	µA
	V _{CC} = $\overline{\text{SHDN}} = 0V$, V _{OUT} = ±15V			±0.01	±10	
Data Rate	All except MAX220, normal operation			200	116	kb/s
Transmitter Output Resistance	V _{CC} = V ₊ = V ₋ = 0V, V _{OUT} = ±2V		300	10M		Ω
Output Short-Circuit Current	V _{OUT} = 0V		±7	±22		mA
RS-232 RECEIVERS						
RS-232 Input Voltage Operating Range					±30	V
RS-232 Input Threshold Low	V _{CC} = 5V	All except MAX243 R _{2IN}	0.8	1.3		V
		MAX243 R _{2IN} (Note 2)			-3	
RS-232 Input Threshold High	V _{CC} = 5V	All except MAX243 R _{2IN}		1.8	2.4	V
		MAX243 R _{2IN} (Note 2)			-0.5	
RS-232 Input Hysteresis	All except MAX243, V _{CC} = 5V, no hysteresis in shdn.		0.2	0.5	1	V
	MAX243			1		
RS-232 Input Resistance			3	5	7	kΩ
TTL/CMOS Output Voltage Low	I _{OUT} = 3.2mA			0.2	0.4	V
TTL/CMOS Output Voltage High	I _{OUT} = -1.0mA		3.5	V _{CC} - 0.2		V
TTL/CMOS Output Short-Circuit Current	Sourcing V _{OUT} = GND		-2	-10		mA
	Sinking V _{OUT} = V _{CC}		10	30		

+5V-Powered, Multichannel RS-232 Drivers/Receivers

MAX220-MAX249

ELECTRICAL CHARACTERISTICS—MAX220/222/232A/233A/242/243 (continued)

(V_{CC} = +5V ±10%, C1–C4 = 0.1µF, MAX220, C1 = 0.047µF, C2–C4 = 0.33µF, T_A = T_{MIN} to T_{MAX}, unless otherwise noted.)

PARAMETER	CONDITIONS		MIN	TYP	MAX	UNITS
TTL/CMOS Output Leakage Current	SHDN = V _{CC} or EN = V _{CC} (SHDN = 0V for MAX222), 0V ≤ V _{OUT} ≤ V _{CC}			±0.05	±10	µA
EN Input Threshold Low	MAX242			1.4	0.8	V
EN Input Threshold High	MAX242		2.0	1.4		V
Operating Supply Voltage			4.5		5.5	V
V _{CC} Supply Current (SHDN = V _{CC}), Figures 5, 6, 11, 19	No load	MAX220		0.5	2	mA
		MAX222/232A/233A/242/243		4	10	
	3kΩ load both inputs	MAX220		12		
		MAX222/232A/233A/242/243		15		
Shutdown Supply Current	MAX222/242	T _A = +25°C		0.1	10	µA
		T _A = 0°C to +70°C		2	50	
		T _A = -40°C to +85°C		2	50	
		T _A = -55°C to +125°C		35	100	
SHDN Input Leakage Current	MAX222/242				±1	µA
SHDN Threshold Low	MAX222/242			1.4	0.8	V
SHDN Threshold High	MAX222/242		2.0	1.4		V
Transition Slew Rate	C _L = 50pF to 2500pF, R _L = 3kΩ to 7kΩ, V _{CC} = 5V, T _A = +25°C, measured from +3V to -3V or -3V to +3V	MAX222/232A/233A/242/243	6	12	30	V/µs
		MAX220	1.5	3	30	
Transmitter Propagation Delay TLL to RS-232 (normal operation), Figure 1	t _{PHLT}	MAX222/232A/233A/242/243		1.3	3.5	µs
		MAX220		4	10	
	t _{PLHT}	MAX222/232A/233A/242/243		1.5	3.5	
		MAX220		5	10	
Receiver Propagation Delay RS-232 to TLL (normal operation), Figure 2	t _{PHLR}	MAX222/232A/233A/242/243		0.5	1	µs
		MAX220		0.6	3	
	t _{PLHR}	MAX222/232A/233A/242/243		0.6	1	
		MAX220		0.8	3	
Receiver Propagation Delay RS-232 to TLL (shutdown), Figure 2	t _{PHLS}	MAX242		0.5	10	µs
	t _{PLHS}	MAX242		2.5	10	
Receiver-Output Enable Time, Figure 3	t _{ER}	MAX242		125	500	ns
Receiver-Output Disable Time, Figure 3	t _{DR}	MAX242		160	500	ns
Transmitter-Output Enable Time (SHDN goes high), Figure 4	t _{ET}	MAX222/242, 0.1µF caps (includes charge-pump start-up)		250		µs
Transmitter-Output Disable Time (SHDN goes low), Figure 4	t _{DT}	MAX222/242, 0.1µF caps		600		ns
Transmitter + to - Propagation Delay Difference (normal operation)	t _{PHLT} - t _{PLHT}	MAX222/232A/233A/242/243		300		ns
		MAX220		2000		
Receiver + to - Propagation Delay Difference (normal operation)	t _{PHLR} - t _{PLHR}	MAX222/232A/233A/242/243		100		ns
		MAX220		225		

Note 3: MAX243 R_{2OUT} is guaranteed to be low when R_{2IN} is ≥ 0V or is floating.

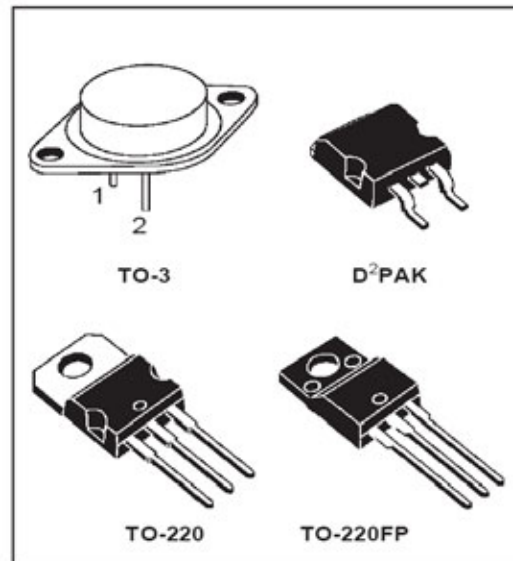


POSITIVE VOLTAGE REGULATORS

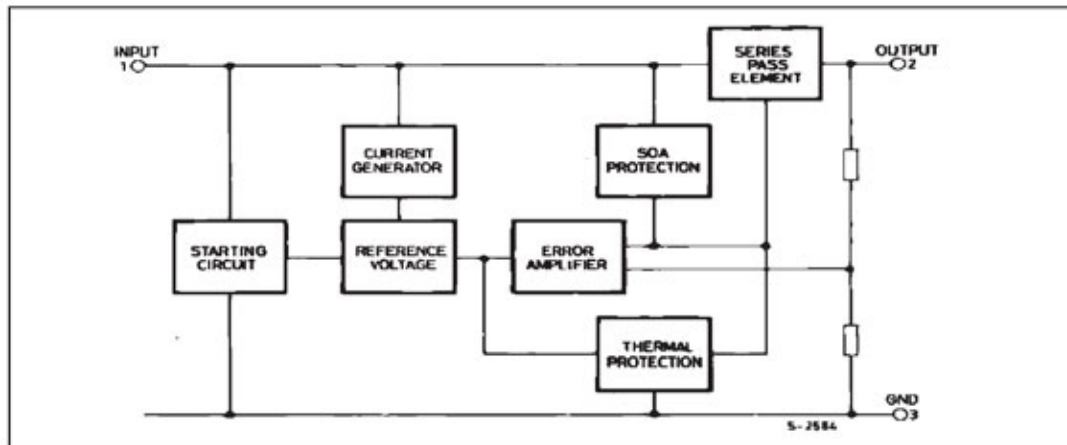
- OUTPUT CURRENT UP TO 1.5 A
- OUTPUT VOLTAGES OF 5; 5.2; 6; 8; 8.5; 9; 12; 15; 18; 24V
- THERMAL OVERLOAD PROTECTION
- SHORT CIRCUIT PROTECTION
- OUTPUT TRANSITION SOA PROTECTION

DESCRIPTION

The L7800 series of three-terminal positive regulators is available in TO-220 TO-220FP TO-3 and D²PAK packages and several fixed output voltages, making it useful in a wide range of applications. These regulators can provide local on-card regulation, eliminating the distribution problems associated with single point regulation. Each type employs internal current limiting, thermal shut-down and safe area protection, making it essentially indestructible. If adequate heat sinking is provided, they can deliver over 1A output current. Although designed primarily as fixed voltage regulators, these devices can be used with external components to obtain adjustable voltages and currents.



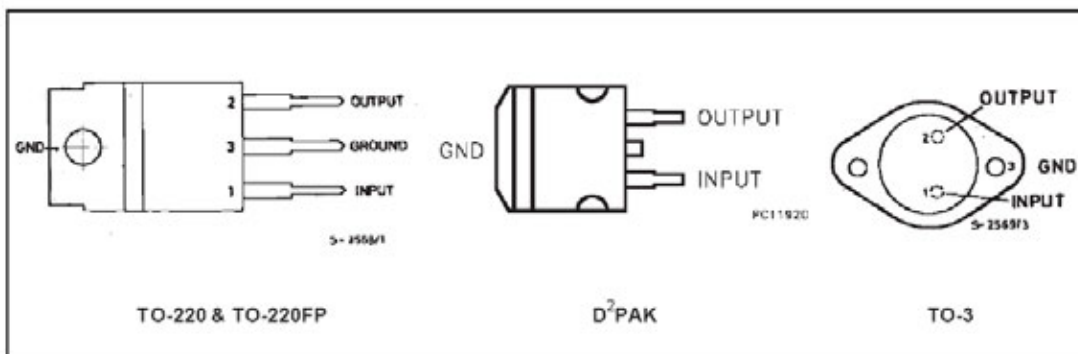
BLOCK DIAGRAM



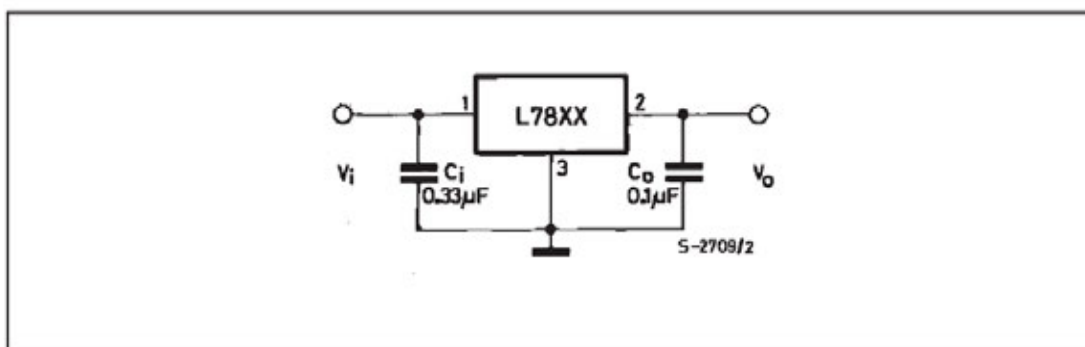
APÉNDICE A-6

Regulador a 5 [V] (continuación)

CONNECTION DIAGRAM AND ORDERING NUMBERS (top view)



APPLICATION CIRCUIT



ELECTRICAL CHARACTERISTICS FOR L7805 (refer to the test circuits, $T_j = -55$ to 150 °C, $V_i = 10\text{V}$, $I_o = 500$ mA, $C_i = 0.33 \mu\text{F}$, $C_o = 0.1 \mu\text{F}$ unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
V_o	Output Voltage	$T_j = 25$ °C	4.8	5	5.2	V
V_o	Output Voltage	$I_o = 5$ mA to 1 A $P_o \leq 15$ W $V_i = 8$ to 20 V	4.65	5	5.35	V
ΔV_o^*	Line Regulation	$V_i = 7$ to 25 V $T_j = 25$ °C $V_i = 8$ to 12 V $T_j = 25$ °C		3 1	50 25	mV mV
ΔV_o^*	Load Regulation	$I_o = 5$ to 1500 mA $T_j = 25$ °C $I_o = 250$ to 750 mA $T_j = 25$ °C			100 25	mV mV
I_d	Quiescent Current	$T_j = 25$ °C			6	mA
ΔI_d	Quiescent Current Change	$I_o = 5$ to 1000 mA			0.5	mA
ΔI_d	Quiescent Current Change	$V_i = 8$ to 25 V			0.8	mA
$\frac{\Delta V_o}{\Delta T}$	Output Voltage Drift	$I_o = 5$ mA		0.6		mV/°C
eN	Output Noise Voltage	B = 10Hz to 100KHz $T_j = 25$ °C			40	$\mu\text{V}/V_o$
SVR	Supply Voltage Rejection	$V_i = 8$ to 18 V $f = 120$ Hz	68			dB
V_d	Dropout Voltage	$I_o = 1$ A $T_j = 25$ °C		2	2.5	V
R_o	Output Resistance	$f = 1$ KHz		17		m Ω
I_{sc}	Short Circuit Current	$V_i = 35$ V $T_j = 25$ °C		0.75	1.2	A
I_{scp}	Short Circuit Peak Current	$T_j = 25$ °C	1.3	2.2	3.3	A

APÉNDICE B Aerógrafo



UNIVERSAL® 360™ DUAL (GRAVITY/BOTTOM) FEED, DUAL ACTION, INTERNAL MIX

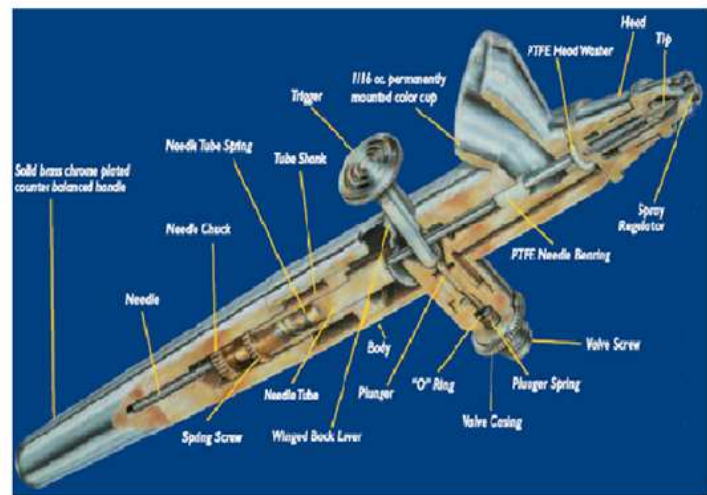
The Universal® Model 360 is the only airbrush capable of performing in a gravity feed as well as a bottom feed mode. Never before has one airbrush provided so much versatility. **It is two airbrushes in one.**

Patent Numbers 5,366,158,
5,779,157



FEATURES

- * 360° front end rotation to allow for either gravity or bottom feed usage
- * Single nozzle/needle sprays from pencil lines to 3" (76mm) spray pattern
- * Single size nozzle/needle design for spraying all materials, acrylics to watercolors, inks to lacquers, Air-Opaque™, Air-TEX®, MODELflex®, Totally Tattoo® and Totally Tan™ airbrush paints
- * Easy access needle assembly
- * Finger tight assembly tolerances
- * Correct weight apportionment balance system
- * Ultra comfort, ergonomically correct trigger cushion
- * Lifetime warranty on labor, rotational seal and PTFE seals
- * Fine replacement parts now available
- * For sets see page 10



APÉNDICE C

Programa de control

Programa de control realizado en MPLAB para el microcontrolador PIC16F877 de Microchip.

```

INCLUDE"P16F877.INC"                                "se incluye la definición de los registros"

SENPOS      EQU    0X20                            "alta de variable SENPOS"
SENNEG      EQU    0X21                            "alta de variable SENNEG"
TIEMPO      EQU    0X22                            "alta de variable TIEMPO"
FUERA       EQU    0X23                            "alta de variable FUERA"
POBRE       EQU    0X24                            "alta de variable POBRE"
RERRE       EQU    0X25                            "alta de variable RERRE"
M2SENNEG    EQU    0X26                            "alta de variable M2SENNEG"
M2SENPOS    EQU    0X27                            "alta de variable M2SENPOS"
VEL11       EQU    0X28                            "alta de variable VEL11"
VEL12       EQU    0X29                            "alta de variable VEL12"
VEL21       EQU    0X2A                            "alta de variable VEL21"
VEL22       EQU    0X2B                            "alta de variable VEL22"
VEL31       EQU    0X2C                            "alta de variable VEL31"
VEL32       EQU    0X2D                            "alta de variable VEL32"
            ORG    0X00                            "inicia en el vector de reset"
            GOTO   INICIO                          "salta a inicio"
            ORG    0X05                            "activa el vector de interrupción"

INICIO      BSF    STATUS,RP0                      "cambia al banco 1 RP0 = 1"
            BCF    STATUS,RP1                      "y RP1 = 0"
            CLRF   TRISB                          "configura PORTB como salida"
            MOVLW  B'000011'                       "W = al valor binario indicado"
            MOVWF  TRISC                          "pin 0 y 1 de PORTC entradas"
            MOVLW  B'11111111'                    "W = al valor binario indicado"
            MOVWF  TRISD                          "PORTD = entradaa (sensores)"
            MOVLW  B'00000000'                    "W = al valor binario indicado"
            MOVWF  ADCON1                          "PORTA como analógicas,
            MOVLW  B'11111111'                    ADRESH y VREFVDD y
            MOVWF  TRISA                          justificación izquierda"

            BCF    STATUS,RP0                      "regreso a banco 0"
            CLRF   PORTD                          "limpia PORTD"

ON_OFF      CLRF   PORTB                          "limpia PORTB"
            BTFSS  PORTD,4                        "si S4=1 (enter) salta 1 línea"
            GOTO   ON_OFF                          "S4=0, espera que S4=1"

ESTADO      CLRF   PORTB
            CLRF   PORTD
            CLRF   SENPOS                          "variables a cero"
            CLRF   SENNEG

```


APÉNDICE C

Programa de control (continuación)

	CLRF	M2SENEG	
	CLRF	M2SENPOS	
CAD1	;MOVLW	B'10001001'	“W= valor binario indicado”
	;MOVWF	ADCON0	“FOS/32, 1.6microseg, RA1/AN1 entrada, activo C A/D”
	;BCF	PIR1,ADIF	“limpia bandera de interrupción”
	;NOP		
	;NOP		“tiempo de espera”
	;NOP		
	;NOP		
	;BSF	ADCON0,GO	“inicia conversión”
	;NOP		
	;NOP		
	;NOP		“tiempo de espera de conversión”
	;NOP		
	;NOP		
	;NOP		
	;NOP		
TRANQUIS2	;BTFSS	PIR1,ADIF	“checa si ya terminó la conversión”
	;GOTO	TRANQUIS2	“no, va a tranquis2”
	;MOVF	ADRESH,W	“si, mueve adresh al acumulador W”
	;MOVWF	VEL21	“VEL21=W”
	;GOTO	START	“va a START”
CAD0	MOVLW	B'10000001'	“W= valor binario indicado”
	MOVWF	ADCON0	“FOS/32, 1.6microseg, RA0/AN0 entrada, activo C A/D”
	BCF	PIR1,ADIF	“limpia bandera de interrupción”
	NOP		
	NOP		
	NOP		“tiempo de espera”
	NOP		
	NOP		
	BSF	ADCON0,GO	“inicia conversión”
	NOP		
	NOP		
	NOP		“tiempo de espera de conversión”
	NOP		
	NOP		
	NOP		
	NOP		
TRANQUIS	BTFSS	PIR1,ADIF	“checa si ya terminó la conversión”
	GOTO	TRANQUIS	“no, va a tranquis”
	MOVF	ADRESH,W	“si, mueve adresh al acumulador”
	MOVWF	VEL11	“VEL11=W”
	;GOTO	AN	“va a AN”
CAD2	MOVLW	B'10010001'	“W=valor binario indicado”
	MOVWF	ADCON0	“FOS/32, 1.6 microseg, RA2/AN2 entrada, activo C A/D”

APÉNDICE C

Programa de control (continuación)

	BCF	PIR1,ADIF	“limpia bandera de interrupción”
	NOP		
	NOP		
	NOP		“tiempo de espera”
	NOP		
	BSF	ADCON0,GO	“inicia conversión”
	NOP		
	NOP		
	NOP		“tiempo de espera de conversión”
	NOP		
	NOP		
	NOP		
TRANQUIS3	BTFSS	PIR1,ADIF	“checa si ya terminó la conversión”
	GOTO	TRANQUIS3	“no, voy a tranquis”
	MOVF	ADRESH,W	“si, mueve adresh al acumulador”
	MOVWF	VEL31	
	;GOTO	AN2	
START	BTFSS	PORTD,0	“si S0 = 1 salta 1 línea”
	GOTO	FLECHAS	“si es 0, va a checar flechas”
	BTFSS	PORTD,4	“si S4 = 1salta 1 línea”
	GOTO	FLECHAS	“si es 0, va a estado”
			;INICIO DEL CICLO MOTOR1
ANTIHORARIO	BTFSS	PORTD,3	“si S1=1 salta 1 línea”
	GOTO	SIGUER	“S1=0, va a SIGUER”
	CLRF	PORTB	“limpia PORTB”
	GOTO	MOTOR2	“va a MOTOR2”
SIGUER	DECF	SENNEG,F	“decremento SENNEG”
	MOVF	SENNEG,W	“W=SENNEG”
	ANDLW	.3	“AND entre SENNEG Y .3”
	CALL	TABLA	“llama TABLA con valor de AND”
	MOVWF	PORTB	“valor de TABLA por el PORTB”
	CALL	ANIDADO	“llama retardo”
	GOTO	ANTIHORARIO	“de retardo va a ANTIHORARIO”
			;NIICIO DE OPERACION DEL MOTOR2 SI S1=1
MOTOR2	;MOVF	VEL21,W	“W=VEL21”
	;MOVWF	VEL22	“VEL22=W”
	MOVLW	.205	“W=valor decimal”
	MOVWF	RERRE	“RERRE=W”
OTRA	DECFSZ	RERRE,F	“decrementa RERRE y salto si = 0”
	;DECFSZ	VEL22,F	“decrementa VEL22 y salto si = 0”
	GOTO	REVERS	“va a REVERS si RERRE no = 0”
	CLRF	PORTB	“limpia PORTB”
	GOTO	HORARIO	“va a HOARIO si RERRE = 0”
REVERS	BTFSS	PORTD,2	“si S3 = 1 salta 1 línea”
	GOTO	SEGUIR	“si S3 = 0 va a SEGUIR”

APÉNDICE C

Programa de control (continuación)

SEGUIR	GOTO	ACA	“va a ACA”
	DECf	M2SENNEG,F	“decremento M2SENNEG”
	MOVf	M2SENNEG,W	“W = M2SENNEG”
	ANDLW	.3	“AND entre M2SENNEG y .3”
	CALL	TABLAM2	“llama TABLAM2 con AND”
	MOVWF	PORTB	“valor de TABLA por PORTB”
	CALL	ANIDADO2	“llama retardo”
	GOTO	OTRA	“va a OTRA”

;REGRESO DEL MOTOR1 CUANDO TERMINA LA OPERACIÓN DEL M2 Y S1=1

HORARIO	BTFSS	PORTD,0	“si S0 = 1 salta 1 línea”
	GOTO	ECHALE	“S0=0, va a ECHALE”
	CLRF	PORTB	“limpio PORTB”
	GOTO	MOTOR2N	“va a MOTOR2N”
ECHALE	INCF	SENPOS,F	“incrementa SENPOS”
	MOVf	SENPOS,W	“W=SENPOS”
	ANDLW	.3	“AND entre SENPOS y .3”
	CALL	TABLA	“llama a TABLA con AND”
	MOVWF	PORTB	“valor de TABLA por PORTB”
	CALL	ANIDADO	“llama retardo”
	GOTO	HORARIO	“va a HORARIO”

;NIICIO DE OPERACION DEL MOTOR2 SI S0=1

MOTOR2N	;MOVf	VEL21,W	“W = VEL21”
	;MOVWF	VEL22	“VEL22 = W”
	MOVLW	.205	“W = valor decimal”
	MOVWF	RERRE	“RERRE = W”
OSTRA	DECFSZ	RERRE,F	“decrementa RERRE y salta si es 0”
	;DECFSZ	VEL22,F	“decrementa VEL22 y salta si es 0”
	GOTO	REVERRS	“va a REVERRS si RERRE no es 0”
	CLRF	PORTB	“limpia PORTB”
	GOTO	ANTIHORARIO	“va a ANTIHOARIO si RERRE= 0”
REVERRS	BTFSS	PORTD,2	“si S3 = 1 salta 1 línea”
	GOTO	SEGUIRR	“si S3 = 0 va a SEGUIRR”
	GOTO	ACA	“va a ACA”
SEGUIRR	DECf	M2SENNEG,F	“decremento M2SENNEG”
	MOVf	M2SENNEG,W	“W = M2SENNEG”
	ANDLW	.3	“AND entre M2SENNEG y .3”
	CALL	TABLAM2	“llama TABLAM2 con AND”
	MOVWF	PORTB	“valor de TABLA por PORTB”
	CALL	ANIDADO2	“llama retardo”
	GOTO	OSTRA	“va a OSTR A”

;TABLA DEL MOTOR1

TABLA	ADDWF	PCL,F
	RETLW	.10
	RETLW	.9
	RETLW	.5
	RETLW	.6

APÉNDICE C

Programa de control (continuación)

;TABLA DEL SEGUNDO MOTOR

TABLAM2	ADDWF PCL,F	
	RETLW .160	
	RETLW .144	
	RETLW .80	
	RETLW .96	

;RETARDO POR CICLOS ANIDADO

ANIDADO	;GOTO CAD0	
AN	MOVLW .13	“W = valor decimal”
ANID	MOVWF POBRE	“POBRE = W”
VES	MOVF VEL11,W	“W = VEL11”
	MOVWF VEL12	“VEL12 = W”
	;MOVLW .20	“W = valor decimal”
	;MOVWF TIEMPO	“TIEMPO = W”
OTRAS	MOVLW .40	“W = valor decimal”
	MOVWF FUERA	“FUERA = W”
CUENTA	DECFSZ FUERA,F	“decrementa FUERA, salta si es 0”
	GOTO CUENTA	“si no, va a CUENTA”
	DECFSZ VEL12,F	“decrementa VEL12, salta si es 0”
	GOTO OTRAS	“si no, va a OTRAS”
	;DECFSZ TIEMPO,F	“decrementa TIEMPO, salta si es 0”
	;GOTO OTRAS	“si no, va a OTRAS”
	DECFSZ POBRE,F	“decrementa POBRE, salta si es 0”
	;DECFSZ VEL12,F	“decrementa VEL12, salta si es 0”
	GOTO VES	“si no, va a VES”
	RETURN	“regresa después del llamado”

ANIDADO2	;GOTO CAD2	“va a CAD2”
AN2	MOVLW .9	“W = valor decimal”
	MOVWF POBRE	“POBRE = W”
VES2	MOVF VEL31,W	“W = VEL31”
	MOVWF VEL32	“VEL3 = W”
	;MOVLW .20	“W = valor decimal”
	;MOVWF TIEMPO	“TIEMPO = W”
OTRAS2	MOVLW .40	“W = valor decimal”
	MOVWF FUERA	“FUERA = W”
CUENTA2	DECFSZ FUERA,F	“decrementa FUERA, salto si es 0”
	GOTO CUENTA2	“si no, va a CUENTA2”
	;DECFSZ TIEMPO	“decrementa TIEMPO, salto si es 0”
	DECFSZ VEL32,F	“decrementa VEL32, salto si es 0”
	GOTO OTRAS2	“si no, va a OTRAS2”
	DECFSZ POBRE,F	“decrementa POBRE, salto si es 0”
	;DECFSZ VEL22,F	“decrementa VEL22, salto si es 0”
	GOTO VES2	“si no, va a VES2”
	RETURN	“regresa después del llamado”

; MOTOR2 A SU POSICION ORIGINAL SI S3=1 DURANTE EL BARRIDO

ACA	CLRF PORTB	“limpia PORTB”
	BTSS PORTD,1	“si S2 = 1 salta 1 línea”

APÉNDICE C

Programa de control (continuación)

	GOTO	SEGUIRA	“va a SEGUIRA”
	CLRF	PORTB	“limpia PORTB”
	CLRF	RERRE	“RERRE = 0”
SEGUIRA	GOTO	HORA	“si S2=1, va a HORA”
	INCF	M2SENPOS,F	“incrementa M2SENPOS”
	MOVF	M2SENPOS,W	“W = M2SENPOS”
	ANDLW	.3	“AND entre M2SENPOS y .3”
	CALL	TABLAM2	“llama a TABLAM2 con AND”
	MOVWF	PORTB	“valor de TABLAM2 por PORTB”
	CALL	ANIDADO2	“llama retardo”
	GOTO	ACA	“va a ACA”

;MOTOR1 A SU POSICION ORIGINAL CUANDO S2=1

HORA	BTFSS	PORTD,0	“si S0 = 1 salta 1 línea”
	GOTO	SEG	“va a SEG”
	GOTO	ESTADO	“va a ESTADO”
SEG	INCF	SENPOS,F	“incremento SENPOS”
	MOVF	SENPOS,W	“W = SENPOS”
	ANDLW	.3	“AND entre SENPOS y .3”
	CALL	TABLA	“llama TABLA con AND”
	MOVWF	PORTB	“valor de tabla por PORTB”
	CALL	ANIDADO	“llama retardo”
	GOTO	HORA	“va a HORA”

;FLECHAS DE NAVEGACION

;ARRIBA			
FLECHAS	CLRF	PORTB	“limpia PORTB”
	BTFSS	PORTD,5	“si D5 = 1, salta 1 línea”
	GOTO	ABAJO	“va a ABAJO”
	GOTO	ARR	“va a MOTOR2ARR”
ABAJO	CLRF	PORTB	“limpia PORTB”
	BTFSS	PORTD,6	“si D6 = 1, salta 1 línea”
	GOTO	DERECHA	“va a DERECHA”
	GOTO	AB	“va a MOTOR2ABA”
DERECHA	CLRF	PORTB	“limpia PORTB”
	BTFSS	PORTD,7	“si D7 = 1, salta 1 línea”
	GOTO	IZQUIERDA	“va a IZQUIERDA”
	GOTO	DER	“va a MOTOR1DER”
IZQUIERDA	CLRF	PORTB	“limpia PORTB”
	BTFSS	PORTC,0	“si C0 = 1, salta 1 línea”
	GOTO	ESTADO	“va a ESTADO”
	GOTO	IZ	“va a MOTOR1IZQ”
ARR	BTFSS	PORTD,5	“si D5 = 1 salta 1 línea”
	GOTO	ABAJO	“va a ABAJO”
	BTFSC	PORTD,1	“si S2 = 0 salta 1 línea”
	GOTO	ABAJO	“va a ABAJO”
	INCF	M2SENPOS,F	“incrementa M2SENPOS”
	MOVF	M2SENPOS,W	“W = M2SENPOS”

APÉNDICE C

Programa de control (continuación)

	ANDLW	.3	“AND entre M2SENPOS y .3”
	CALL	TABLAM2	“llama TABLAM2 con AND”
	MOVWF	PORTB	“valor de TABLAM2 por PORTB”
	CALL	ANIDADO2	“llama retardo”
	GOTO	ARR	“va a ARR”
AB	BTFSS	PORTD,6	“si D6 = 1, salta 1 línea”
	GOTO	DER	“va a DER”
	BTFSC	PORTD,2	“si S3 = 0, salta 1 línea”
	GOTO	DERECHA	“va a DERECHA”
	DECf	M2SENNEG,F	“decrementa M2SENNEG”
	MOVf	M2SENNEG,W	“W = M2SENNEG”
	ANDLW	.3	“AND emtre M2SENNEG y .3”
	CALL	TABLAM2	“llama TABLA2 con AND”
	MOVWF	PORTB	“valor de TABLA2 por PORTB”
	CALL	ANIDADO2	“llama retardo”
	GOTO	AB	“va a AB”
DER	BTFSS	PORTD,7	“si D7 = 1, salta una línea”
	GOTO	IZ	“va a IZ”
	BTFSC	PORTD,3	“si S1 = 0 salta 1 línea”
	GOTO	IZQUIERDA	“va a IZQUIERDA”
	DECf	SENNEG,F	“decrementa SENNEG”
	MOVf	SENNEG,W	“W = SENNEG”
	ANDLW	.3	“AND entre SENNEG y .3”
	CALL	TABLA	“llama TABLA con AND”
	MOVWF	PORTB	“valor de TABLA por PORTB”
	CALL	ANIDADO	“llama retardo”
	GOTO	DER	“va a DER”
IZ	BTFSS	PORTC,0	“si C0 = 1, salta 1 línea”
	GOTO	ARR	“va a ARR”
	BTFSC	PORTD,0	“si S0 = 0, salta 1 línea”
	GOTO	ARRIBA	“va a ARRIBA”
	INCF	SENPOS,F	“incrementa SENPOS”
	MOVf	SENPOS,W	“W = SENPOS”
	ANDLW	.3	“AND entre SENPOS y .3”
	CALL	TABLA	“llama TABLA con AND”
	MOVWF	PORTB	“valor de TABLA por PORTB”
	CALL	ANIDADO	“va a retardo”
	GOTO	IZ	“va a IZ”
	END		“fin del programa”