



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**SISTEMA MECATRÓNICO PARA LA AUTOMATIZACIÓN
DE PRÁCTICA DE CINEMÁTICA**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO MECATRÓNICO

PRESENTAN

JUAN CARLOS GUZMÁN PETO

JESÚS LOZANO HERNÁNDEZ

DIRECTOR DE TESIS:
ING. SERAFÍN CASTAÑEDA CEDEÑO



MÉXICO, D. F. ENERO

2007



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis 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.

Autorías de la Dirección General de Bibliotecas de la
UNAM para difundir en formato electrónico e impreso el
contenido de mi trabajo recepcional.
NOMBRE: Jesús Lozano
FECHA: 18-01-07
FIRMA: [Firma]

Autorías de la Dirección General de Bibliotecas de la
UNAM para difundir en formato electrónico e impreso el
contenido de mi trabajo recepcional.
NOMBRE: Juan Carlos FUZMAN
PETO
FECHA: 18/01/07
FIRMA: [Firma]

ÍNDICE

I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.	1
I.1 INTRODUCCIÓN.	
I.2 ANTECEDENTES.	
I.3 OBJETIVOS Y ALCANCES DEL PROYECTO.	
I.4 DESARROLLO DE LA PRÁCTICA EN LA ACTUALIDAD.	
I.5 IDEAL DEL PROYECTO	
I.6 ESPECIFICACIONES DEL PROYECTO.	
II. ALTERNATIVAS DE MOVIMIENTO DEL MECANISMO.	9
II.1 MECANISMO PARA LA ROTACIÓN DEL RIEL.	
II.2 TEORÍA DE APOYO PARA EL DISEÑO DEL MECANISMO.	
III. DISEÑO A DETALLE DEL MECANISMO.	24
III.1 METODOLOGÍA DE D DISEÑO.	
III.2 MECANISMO LEVA LINEAL.	
IV. INSTRUMENTACIÓN.	37
IV.1 CARACTERÍSTICAS DE LOS SENSORES.	
IV.2 CARACTERÍSTICAS DE LOS ACTUADORES.	
V. ELECTRÓNICA Y CONTROL.	61
V.1 REQUERIMIENTOS SOBRE EL CONTROL.	
V.2 METODOLOGÍA DE DISEÑO PARA EL SISTEMA DE CONTROL.	
V.3 ELECCIÓN DEL CONTROLADOR.	
V.4 GENERALIDADES SOBRE EL CONTROL.	
V.5 TARJETA ELECTRÓNICA DE CONTROL.	
V.6 MÓDULO DE COMUNICACIÓN SERIAL.	
V.7 MÓDULO DE SOFTWARE.	
VI. PROTOCOLO DE PRUEBAS.	94
VI.1 INTRODUCCIÓN AL MÉTODO TAGUCHI.	
VI.2 DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS Y TOLERANCIAS.	
VI.3 DESARROLLO DE LAS PRUEBAS.	
CONCLUSIONES.	100
REFERENCIAS.	103
APÉNDICES.	105

CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

I.1 INTRODUCCIÓN.

Una instancia universitaria con la dimensión y proyección de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México, debe de tener bien en claro su visión como institución educativa para elevar la calidad de la enseñanza y del aprendizaje de la ingeniería y mantener el liderazgo académico de la institución, principales directrices que han orientado el trabajo de esta dependencia desde su inicio.

El trabajo desarrollado por la parte docente ha sido arduo y difícil, manteniendo siempre por delante el compromiso con la dependencia y con los alumnos de esta facultad.

Aunado a esta gran tarea que día a día realizan profesores de la facultad, la formación académica de los estudiantes ha dependido en gran medida de la parte experimental que ha sido posible desarrollar en los laboratorios.

Consciente de la importancia que tiene dicha actividad para el apoyo a las tareas docentes y de investigación, la Facultad cuenta ya con 86 laboratorios y talleres, una buena parte de ellos bien equipados y algunos recientemente creados o remodelados en sus instalaciones.¹⁴

Es así como la facultad ha podido brindar magníficos resultados durante muchos años, y preocupada por seguir alojando estos alcances a la creciente población estudiantil y a sus demandas ha pensado en explotar y extender la experimentación realizada en sus laboratorios para eliminar cualquier barrera o limitación hacia los estudiantes.

El uso de la tecnología de la información y de la comunicación hoy en día reduce tiempo y esfuerzo en un gran gama de actividades, es así como ha dado inicio a un nuevo abanico de conceptos relacionados con la realización de prácticas, entre las más importantes sobresalen los laboratorios virtuales y los laboratorios vía remota en tiempo real.

La primera consiste en realizar prácticas bajo sistemas de simulación que emulen el comportamiento de los sistemas físicos reales, y la segunda, establecer una conexión remota a los laboratorios de forma que los alumnos puedan manejar modelos en tiempo real desde cualquier ordenador conectado a la red y tener así una sensación más realista de lo que sucede.

Estos sistemas promueven grandes ventajas que han sido aprovechadas en laboratorios de distintas universidades del mundo, lo que los convierte en una realidad apremiante para la educación.¹³

Es por eso que, en la nueva etapa de modernización, adaptación y extensión de los laboratorios de la Facultad de Ingeniería, se crea el presente trabajo que tiene por objetivo brindar nuevos espacios que optimicen el uso del equipo y la disponibilidad horaria del laboratorio, así como el apoyo a otras instituciones que no posean estos recursos. Esto aprovechando las posibilidades que ofrece el monitoreo y control remoto llamado domótica, que se define como el conjunto de aplicaciones de tecnología destinadas al diseño y al control inteligente vía remota para diferentes sectores: vivienda, comercios, industrias, escuelas.¹²

El presente trabajo forma parte de un proyecto global patrocinado por el PAPIME (Programa de Apoyo a Proyectos Institucionales para el Mejoramiento de la Enseñanza), denominado "Sistema mecatrónico para controlar la práctica de movimiento rectilíneo uniformemente acelerado".

1.2 ANTECEDENTES.

En los últimos cinco años los recursos basados en las nuevas tecnologías de información y comunicación para el apoyo a la enseñanza se han incrementado notablemente, sobre todo para la docencia de ingenierías, teniendo como resultados una elevada interactividad, acceso remoto a los recursos a través de internet, simulaciones basadas en el web y la integración de la domótica; conjunto de aplicaciones de tecnología destinadas al diseño y al control inteligente vía remota.¹² Grandes ventajas que indudablemente han sido aprovechadas en laboratorios de distintas universidades del mundo, destacando como ya mencionamos los laboratorios virtuales y los laboratorios vía remota en tiempo real.

La Universidad Pontificia Bolivariana Medellín en Colombia cuenta con su Laboratorio de Automática vía Internet (LAVI) que permite realizar pruebas remotamente sobre una planta de control lineal.²⁰

La Escuela de Ingenierías Industrial e Informática en la Universidad de León (España) cuenta con su Laboratorio Remoto para la enseñanza de la automática, en España también se encuentra RECOLAB (remote control laboratory) diseñado en la Universidad Miguel Hernández en Alicante.²⁸

Otro ejemplo de esta tecnología la tenemos en La Universidad Tecnológica de Pereira donde se encuentra un laboratorio de circuitos eléctricos con acceso remoto.¹⁹

La Universidad Nacional Autónoma de México no es la excepción, su Instituto de Física tiene su Laboratorio Central de Microscopia que cuenta con un microscopio electrónico de alta resolución y analítico capaz de ser manipulado a distancia, lo que permite potencializar las capacidades de desarrollo en el ámbito científico y educativo a través de todo el país sin tener que desplazarse grandes distancias.¹⁸

Por otra parte su Facultad de Ingeniería, preocupada por seguir brindando los mejores resultados a la gran demanda de su creciente población estudiantil está desarrollando su Laboratorio Remoto de Cinemática y Dinámica, el cual es objeto de estudio y análisis del presente trabajo.

Actualmente se están desarrollando en muchas universidades del mundo proyectos para esta tecnología, los resultados obtenidos en proyectos anteriores han sido satisfactorios y las grandes ventajas que promueven los convierten como ya mencionamos en una realidad apremiante para la educación.

I.3 OBJETIVO Y ALCANCES DEL PROYECTO.

La presente tesis tiene como objetivo primordial sentar los fundamentos de desarrollo de un sistema mecatrónico capaz de controlar y monitorear satisfactoriamente el proceso mediante el que se efectúa la práctica de movimiento rectilíneo uniformemente acelerado del laboratorio de cinemática.

Para ello se realizarán aportaciones en el área de mecánica, instrumentación y control, tecnológicamente factibles para el proyecto.

Primero, se propondrá un sistema mecánico capaz de cumplir con los requerimientos de la práctica. Esto implica el desarrollo de un mecanismo funcional que garantice, entre otras cosas, estabilidad y durabilidad del sistema.

Segundo, se contará con un sistema de control capaz de medir las diferentes variables físicas de interés para dicha práctica. Esta parte contempla toda la instrumentación y electrónica necesarias así como la adquisición de datos y el procesamiento de las señales obtenidas.

Tercero, el sistema podrá ser controlado vía remota a través de la comunicación entre el controlador, que gobernará el funcionamiento del mecanismo, y una interfase a internet.

Y por último, se contará con la variante de que la práctica pueda ser realizada en el laboratorio a través de una interfase desarrollada en algún software de ambiente visual sin la necesidad de conexión a la plataforma internet.

Es decir, se pretende desarrollar un sistema mecatrónico capaz de cumplir con las necesidades y requerimientos de la práctica de movimiento rectilíneo uniformemente acelerado, con algunas variantes y mejoras que se especificarán más adelante.

I.4 DESARROLLO DE LA PRÁCTICA EN LA ACTUALIDAD.

Objetivos:

- Determinar la magnitud de la aceleración de un cuerpo, en trayectoria rectilínea sobre un plano a 0° .
- Realizar las gráficas de s vs t , v vs t y a vs t , donde:

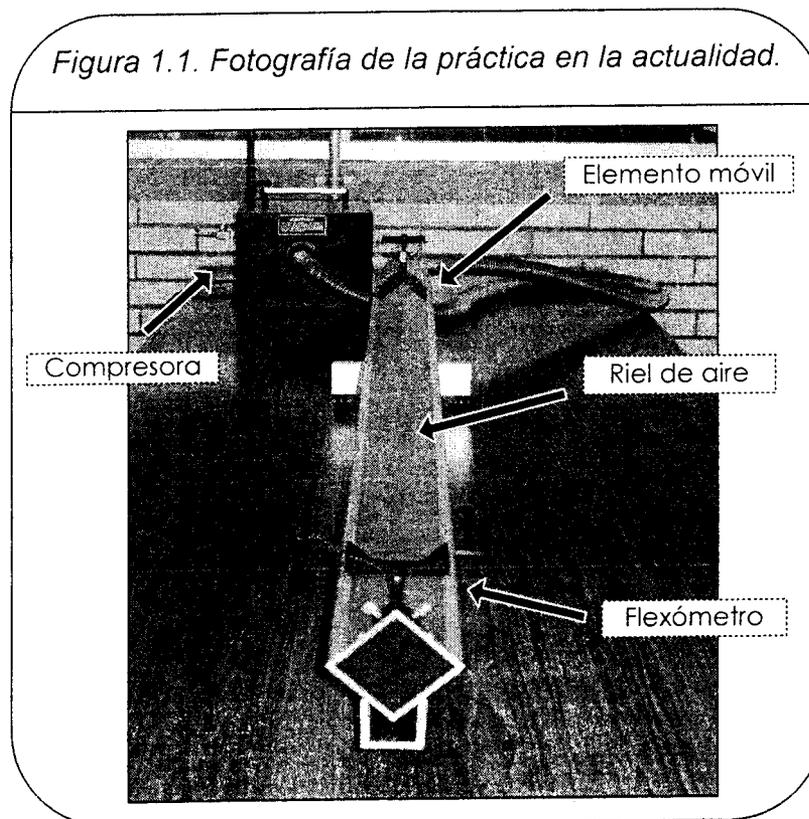
s = posición del elemento móvil.

v = velocidad del elemento móvil.

a = aceleración del elemento móvil.

Actualmente la práctica se desarrolla de la siguiente manera:

Se realiza la instalación y montaje de los dispositivos, de tal forma que debe quedar como se observa en la siguiente Figura 1.1. Cabe destacar que el riel de aire se coloca en una posición angular de 0° únicamente. Las lecturas se toman por medio del programa "Precision Timer", el cual está conectado al sistema a través de una interfaz.



1. Se coloca el elemento móvil (carrito) sobre el riel de aire de tal forma que se encuentre en uno de los extremos de riel.
2. Se posicionan dos sensores ópticos a lo largo del riel, de tal forma que se pueda sensor el inicio y final de la trayectoria del elemento móvil.
3. Se enciende la compresora para que el flujo de aire permita que no haya contacto entre el elemento móvil y el riel de aire (fricción cero).
4. Se mide la distancia entre los dos sensores ópticos por medio de un metro acoplado directamente al riel.
5. Se toman las lecturas del tiempo de trayectoria en el programa "Precision Timer" y se realizan las gráficas correspondientes.

Es decir, actualmente la práctica se realiza en forma manual y sin que el riel tome posiciones angulares.

Se cuenta con un programa (Precision Timer) cuya única función es la de determinar el tiempo de la trayectoria a través de una interfase entre los sensores ópticos y la PC.

I.5 IDEAL DEL PROYECTO

Objetivos y consideraciones:

- La práctica se realizará desde cualquier computadora que tenga acceso a internet.
- Se contará con un sistema de visión donde se observará paso a paso el procedimiento de la práctica, cabe mencionar que este punto no es desarrollado en el presente trabajo.
- Mediante el sistema mecatrónico se determinará la magnitud de la aceleración de un cuerpo, en trayectoria rectilínea sobre un plano que pueda tomar distintas posiciones angulares.
- En un solo experimento se podrán obtener distintos valores para realizar las gráficas de s vs t , v vs t y a vs t .
- El experimento se podrá llevar a cabo en distintas posiciones angulares.

Con lo anterior se entienden los puntos más importantes de la nueva forma de realizar la práctica, entonces las características de la práctica serían:

1. Calibración del sistema manipulado y monitoreado desde la PC.
2. Punto de partida del elemento móvil para iniciar la práctica desde el ordenador.
3. La práctica contará con un mecanismo capaz de rotar el riel de 0° a 5° para tener un análisis más completo del movimiento uniformemente acelerado monitoreado y controlado vía remota desde el panel de control.
4. Encendido y apagado de la compresora desde un panel de control manejado desde la computadora.
5. Capacidad para soltar y sujetar el elemento móvil desde un panel de control manejado desde la computadora.
6. Se tendrá un sistema de instrumentación de tal forma que se puedan sensar un número mayor de tiempos a lo largo del riel en un solo experimento.
7. La distancia entre los sensores es un dato que el usuario conocerá y los tiempos en que el elemento móvil recorrió dichas distancias se arrojarán en la PC.
8. Capacidad para salvar los datos en la computadora de los experimentos realizados y los resultados de los tiempos en los que el móvil recorre el riel de aire.

En lo que respecta al funcionamiento del equipo lo que se pretende idealmente es que:

- El sistema mecánico requiera el mínimo de mantenimiento.
- El usuario pueda calibrar la posición angular del riel.
- Se tenga la variante de realizar la práctica vía remota (internet) y en el laboratorio mismo a través de una interfase desarrollada en un ambiente visual.

1.6 ESPECIFICACIONES DEL PROYECTO

Una vez que hemos analizado lo que se está haciendo actualmente y lo que se pretende mejorar incorporando nueva tecnología o actualizando la existente, necesitamos conocer las especificaciones en las cuales nos basaremos para el diseño del sistema mecatrónico, las cuales son presentadas en la Tabla 1.1. Cabe mencionar que todo el diseño y esta tesis en sí giran en torno a la intención de cumplir con las especificaciones mostradas en dicha tabla.

Tabla 1.1 Especificaciones del proyecto.

#	Especificación	Forma de medir	Rango
1	El riel deberá levantarse de 0° a 5° tomando posiciones discretas cada grado	Sensor de rotación	0° a 5°
2	El riel no deberá tardarse más de 2 segundos en ir de una posición angular a otra	Cronómetro	Máx. 2 seg.
3	Todos los actuadores deberán ser controlados mediante la computadora		
4	El dispositivo deberá ser capaz de obtener varios registros de tiempo en un experimento		
5	El programa interfaz tendrá que ser de fácil manejo para el usuario		
6	El mecanismo que se proponga deberá ser capaz de soportar el peso asociado al riel	Dinamómetro	Aprox. 5kg
7	Se deberá tener la opción de calibrar el mecanismo al inicio de cada práctica		
8	El dispositivo y todos sus elementos deberán ser alimentados con energía eléctrica		
9	El costo total del proyecto debe estar dentro de los límites del presupuesto establecido		
10	Los elementos existentes de la actual práctica no podrán ser modificados sustancialmente		
11	El mecanismo deberá ocupar el menor espacio posible	Flexómetro	2.5x0.5 x.5 metros

CAPÍTULO II.

ALTERNATIVAS DE MOVIMIENTO DEL MECANISMO.

II.1 MECANISMO PARA LA ROTACIÓN DEL RIEL.

II.1.1 INTRODUCCIÓN.

Para el diseño del mecanismo de rotación del riel se tomaron en cuenta las especificaciones y restricciones que se plantearon anteriormente. Para ello se generaron una serie de posibles soluciones que conllevaron a la elección de la solución óptima y más conveniente.

Para establecer las posibles soluciones se desarrolló un diagrama morfológico el cual nos arrojó una serie de combinaciones que reunían los elementos necesarios para garantizar el funcionamiento de nuestro sistema. Una vez efectuado esto se seleccionó la más viable.

II.1.2 DIAGRAMA MORFOLÓGICO.

El diagrama morfológico presenta la gama completa de elementos, componentes o soluciones secundarias que pueden combinarse para formar una solución. El número de combinaciones posibles generalmente es muy elevado, e incluye no sólo las soluciones convencionales existentes, sino también una amplia gama de variantes y soluciones completamente novedosas.⁵

El método de diagrama morfológico consiste en:

1. Hacer una lista de las características o funciones que sean esenciales para el producto.
2. Para cada característica o función, mencionar los medios con los cuales podría realizarse.
3. Elaborar un diagrama que contenga todas las soluciones secundarias posibles. Este diagrama morfológico representa el espacio total de soluciones para el producto, conformado por las combinaciones de soluciones secundarias.
4. Identificar las combinaciones factibles de soluciones secundarias. El número total de combinaciones posibles puede ser muy grande y, por lo tanto, las estrategias de búsqueda tienen que guiarse por ciertas restricciones o criterios.

Considerando la metodología mencionada anteriormente, primero se definieron las funciones o características principales que debía de tener el mecanismo, estas fueron:

- **Eje de rotación:** Se refiere al punto sobre el cual rota el riel de aire.
- **Punto de aplicación de la fuerza:** El punto de contacto en el riel donde se aplicará la fuerza a través del mecanismo y generar así el movimiento angular.
- **Movimiento suave y continuo:** El cual deberá tener el riel para un posicionamiento más exacto y fino, disminuyendo así vibraciones o saltos en el sistema.
- **Soporte:** Se refiere al medio físico en el que se encontrará el mecanismo.
- **Transmisión de potencia:** Los elementos mecánicos que transmiten la potencia al mecanismo.
- **Dirección del movimiento del mecanismo:** Se refiere a la dirección en la que se moverá el mecanismo, lineal o rotacional.
- **Energía:** Es el tipo de energía por medio de la cual funcionará el mecanismo.
- **Conservar posición al desenergizarse:** En este rubro se plantea que el mecanismo conserve su posición a pesar de que no se encuentre energizado el elemento que genera el movimiento, ejemplo: motor.

Considerando lo mencionado anteriormente, a continuación se bosquejan los medios a través de los cuales se puede llevar a cabo cada una de las funciones así como las posibles soluciones:

Tabla 2.1. Diagrama Morfológico para el movimiento del mecanismo.

		a	b	C
1	Eje de rotación			
2	Punto de aplicación de la fuerza			

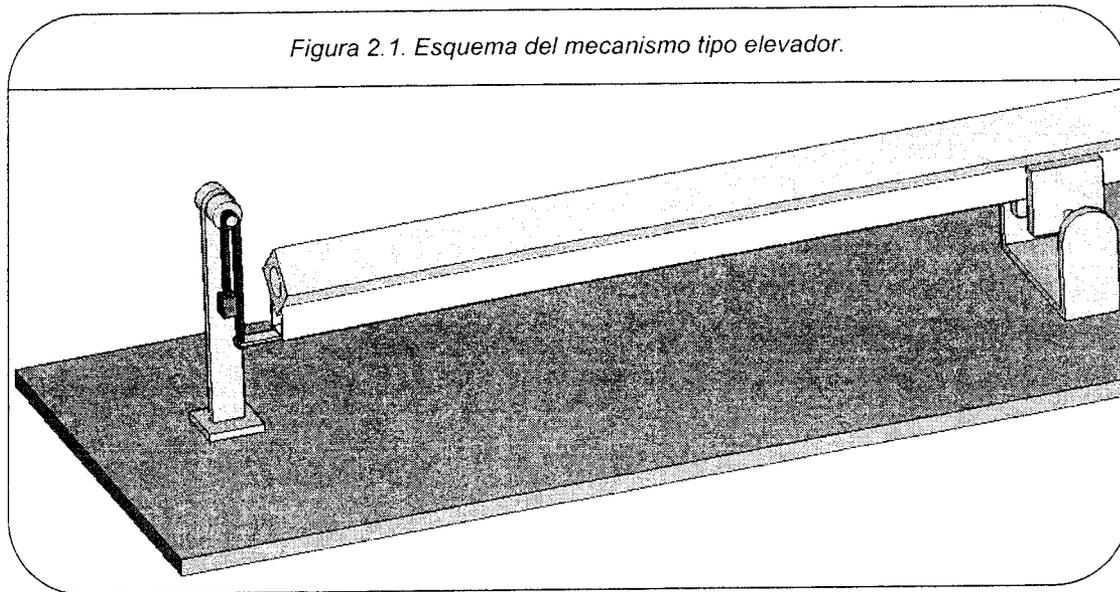
3	Movimiento suave y continuo	Movimiento mediante seguidor	Movimiento entre banda y rodillo	Movimiento articulado entre barras
4	Soporte	Ruedas	Base	Eje o flecha
5	Transmisión de potencia	Engranajes y flechas	Bandas o cadenas	Tornillo sin fin
6	Dirección del movimiento del mecanismo	Lineal	Rotacional	
7	Energía	Eléctrica		
8	Conservar posición al desenergizarse	Fricción	Seguro mecánico	Características de la configuración

Haciendo un análisis del diagrama morfológico, se plantearon algunas alternativas viables de solución para discernir cual es la más óptima:

- **1ra. combinación.**¹⁶ Un mecanismo con las siguientes características:

- 1a Eje de rotación central.
- 2a Punto de aplicación de la fuerza en un extremo del riel en forma vertical y hacia arriba.
- 3b El movimiento y la transmisión de potencia se generan por medio de una banda con rodillo.
- 4c El mecanismo esta soportado por una flecha que se acopla directamente a la polea.
- 5b La transmisión de potencia puede realizarse con una banda.
- 7a Para mover el mecanismo se acopla un motor de corriente eléctrica a la flecha.
- 8c Al desenergizarse el motor el riel conservará su posición y se compensa o "ayuda" al motor mediante un contrapeso.

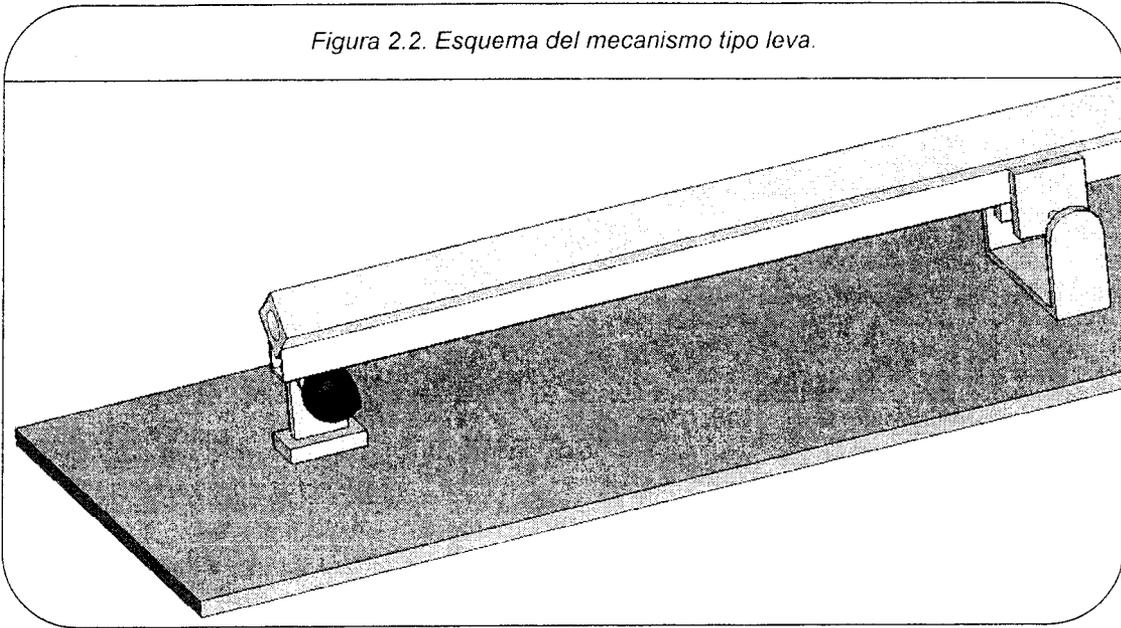
El mecanismo descrito anteriormente se vería de la siguiente manera:



- **2da. combinación.**¹⁶ Un mecanismo con las siguientes características:
 - 1a Eje de rotación central.
 - 2b Punto de aplicación de la fuerza en un ángulo variable en un extremo del riel.
 - 3a El movimiento se genera mediante un seguidor.
 - 4c El mecanismo está soportado por una flecha que se acopla directamente a la polea.
 - 6b El movimiento del mecanismo es rotacional.
 - 7a Para mover el mecanismo se acopla un motor de corriente eléctrica a la flecha.

El mecanismo resultante se muestra en la siguiente figura:

Figura 2.2. Esquema del mecanismo tipo leva.



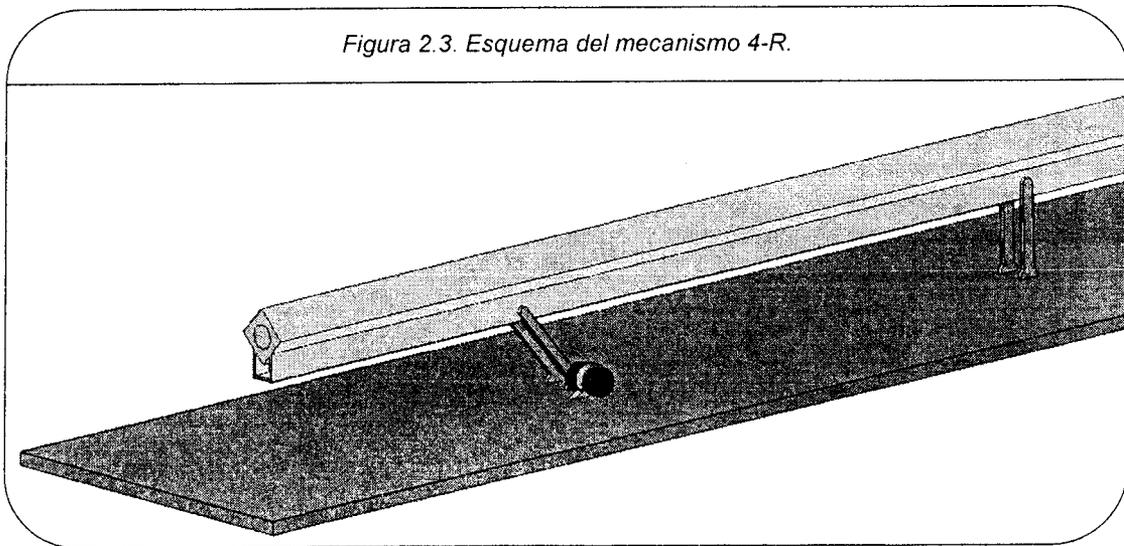
El inconveniente de esta configuración se presenta cuando para una posición dada, se tiene que mantener energizado el motor porque la posición de la leva genera un torque que puede vencer al motor a menos que este tenga acoplada a su flecha una transmisión (juego de engranes) que lo compense.

- **3ra combinación.**¹⁶ Un mecanismo con las siguientes características:

2c, 3c, 4b, 5a, 7a, 8c.

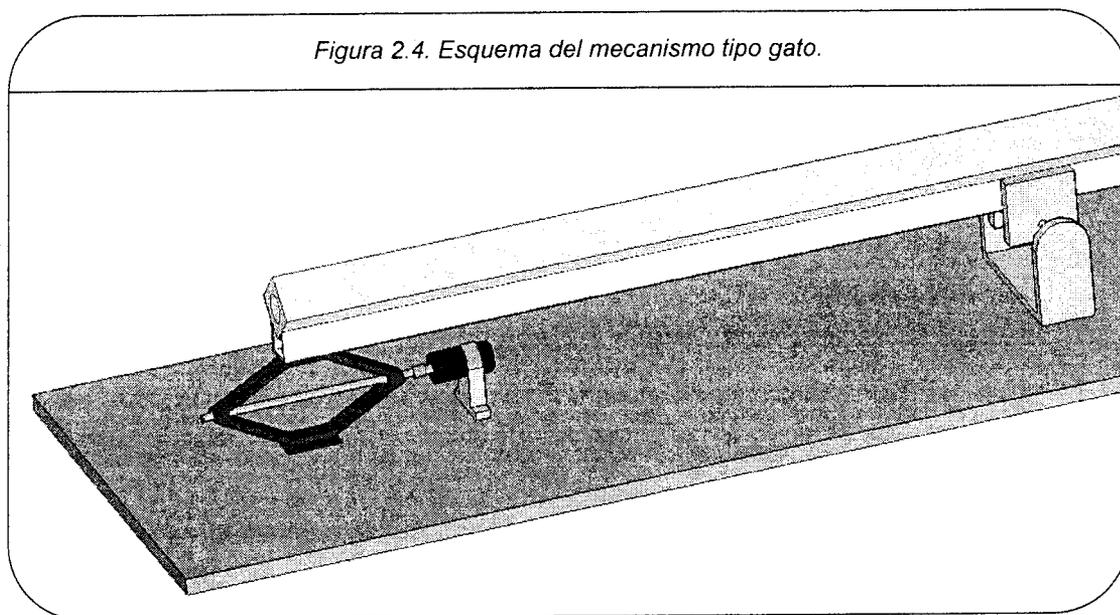
4b se refiere a la base, que para el mecanismo en cuestión, es un eslabón: la tierra.

Figura 2.3. Esquema del mecanismo 4-R.



El problema con este mecanismo radica en función de las posiciones que debe tomar, porque eso determina las dimensiones de los eslabones. La ventaja es que es muy preciso.

- **4ta combinación.**¹⁶ Un mecanismo con las siguientes características:
1a, 2a, 3c, 4c, 5c, 6a, 7a, 8c.



Esta variante generada del diagrama morfológico es interesante, porque arroja el movimiento entre barras articuladas con un tornillo sin fin como elemento transmisor de potencia.

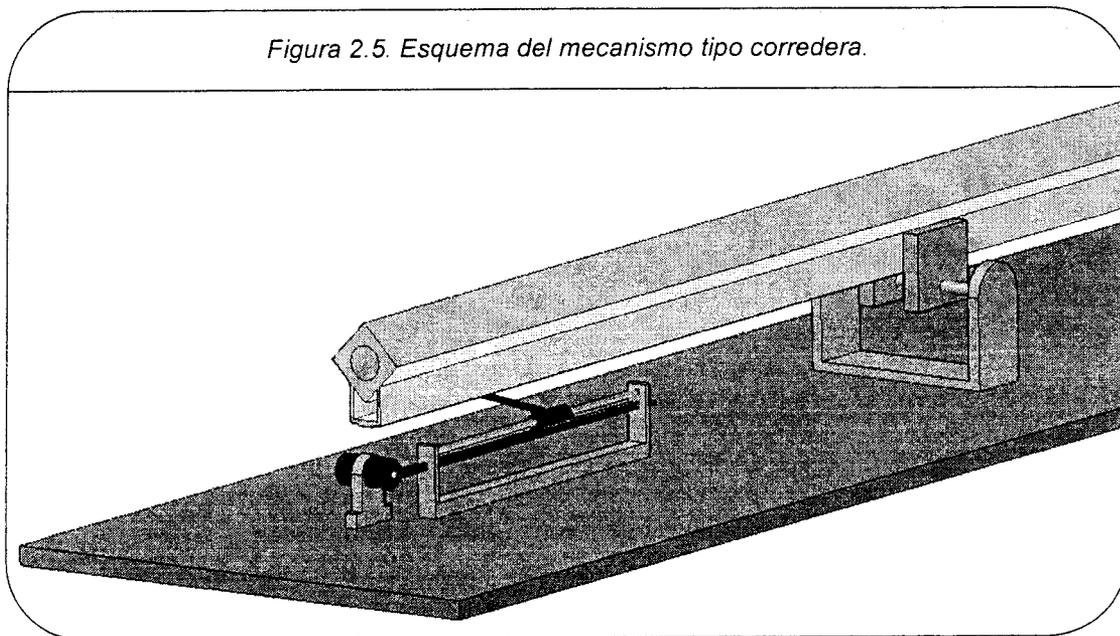
La ventaja de este mecanismo radica en que a determinada posición angular del riel, el torque generado por este no vence al mecanismo, es decir, se puede desenergizar el motor en cualquier momento y el sistema seguirá conservando la posición angular determinada.

Sin embargo, es importante mencionar que para tener exactitud en el posicionamiento angular con este mecanismo, la rosca del tornillo debe ser fina (aproximadamente 12 hilos por pulgada o más).

- **5ta combinación.**¹⁶ Un mecanismo con las siguientes características:

1a, 2a, 3c, 5a, 7a, 8c.

Es similar a la 3ra combinación, a diferencia que, de acuerdo al diagrama morfológico, si se propone un eje central de rotación y la fuerza se aplica sólo en un extremo del riel, se presenta la siguiente alternativa:



II.1.3 ELECCIÓN DEL MECANISMO.

Como se vio anteriormente, surgieron 5 soluciones viables a partir de la construcción y análisis del diagrama morfológico. Sin embargo se debe elegir sólo una de ellas.

Para la elección de dicho mecanismo, se convocó a una reunión en el Centro de Diseño y Manufactura (CDM) el pasado mes de noviembre del 2005 con ingenieros expertos en el tema. En la reunión se les explicaron las posibles soluciones y se planteó el siguiente cuadro para que seleccionaran la mejor solución de acuerdo a su criterio.

Tabla 2.2. Tabla de comparación de los distintos mecanismos.

	Tiempo de fabricación	Facilidad de fabricación	Control	Precisión	Mantenimiento	Tiempo de vida	Costo	Total
	(5)	(3)	(3)	(4)	(3)	(3)	(4)	
Tipo elevador	130	84	51	80	69	60	92	
Leva-seguidor	125	72	63	104	78	69	76	
Gato	135	72	66	72	78	66	96	
automotriz	100	72	32	80	69	57	88	
Mecanismo 4R	100	60	60	84	72	54	76	
Mecanismo Corredera								

Descripción de la tabla:

Los números entre paréntesis indican el peso asignado a cada una de las características, siendo 1 el de menor peso y 5 el mayor. A continuación se explican cada uno de los rubros considerados en la tabla anterior:

- **Facilidad de fabricación:** Se refiere a la complejidad en la construcción o maquinado de los elementos necesarios para cada mecanismo.
- **Tiempo de fabricación:** Es el tiempo requerido para fabricar y/o manufacturar los elementos necesarios del mecanismo.
- **Precisión:** Se refiere a la característica del mecanismo de arrojar siempre el mismo resultado, por ejemplo: determinado mecanismo siempre arroja un error del 5% cuando se posiciona el riel en una posición angular específica.
- **Control:** La facilidad o dificultad que implica controlar el mecanismo o bien llevarlo y mantenerlo en una posición determinada.
- **Costo:** El costo que implica el desarrollo del mecanismo.
- **Mantenimiento:** Se refiere a la regularidad con la que hay que estarle dando mantenimiento preventivo y/o correctivo según sea el caso.
- **Tiempo de vida:** Tiempo que el mecanismo funcionará adecuadamente.

Los resultados fueron los siguientes:

Figura 2.3. Tabla de resultados.

Mecanismo	Puntos
Leva-seguidor	587
Gato automotriz	585
Elevador	566
Corredera	506
4-R	498

Como se ve en la tabla anterior, se observa que los mecanismos *leva –seguidor* y *gato automotriz* se encuentran muy parejas.

II.1.4 JUSTIFICACIÓN.

Durante la elección de la opción más viable dentro de un proceso de diseño, es común encontrarse con más de una solución que satisfaga las necesidades del proyecto. Tal situación fue la que se presentó en este proyecto aún haciendo uso de lo que se conoce como diagrama morfológico y la tabla de decisión.

Los resultados obtenidos arrojaron que tanto el mecanismo leva-seguidor, así como el mecanismo gato automotriz cumplen con las necesidades del proyecto satisfactoriamente. Partiendo de esto se decidió presentar un mecanismo alternativo que combinara las características más importantes de éstos dos, y así obtener un mecanismo mejor y totalmente satisfactorio.

Entonces, retomando el diagrama morfológico planteado anteriormente, las características más importantes de estos dos mecanismos son las siguientes:

En el gato automotriz, el elemento transmisor de potencia es un tornillo de potencia, que proporciona el par necesario para mover o elevar una carga. Por otro lado, dada la configuración mecánica conserva en una posición determinada a la carga sin necesidad de proporcionar energía extra para mantenerlo así, es decir, reduce el par necesario del motor, pues aún desenergizado el mecanismo conserva su posición. Aunado a eso se reducen costos, dado que un menor par conlleva un menor precio del motor.

Respecto al control, se acopla al tornillo de potencia un motor de CD y mediante el cambio de la polaridad en sus terminales se puede manipular el sentido de giro. Además, el control de la velocidad en el mismo se puede realizar mediante una salida analógica o por medio de modulación de ancho de pulso (PWM).

Es decir, como elemento de transmisión de potencia, se puede emplear un tornillo, un tornillo de potencia o un tornillo de bolas.

La leva-seguidor por otro lado, proporciona un movimiento suave, continuo y sin vibraciones y el perfil de la leva se puede diseñar de acuerdo a las posiciones que necesita adoptar el mecanismo. El problema en ese momento era diseñar un mecanismo alternativo que tuviera en combinación las características antes mencionadas.

II.2 TEORÍA DE APOYO PARA EL DISEÑO DEL MECANISMO.

II.2.1 MECANISMOS DE TRANSFORMACIÓN.

Un mecanismo esta compuesto por un conjunto de elementos que cumplen una función para lograr un fin específico.

Los mecanismos de transformación se encargan de convertir movimientos rectilíneos (lineales) en movimientos de rotación (giro), y viceversa. Con un diseño adecuado de los elementos del sistema, se pueden conseguir las velocidades lineales o de giro deseadas. Bajo este punto de vista, los mecanismos de transformación se pueden entender también como mecanismos de transmisión. Sin embargo, no es posible asociarles una relación de transmisión como tal.²⁷

II.2.1.1 MECANISMO TORNILLO-TUERCA.

El giro de un tornillo alrededor de su eje produce un movimiento rectilíneo de avance, que lo acerca o lo separa de la tuerca, fija. Alternativamente, una tuerca móvil puede desplazarse de la misma manera a lo largo de un tornillo o husillo.

El mecanismo es capaz de ejercer grandes presiones en el sentido de avance del tornillo. Hay diferentes tipos de tornillos y tuercas. Un parámetro característico es el número de entradas o surcos (hélices independientes) del tornillo. En tornillos de una sola entrada, el paso de rosca del tornillo coincide con el avance del tornillo producido al girar 360° alrededor de su eje.¹⁶

II.2.1.2 MECANISMO LEVA-SEGUIDOR.

La leva es un elemento excéntrico que gira solidariamente con el eje motor. Al girar, el perfil de la leva provoca la subida o la bajada de un rodillo de leva o un palpador. El efecto contrario no se produce. El palpador puede accionar, directa o indirectamente, una válvula o cualquier otro elemento.

El recorrido vertical máximo que efectúa el palpador se llama carrera del palpador. Los puntos extremos del recorrido corresponden a puntos del perfil de

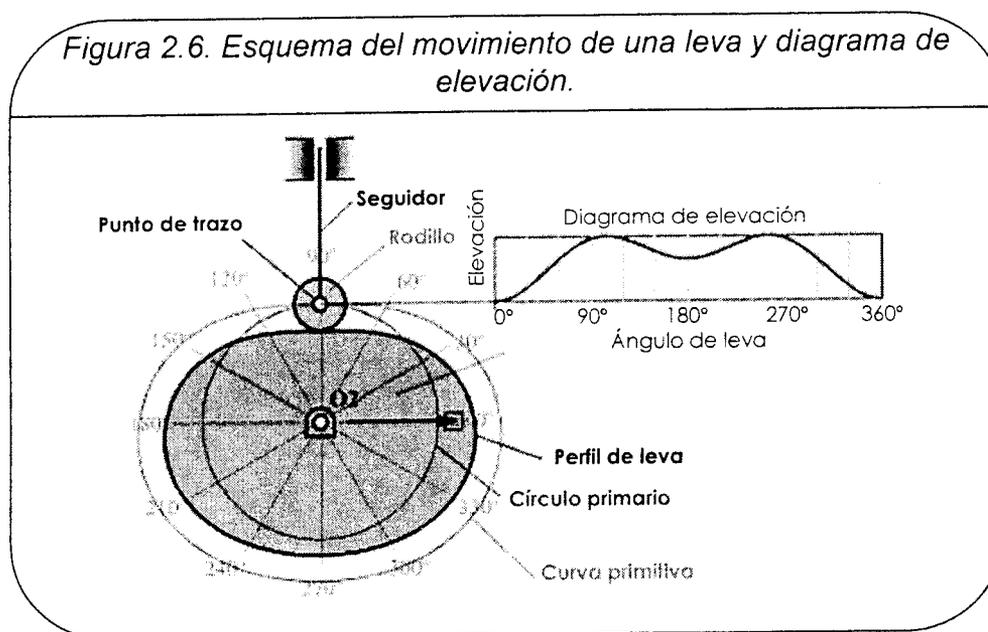
la leva con distancia máxima (radio mayor) o mínima (radio menor) respecto al eje de giro.¹⁶

II.2.2 TEORÍA DE LEVAS.

Una *leva* es un elemento que impulsa, por contacto directo, a otro elemento denominado *seguidor* de forma que éste último realice un movimiento alternativo concreto. Un tipo de mecanismo de leva es el mecanismo de leva con seguidor de rodillo.²³

- **Rodillo.** Para evitar el rozamiento que se produce entre leva y seguidor, si éstos contactaran directamente, se introduce entre ambos un rodillo que cambia el tipo de contacto a rodadura pura (en condiciones ideales). El rodillo está articulado al seguidor en su extremo y rueda sobre la leva.
- **Punto de trazo.** Al incluir el rodillo, el seguidor no contacta directamente con la leva, sino que contacta con el rodillo y éste con la leva. El punto de trazo es el punto del seguidor alrededor del cual gira el rodillo. Es, por tanto, el punto extremo del seguidor que estaría en contacto con la leva si no hubiese rodillo.

A continuación se muestra el movimiento de una leva y su relación con el diagrama de elevación:



II.2.2.1 ASPECTOS A CONSIDERAR EN EL DISEÑO DE LEVAS.

- **Masa del seguidor.** Cuanto más pesado sea el seguidor, mayor será su inercia y, por tanto, mayor será la tendencia de éste a despegarse al final de la subida.
- **Rigidez del muelle.** Cuanto mayor sea la rigidez del muelle, más fuerza ejerce éste sobre el seguidor para que no se separe de la leva, por lo que la tendencia al despegue será menor.
- **Velocidad de la leva.** Cuanto mayor sea la velocidad de la leva, la aceleración y deceleración del seguidor durante la subida será también mayor (el seguidor sube en menos tiempo) y, por tanto, la inercia del mismo será mayor, por lo que la tendencia a despegarse también será mayor.²³

II.2.3 TEORÍA DE TORNILLOS.

Definición: Pieza cilíndrica de metal cuya superficie tiene un resalte en espiral de separación constante; este se emplea como elemento de unión o como transmisor de movimiento, suele enroscarse en una tuerca.⁸

Se suele utilizar la siguiente terminología para las roscas de tornillos:

- **Rosca.** Es un filete continuo de sección uniforme y arrollada como una elipse sobre la superficie exterior e interior de un cilindro.
- **Diámetro mayor o principal.** Es el diámetro del cilindro imaginario que fuese tangente a las crestas de una rosca externa y a las raíces de una rosca interna; es el diámetro más grande de la rosca del tornillo.
- **Dimensión fundamental o medio.** Es su diámetro mayor nominal.
- **Diámetro menor.** Es el diámetro del cilindro imaginario que fuese tangente a los fondos de una rosca externa o las crestas de una rosca interna.
- **Paso P.** Es la distancia axial desde un punto de un hilo o filete del tornillo hasta el punto correspondiente del filete adyacente.

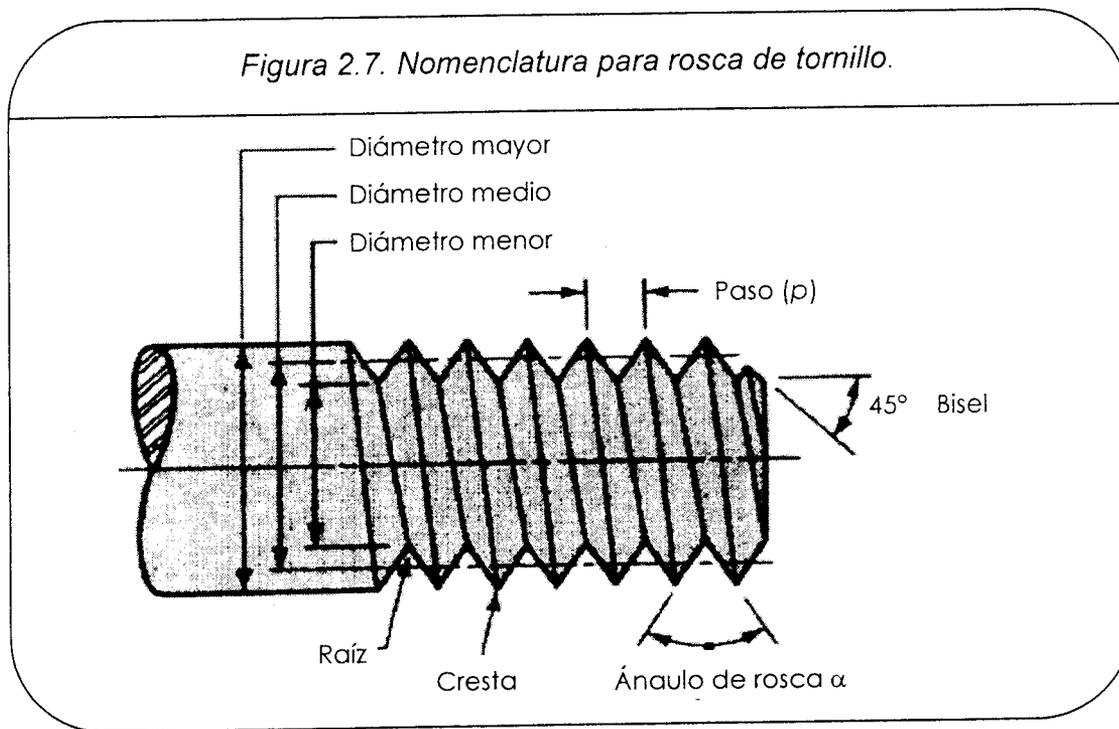
$$P_a \text{ (cm)} = \frac{1}{\text{Número de hilos por centímetro}}$$

$$P_a \text{ (pulgadas)} = \frac{1}{\text{Número de hilos por pulgada}}$$

- **Avance.** Es la distancia que avanza axialmente un hilo del tornillo (una hélice) en una revolución completa.
- **Ángulo de avance (λ).** Es el que forma una tangente a la hélice del paso con un plano normal al eje del tornillo. Si D_m es el diámetro medio de la rosca:

$$\lambda = \text{arc tg} \frac{\text{avance}}{\pi D_m}$$

En la siguiente figura se indica la nomenclatura de las roscas.



II.2.3.1 TIPOS DE ROSCA.

- **Rosca en V Aguda.** Se aplica en donde es importante la sujeción por fricción o el ajuste, como en instrumentos de precisión, aunque su utilización actualmente es rara.
- **Rosca Redondeada.** Se utiliza en tapones para botellas y bombillos, donde no se requiere mucha fuerza, es bastante adecuada cuando las roscas han de ser moldeadas o laminadas en chapa metálica.
- **Rosca Cuadrada.** Esta rosca puede transmitir todas las fuerzas en dirección casi paralela al eje, a veces se modifica la forma de filete cuadrado dándole una conicidad o inclinación de 5° a los lados.
- **Rosca Acme.** Ha reemplazado generalmente a la rosca de filete truncado. Es más resistente, más fácil de tallar y permite el empleo de una tuerca partida o de desembrague que no puede ser utilizada con una rosca de filete cuadrado.

Las roscas Acme se emplean donde se necesita aplicar mucha fuerza. Se usan para transmitir movimiento en todo tipo de máquinas herramientas, gatos, prensas grandes, tornillos de banco y sujetadores.

- **Rosca Whitworth.** Utilizada en Gran Bretaña para uso general siendo su equivalente la rosca Nacional Americana.
- **Rosca Sin Fin.** Se utiliza sobre ejes para transmitir fuerza a los engranajes sinfín.
- **Rosca Trapezoidal.** Este tipo de rosca se utiliza para dirigir la fuerza en una dirección. Se emplea en gatos y cerrojos de cañones.²⁹

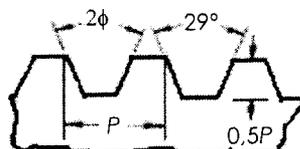
II.2.3.2 MECÁNICA DE LOS TORNILLOS DE FUERZA O POTENCIA.

Los tornillos de potencia son dispositivos que se utilizan para cambiar movimiento lineal y usualmente para transmitir potencia. En forma más específica los tornillos de potencia se usan:

- Para obtener una ventaja mecánica mayor con objeto de levantar pesos, como es el caso de los gatos tipo tornillos de los automóviles.
- Para ejercer fuerzas de gran magnitud, como en los compactadores caseros o en una prensa.
- Para obtener un posicionamiento preciso de un movimiento axial, como en el tornillo de un micrómetro o en el tornillo de avance de un torno.

En los tornillos de potencia se usa el perfil de rosca Acme. El ángulo de la rosca es de 29° y sus dimensiones se pueden determinar fácilmente después que se conoce el paso.⁸

Figura 2.8. Esquema rosca tipo Acme.



CAPÍTULO III.

DISEÑO A DETALLE DEL MECANISMO.

III.1 METODOLOGÍA DE DISEÑO.

El ciclo tradicional de desarrollo de un producto o sistema, comienza con la determinación de las necesidades, esta información se transforma en una serie de especificaciones, que permiten definir las características (materiales, formas y geometrías) del nuevo producto.

Una vez elaborada toda la documentación (planos, listas de materiales, herramientas, condiciones, etc.) que define al nuevo producto, se distribuye en diferentes sectores con el objetivo final de finalizar en el más breve plazo posible el dicho producto. Dicho de otra forma, se trata de un proceso secuencial, en el que intervienen diferentes sectores, cada uno con objetivos diferentes.

Este camino o forma de proceder tradicional no consigue entablar un diálogo o una convergencia entre los diferentes sectores, y entonces cualquier cambio del diseño original, ocasionará retrasos y costos adicionales debido a la difícil incorporación de ellos.

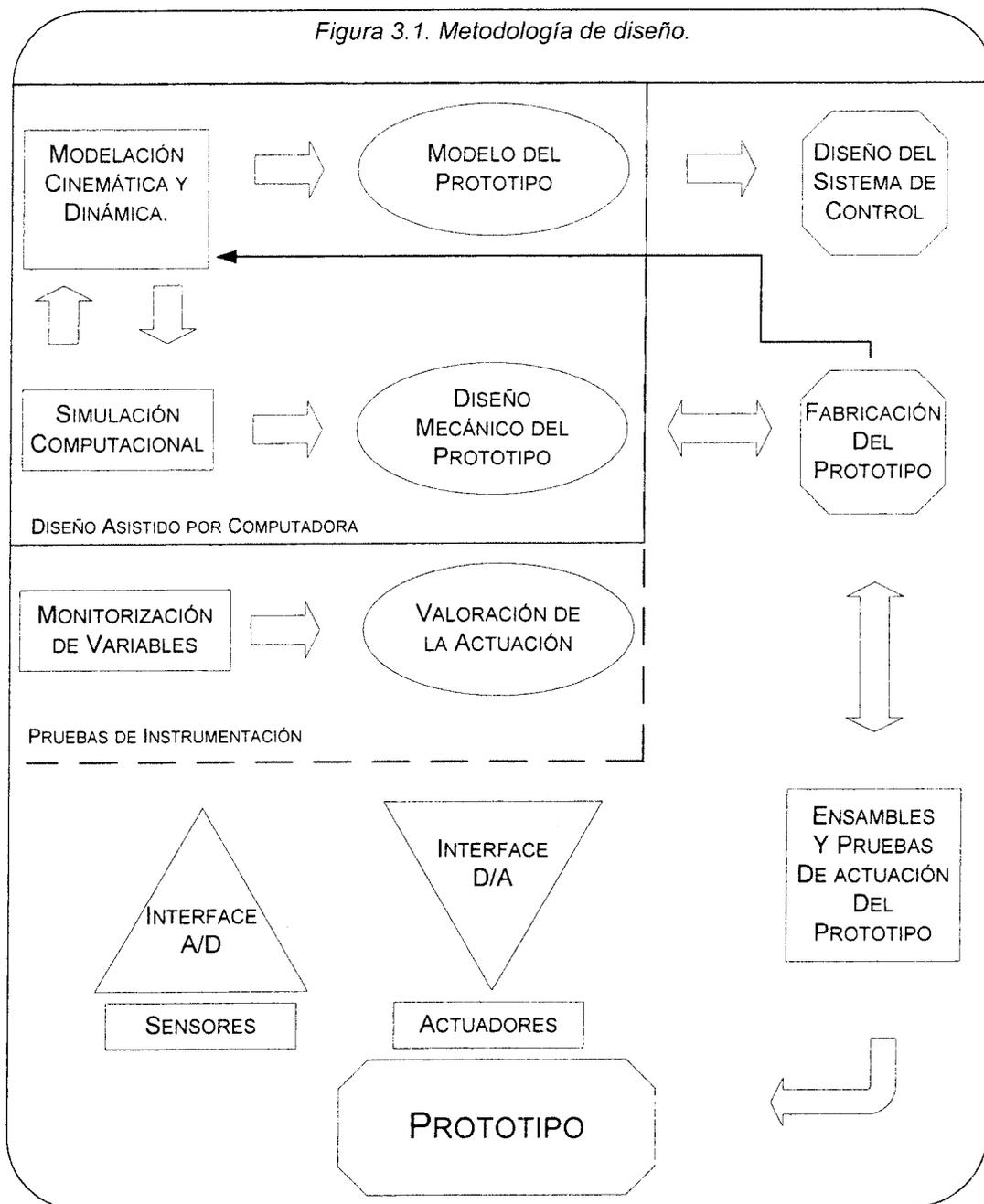
De todo lo dicho se desprende la importancia que tiene el diseño para el futuro de un proyecto, circunstancia que se constata, si consideramos que esta etapa supone aproximadamente un 5% del costo total de un producto, y que, sin embargo, las decisiones que se toman en ella determinan un 70% de su costo. Ello supone, la necesidad de la simultaneidad y concurrencia de las actividades de diseño.

Como consecuencia de la necesidad de reformular el proceso de diseño, para satisfacer los requerimientos anteriormente citados, surge una nueva filosofía de trabajo en equipo denominada Ingeniería Concurrente; que supone una ruptura drástica con las prácticas pasadas, y que necesita de la creación de un nuevo entorno de diseño basado en las tecnologías innovadoras, una extensiva cooperación interdisciplinaria y una integración de las áreas funcionales de cualquier proyecto.¹

Existe un amplio abanico de herramientas que facilitan la puesta en marcha de un entorno de ingeniería concurrente. Una de ellas es la utilización de metodologías formales de diseño como la que a continuación mostramos y en la que nos basaremos para la realización del presente proyecto.

Los objetivos primordiales de esta metodología son los siguientes:

- Reducir los tiempos de diseño e implantación.
- Reducir los costos asociados al diseño y la implantación.
- Tener un orden de actividades en un proyecto integral.
- Visualizar la dirección de un proyecto.
- Mejorar la competitividad en todos los sentidos.



III.2 MECANISMO LEVA LINEAL.

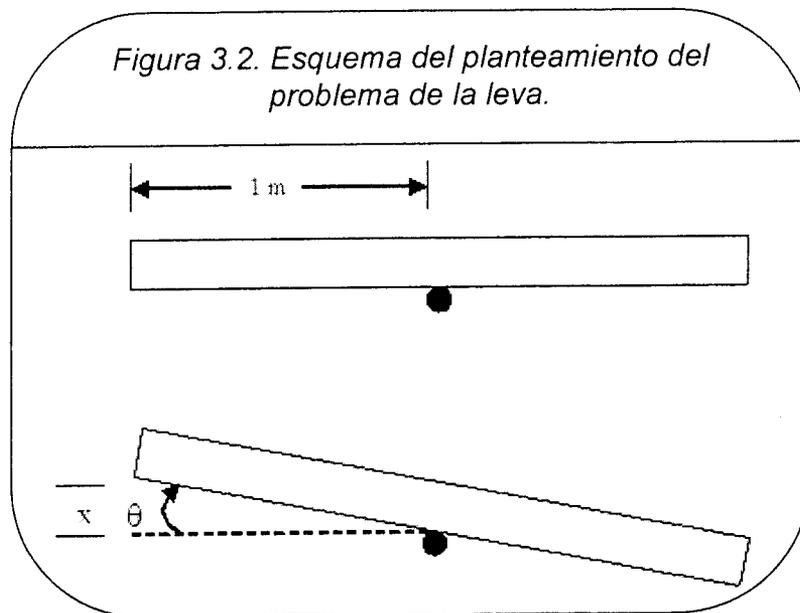
III.2.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

Como se mencionó en el capítulo II, ahora se tiene que proponer y diseñar un mecanismo alternativo que cumpla con las características más importantes de los dos que resultaron mejor calificados en la tabla de decisión, es decir, de alguna forma, el mecanismo leva-seguidor y gato automotriz tienen que fusionarse en uno sólo que reúna sus mejores cualidades y que sea funcional.

III.2.2 SOLUCIÓN DEL PROBLEMA.

Para esto, partiremos de las posiciones angulares que debe adoptar el riel de aire, de 0° a 5° con posiciones discretas de 1° entre ellas, y una posición negativa de -1° que se utilizará para la posición de reposo del riel.

Por lo tanto,



Si se propone que el centro de rotación este a la mitad del riel, entonces:

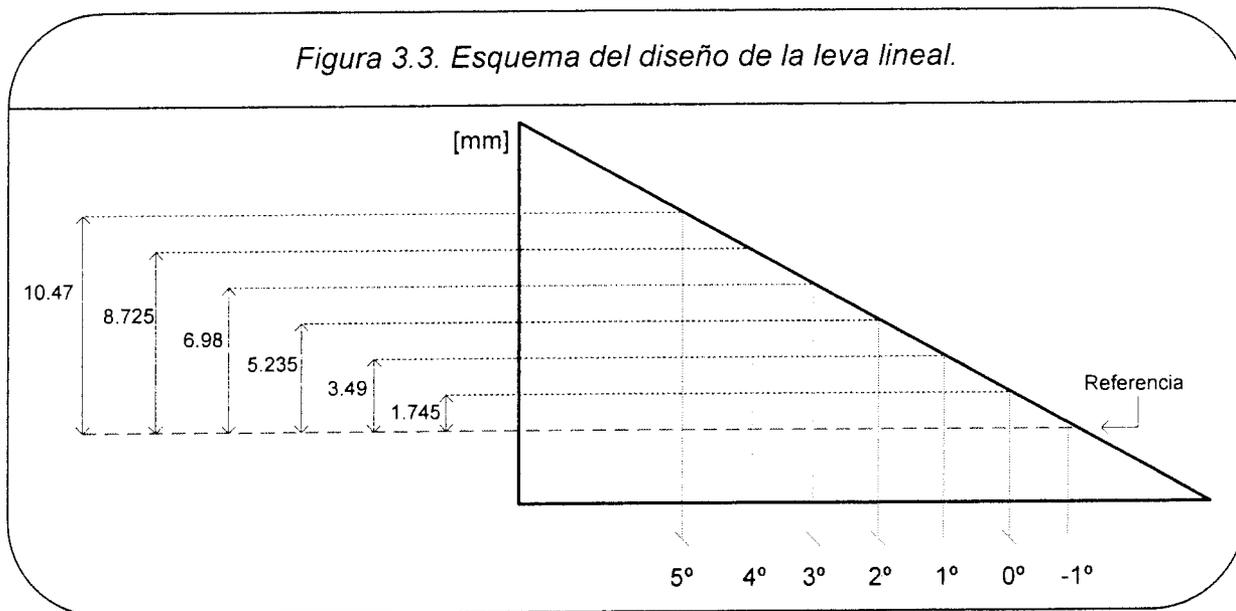
$$x = \text{sen } \theta \dots \dots \dots (3.1)$$

Tabla 3.1. Valores del ángulo θ vs. longitud lineal x .

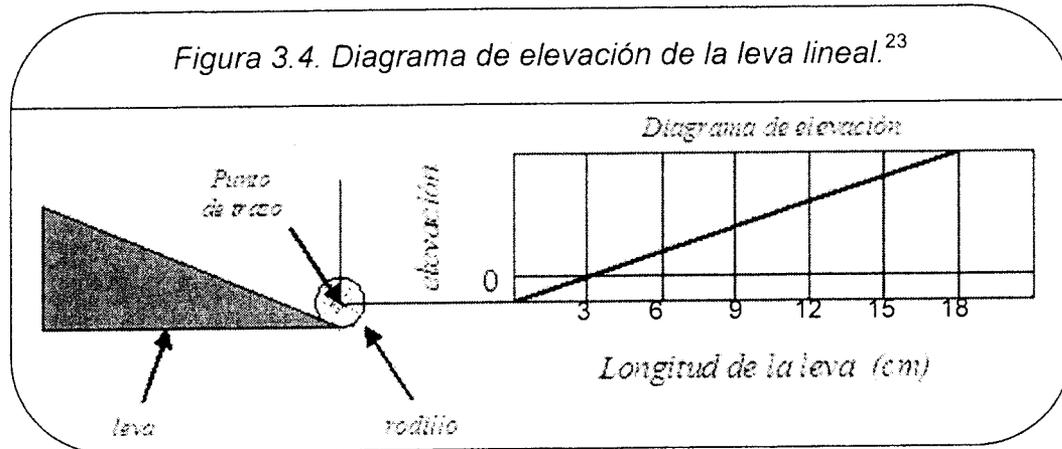
θ [°]	x [cm]
-1	-1.745
0	0
1	1.745
2	3.490
3	5.235
4	6.980
5	10.47

Entonces necesitamos de una leva que genere los desplazamientos mostrados en la tabla, o bien elevaciones en un seguidor. Un perfil que se ajustara a estas combinaciones de datos resultó ser un perfil triangular, como se muestra a continuación:

Figura 3.3. Esquema del diseño de la leva lineal.



En función de esto, el diagrama de elevación es el siguiente:



Por otro lado, otro problema en el diseño fue el hecho de acoplar un tornillo a una leva, lo cual no es muy común. La leva tenía que ser rediseñada, así que se planteó el siguiente diagrama morfológico:

Tabla 3.2. Diagrama Morfológico para elegir el movimiento del mecanismo.⁵

		a	b
1	Movimiento de la leva	Rotación	Traslación
2	Movimiento del tornillo	Rotación	Traslación

Como se ve del diagrama anterior la posible combinación funcional sería:
1b con 2a.

Con los cálculos de los desplazamientos necesarios para cada grado y apoyándonos del diagrama morfológico, observamos que los resultados arrojarían un perfil de leva triangular, lo cual nos llevaría a que ésta se tenga que desplazar linealmente.

III.2.3 DISEÑO DEL TORNILLO.

Como se vio anteriormente, existen diversas posibilidades para la elección del mecanismo de transmisión de potencia:

- Tornillo sin fin estándar
- Tornillo de potencia
- Tornillo de bolas

Para el presente proyecto se ha optado por emplear el tornillo sin fin estándar por las siguientes razones:

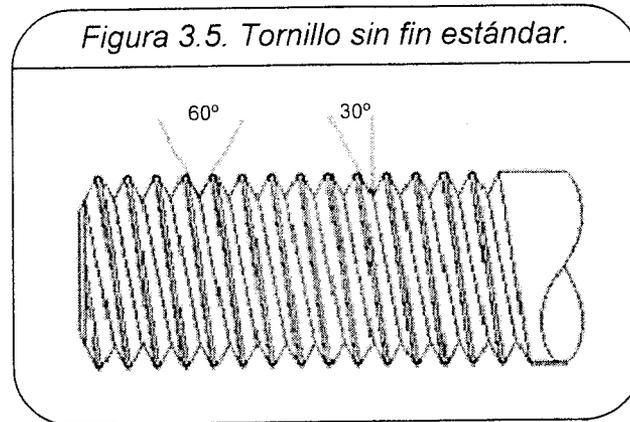
1. El costo del tornillo sin fin es muchísimo menor en comparación con los otros dos.
2. El tornillo de potencia se emplea para la elevación de cargas grandes debido al par generado. Nuestro mecanismo sólo levantará una carga de aproximadamente 10 Kg.
3. El tornillo de bolas a pesar de proporcionar un gran par de salida en comparación con el de entrada, representa un mayor costo.

El mecanismo de transformación tornillo-tuerca está constituido por un tornillo que al girar produce un desplazamiento longitudinal (movimiento rectilíneo) en la tuerca a la que está enroscado.

Por lo tanto es un mecanismo que transforma un movimiento circular en un movimiento rectilíneo.

Entonces, empleando un espárrago comercial de las siguientes características:

Tamaño:	5/8"
Φ_m :	0.6250" = 1.5875 cm
Hilos x pulgada:	13
λ :	30°
Entradas del tornillo:	1



Partiendo de los parámetros del tornillo propuesto podemos obtener la velocidad angular a la que tendría que girar el motor que impulse al mecanismo. Para estos cálculos nos apoyaremos de las siguientes ecuaciones.⁸

La longitud L que avanza la tuerca al girar el tornillo será igual a:

$$L = P_a \cdot z \cdot n' \dots \dots \dots (3.2)$$

donde:

- P_a = paso del tornillo
- z = número de entradas del tornillo
- n' = número de vueltas del tornillo

$$P_a = 1 / N \dots \dots \dots (3.3)$$

donde:

N = no. de hilos por cm

$$\lambda = \text{arc tg} (A / \pi \cdot D_m) \dots \dots \dots (3.4)$$

donde:

- λ = ángulo de avance
- A = avance
- D_m = diámetro medio del tornillo

Entonces, sustituyendo los valores de los parámetros del tornillo sin fin estándar en las ecuaciones, tenemos que:

$$13 \text{ hilos / pulgada} = 5.118 \text{ hilos / cm}$$

De la ecuación (3.3),

$$P_a = 1 / 5.118 \text{ [hilos / cm]}$$

$$P_a = 0.1954 \text{ [cm]}$$

Para la ecuación (3.4), cabe recordar que para un tornillo de rosca sencilla el avance es igual al paso, para uno de rosca doble, el avance es el doble del paso, y así sucesivamente.

Entonces, como nuestro tornillo es de rosca sencilla:

$$A = P_a = 0.1954 \text{ [cm]}$$

Por otro lado, del diagrama de elevación tenemos que la leva debe moverse 18cm de forma lineal desde su posición de reposo hasta la posición de 5° (lo cual son 6 posiciones). Sabiendo esto y proponiendo que el mecanismo se tarde un segundo máximo entre cada posición angular, la velocidad lineal resultante sería:

$$V = d / t$$

$$V = 18 \text{ [cm]} / 6 \text{ [s]}$$

$$V = 3 \text{ [cm/s]}$$

Ahora, sustituyendo para la ecuación (3.2),

$$L = P_a \cdot z \cdot n'$$

Y despejando "n",

$$n' = L / (P_a \cdot z)$$

$$n' = 18 \text{ [cm]} / (0.1954 \text{ [cm]} \cdot 1)$$

$$n' = 92 \text{ revoluciones}$$

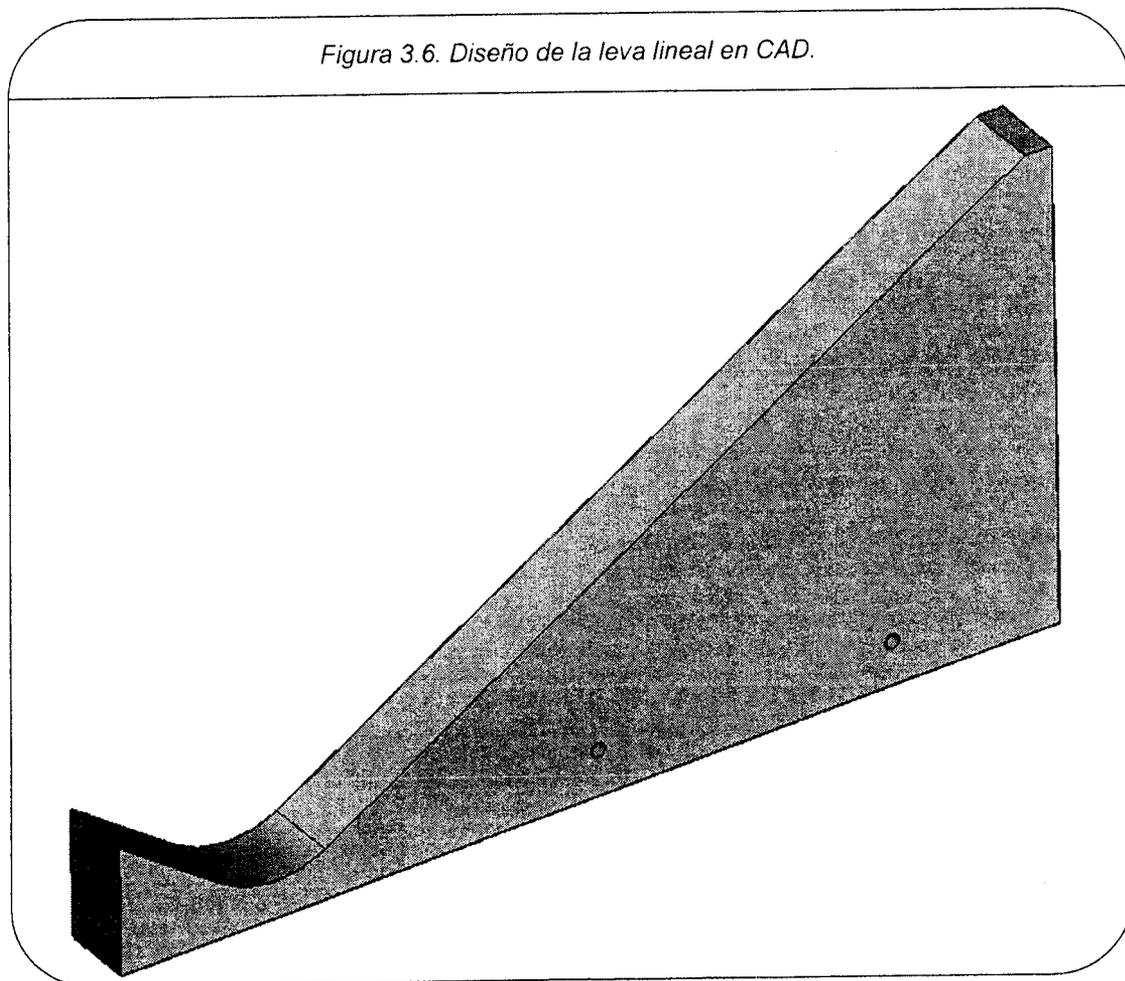
Entonces, a partir de la razón a la que gira el tornillo sin fin y multiplicándola por la velocidad lineal requerida, podemos obtener las revoluciones por minuto a las que tendría que girar el tornillo para cumplir con las especificaciones, como se muestra a continuación:

$$n = 92 \text{ [rev]} / 18 \text{ [cm]} \cdot 3 \text{ [cm/s]} \cdot 60 \text{ [s/min]}$$

$$n = 920 \text{ [rpm]}$$

III.2.4 DISEÑO DE LA LEVA.

A partir de la figura 3.3 donde se muestra el esquema ideal de la leva, se diseñó el perfil de ésta apoyándose de programas de CAD.⁹ El diseño se muestra a continuación:



Éste fue el modelo resultante de la leva diseñado en Unigraphics. En la parte cóncava se encuentra la posición de reposo (-1°), de ese punto parten las demás posiciones que van subiendo en forma lineal hasta llegar a la máxima de 5° .

III.2.5 MANUFACTURA DE LA LEVA.

Una vez que se tuvo el diseño de la leva lineal en Unigraphics, se prosiguió a la manufactura de la misma. Primero había que decidir que tipo de material se iba a usar, pues una leva siempre tiene que ir acompañada de un seguidor y estos se encuentran en constante rozamiento.

Después de una amplia investigación se decidió utilizar "Nylamid", el cual es un material plástico a base de Nylon que ha venido sustituyendo a los metales en varias aplicaciones de ingeniería.²⁴

Ventajas de las piezas fabricadas en Nylamid contra las piezas metálicas:

- Resulta más económico por unidad de volumen, comparándolo con los metales suaves y otros materiales.
- Ahorro significativo en energía de la maquinaria y equipo por su bajo peso específico, es decir, es fácil de maquinar.
- Ofrece un mayor tiempo de vida por su gran resistencia a la abrasión, superando en tiempo de duración a otros materiales suaves y de mediana dureza.
- Evita la instalación de costosos sistemas de lubricación, gracias a su bajo coeficiente de fricción.
- Es seguro, al no generar chispas, es segura su aplicación en ambientes inflamables, explosivos o altamente combustibles.

En específico se utilizó Nylamid tipo M, el cual se recomienda para aplicaciones como: engranes, chumaceras, poleas, ruedas, catarinas, rodillos y guías de desgaste, entre otras.²³

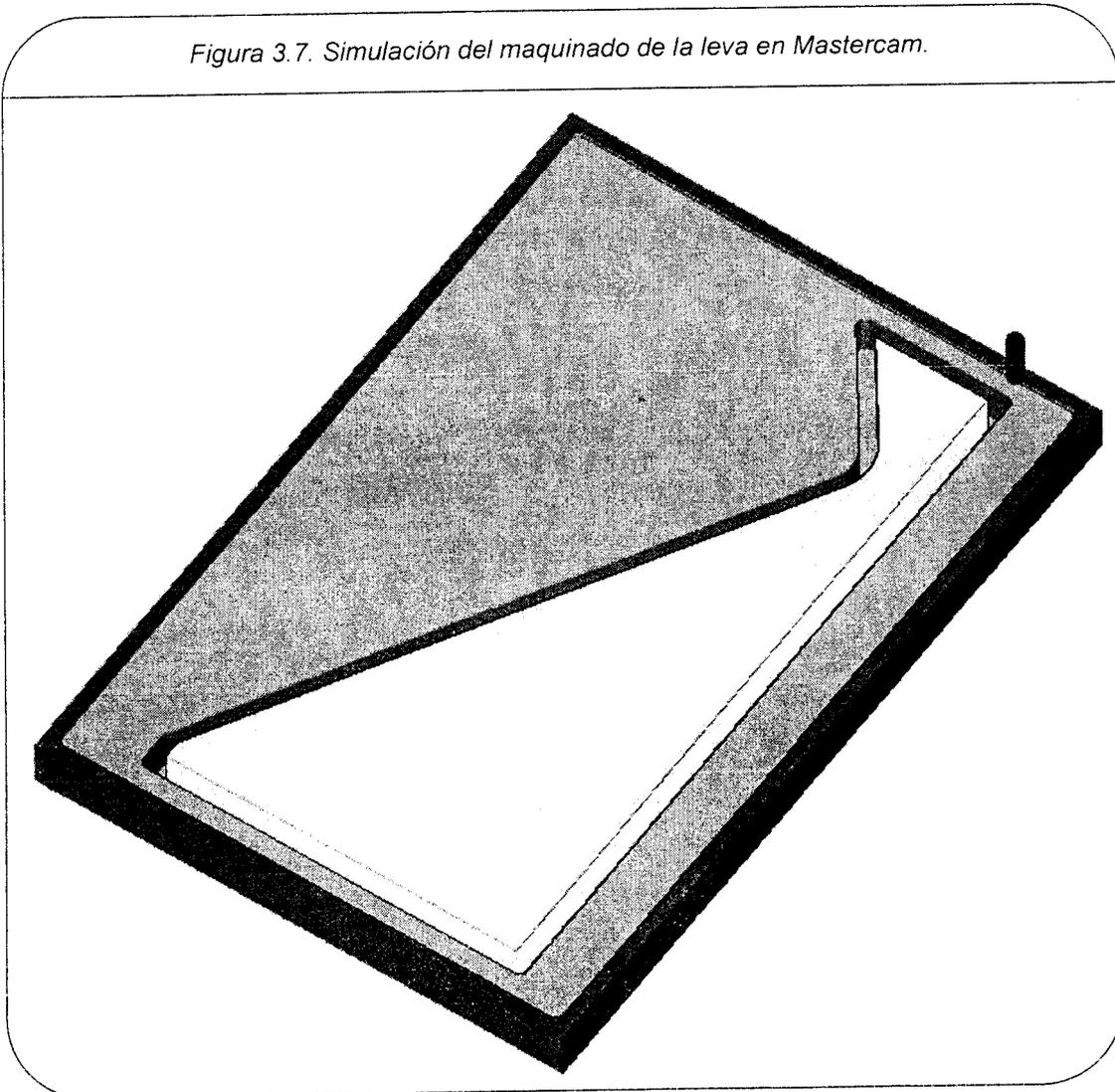
Tabla 3.3. Propiedades del Nylamid M.²

Propiedad	Valor	Unidades
Densidad	1.14	g/cm^3
Resistencia a la tensión	720	kg/cm^2

Resistencia a la compresión	850	kg/cm ²
Resistencia al impacto	8	Kg·m/cm
Módulo de elasticidad	24,000	kg/cm ²
Coefficiente de fricción estático	0.3-0.4	
Coefficiente de fricción dinámico	0.15-0.3	

Después de tener el material se hizo uso del programa Mastercam para generar el código de control numérico. Ahí mismo se hizo la simulación de lo que sería el maquinado de la pieza en la máquina de control numérico.

Figura 3.7. Simulación del maquinado de la leva en Mastercam.



Los parámetros que se introdujeron al programa Mastercam para la generación del código son los siguientes:

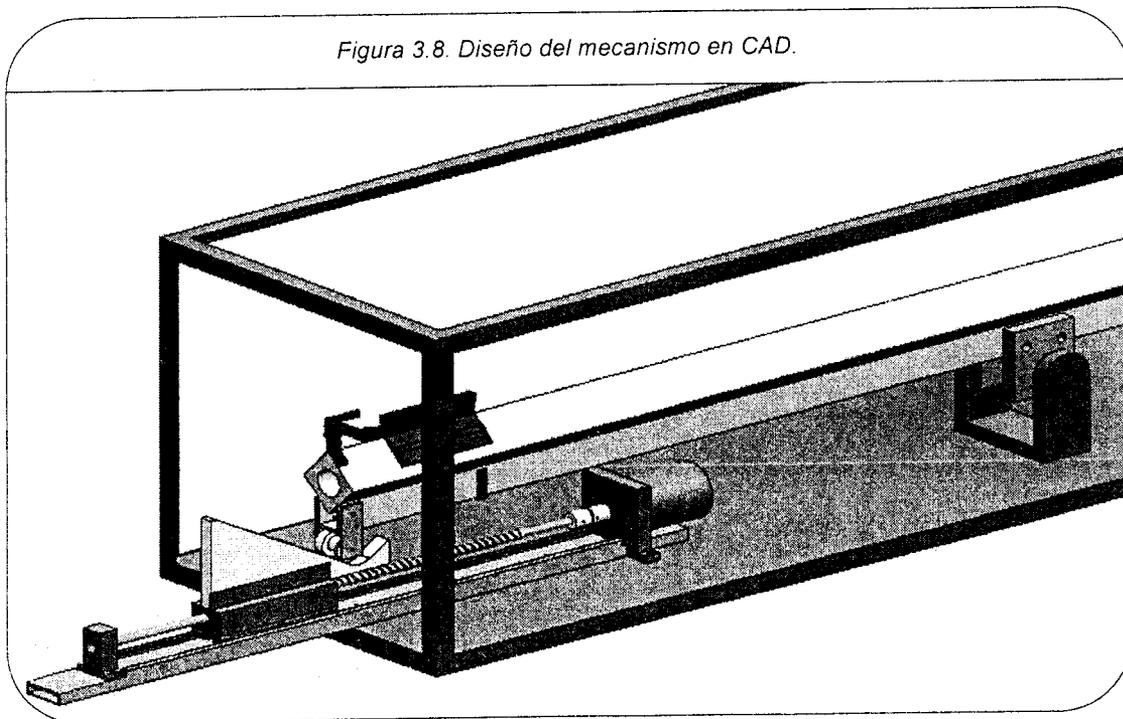
Tabla 3.4. Parámetros para el maquinado.⁹

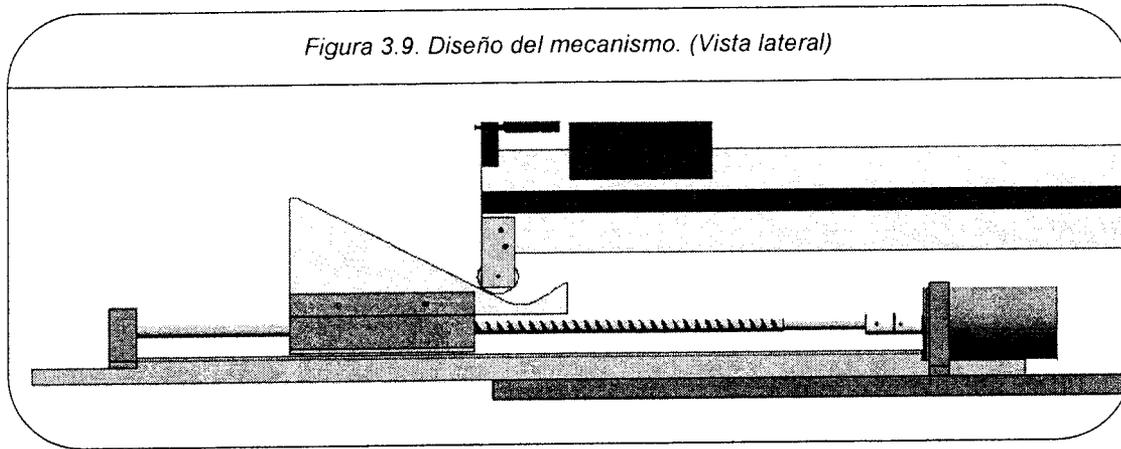
Parámetro	Valor	Unidades
Diámetro de la fresa	6	mm
Velocidad de avance	100	
Velocidad de entrada	200	
Velocidad de salida	400	
Número de pasadas	10	
Profundidad total	19	cm

III.2.5 DISEÑO DEL MECANISMO.

Ya contando con el diseño de la leva y las especificaciones de diseño del tornillo sin fin, se prosiguió a diseñar el mecanismo en su totalidad. En él se muestra como será el acoplamiento entre el motor y el tornillo, y de éste a la leva lineal, encargada de producir el movimiento angular en el riel de aire. Así mismo se muestran todas las piezas que ayudaran a soportar y fijar cada elemento del mecanismo.

Figura 3.8. Diseño del mecanismo en CAD.





Podemos ver que el mecanismo obtenido unifica los dos criterios mencionados anteriormente, es decir, cuenta con algunos elementos de diseño del mecanismo leva-seguidor y otros tantos del mecanismo gato automotriz. Como resultado de esta sinergia tenemos un mecanismo que funciona de la siguiente manera:

1. En primer lugar tenemos un motor acoplado directamente a un tornillo sin fin mediante un cople de nylamid y un prisionero. Del otro lado, el tornillo tiene acoplado un balero que se encuentra sujeto a un soporte fijo.
2. El tornillo al girar provoca un movimiento lineal de una tuerca que se encuentra fija al elemento encargado de soportar la leva.
3. Luego, la leva, gracias a su perfil triangular, provoca un movimiento angular desde -1° a 5° en el riel de aire que cuenta con un buje a la mitad de su longitud que le permite girar libremente.

En este momento del proyecto, nos dimos a la tarea de construir y ensamblar dicho mecanismo para verificar que se moviera tal y como se había planteado en el diseño. Una vez que se tuvo el mecanismo funcionando de forma manual era tiempo de proseguir con la instrumentación y electrónica que permitirían controlar este dispositivo desde una computadora. Los siguientes capítulos muestran como fue posible llevar a cabo dicha tarea.

CAPÍTULO IV. INSTRUMENTACIÓN.

IV.1 CARACTERÍSTICAS DE LOS SENSORES.

IV.1.1 INTRODUCCIÓN.

La instrumentación reúne la información necesaria de un proceso con el fin de que éste se lleve a cabo satisfactoriamente. Dicha información proviene de variables físicas las cuales nos pueden arrojar diferentes tipos de señales ya sean mecánicas, eléctricas, térmicas, magnéticas, entre otras, y las cuales tienen primeramente que capturarse. Esta operación puede asumirla el ser humano utilizando aparatos de medición, o bien puede realizarse mediante sensores sin que intervenga el hombre.

IV.1.2 SENSORES.

Los sensores son parte fundamental de la instrumentación en un sistema para que éste funcione adecuadamente, son éstos los que proveen información sobre el estado de dicho sistema al monitorear su entorno. Sensor y transductor, tienen un funcionamiento casi idéntico y comúnmente se utilizan como iguales, pero en realidad existe una diferencia entre ellos. Esta diferencia se señala a partir de sus definiciones:

Transductor: Dispositivo que funciona bajo la acción de energía entrante procedente de un sistema y suministra energía de salida de las mismas características o de naturaleza diferente por ejemplo: eléctrica, mecánica, acústica, etc.¹¹

Sensor: Dispositivo que en respuesta a las variaciones de una energía entrante produce una señal eléctrica.¹¹

De las definiciones anteriores, puede apreciarse que los sensores son una clase particular de los transductores.

En el presente proyecto utilizamos sensores debido a que el sistema está controlado por un microcontrolador requiriendo así señales eléctricas.

En la actualidad existen un sin fin de convertidores de energía, hablando de sensores o transductores, es por esto que para la selección de estos dispositivos se tomaron en cuenta las consideraciones siguientes.³¹

- *Voltaje de alimentación.* Se refiere a los niveles de voltaje y de corriente que requiere para su adecuado funcionamiento.
- *Alcance.* Distancia a la que trabaja en condiciones óptimas.
- *Tipo de salida.* El sensor puede tener salidas digitales o analógicas y salidas de corriente o voltaje.
- *Resolución.* Se refiere a la capacidad de discernir entre valores de la variable de entrada y está en directa relación a la escala del instrumento.
- *Velocidad de respuesta.* Capacidad para responder a los cambios de la variable detectada en un tiempo.
- *Repetibilidad.* Especifica la máxima desviación entre las lecturas obtenidas en los valores de salida después de ejecutar ciclos de entrada.
- *Linealidad.* Se refiere a la relación proporcional entre los incrementos de la señal de entrada con los de la señal de salida.
- *Sensibilidad.* Término utilizado para describir la variación de la salida por unidad de la magnitud de entrada.
- *Ruido.* Cantidad de perturbaciones a las cuales el sensor es susceptible.
- *Características ambientales.* Se refiere al entorno en el cual el sensor trabajará y al cual puede o no trabajar de forma eficiente.
- *Costo.*

IV.1.3 VARIABLES FÍSICAS DE INTERÉS Y SU MEDICIÓN.

Las variables físicas determinarán el tipo de instrumentación que se utilizará, a continuación se explican dichas variables para nuestro sistema.

A) Presencia del elemento móvil en el punto de partida.

La detección del elemento móvil en el punto en el que da inicio el recorrido es de suma importancia. Uno de los requerimientos para comenzar la práctica es asegurar que el elemento móvil se encuentre en dicho punto y con esto tener un control del tiempo y de las distancias a recorrer.

B) Tiempo en que el elemento móvil recorre el riel de aire.

El objetivo de la práctica es realizar mediciones de velocidad y aceleración en las que el "carrito" recorre el riel de aire, es por esto que necesitamos medir el tiempo en el cual el móvil recorrerá distancias a lo largo del riel.

C) Posición angular del riel.

Mencionamos que una de las variantes de esta práctica es la de poder variar el ángulo de inclinación del riel de aire con el fin de tener un análisis más profundo de la velocidad y aceleración, y poder compararlo en diferentes posiciones. Las posiciones acordadas serán de 0° a 5°.

La tabla 4.1 muestra las variables a medir, rango y unidades de medida. Así mismo se muestran opciones de diferentes sensores con las que podemos realizar dichas tareas:

Tabla 4.1 Variables a medir y tipos de sensores propuestos.

	Variable	Rango	Unidades	1	2	3	4
Elemento móvil	A	5	mm	Sensor láser	Sensor óptico	Sensor inductivo	Sensor capacitivo
Elemento móvil	B	5	mm	Sensor óptico	Sensor láser	Sensor inductivo	Sensor ultrasónico
Riel de aire	C	0-20	grados	Potenciómetro de precisión	Encoder	Sincros	Resolvers

Para la selección de los dos primeros sensores, es decir para el sensado de la variable A: presencia del elemento móvil en el punto de partida y la variable B: tiempo en que el elemento móvil recorre el riel de aire, tomamos en cuenta las características que se presentan en la cuadro resumido 4.2.

Cabe mencionar que en dicha tabla se muestran las características de los sensores ópticos, inductivos, capacitivos y ultrasónicos descartando desde este momento el sensor tipo láser porque aunque cumple de manera satisfactoria con los requerimientos del sistema su costo esta muy por encima del presupuesto de este proyecto.

Tabla 4.2 Criterios de selección.¹¹

Tipo de sensor	Distancia de detección	Naturaleza del Material	Condiciones ambientales	Frecuencia de detección	Costo
Ópticos	Mín: 5 mm Máx: metros	Metálicos y no metálicos	Variaciones de temperatura pequeñas y grandes	5Khz	Bajo
Inductivos	Mín: 3 mm Máx: 50mm	Metálicos	Variaciones de pequeñas temperaturas	2Khz	Alto
Capacitivos	Mín: 15mm Máx: 30mm	Metálicos y no metálicos	Variaciones de mínimas temperaturas	30Hz	Alto
Ultrasónicos	Mín: 30 mm Máx: 3 m	Metálicos, no metálicos, líquidos, granos.	Variaciones de pequeñas temperaturas		Regular

Analizando la tabla 4.2 de criterios de selección, se decidió ocupar un sensor óptico para llevar acabo las tareas de la variable A y B.

La justificación es la siguiente: tiene una distancia de detección de 5mm lo que nos da la ventaja de colocar éste lo más cercano al riel y con esto facilitamos su futuro acoplamiento. Reconoce objetos metálicos como lo es el elemento a detectar en este caso. Tiene la frecuencia más alta de detección y finalmente es la opción más costeable debido a tener un costo más bajo que las otras tres opciones.

IV.1.4 SENSOR ÓPTICO.

Los sensores ópticos se componen de dos elementos principales, un emisor y un receptor. La fuente emisora genera luz de una cierta frecuencia para que el receptor pueda detectarla más fácilmente y diferenciarla de otras fuentes cercanas. El tipo de luz más usado es el infrarrojo y, en este caso, para diferenciar la luz de la fuente se deja una frecuencia fija y lo que se hace es emitir pulsos. El sensor simplemente descartará cualquier luz infrarroja que le llegue y que no sea intermitente, pudiendo así diferenciar la luz de la fuente de radiación infrarroja proveniente de otros objetos que generen calor. Normalmente el sensor suele ser un dispositivo semiconductor como un fotodiodo, el cual genera una pequeña corriente cuando le impacta energía lumínica o un fototransistor que permite el paso de corriente cuando le llega luz.

Los sistemas más conocidos son las barreras de luz y los detectores de reflexión directa. En el cuadro 4.3 se incluye una lista no exhaustiva de este tipo de sensores.

Tabla 4.3. Clasificación de sensores ópticos.¹¹

Denominación	Esquema	Explicación
Barrera de luz sin reflexión		<p>Emisor y receptor separados y opuestos. Para efectuar la medición se aprovecha la interrupción del haz de luz. Para distancias de hasta 30 metros.</p>
Barrera de luz con reflexión		<p>Emisor y receptor en un solo cuerpo. Adicionalmente se necesita un reflector en el lado opuesto. Se mide la interrupción del haz. Para distancias de hasta 4 metros.</p>
Detector de reflexión directa		<p>Emisor y receptor en un solo cuerpo. La luz se refleja y vuelve al receptor. En este caso, el propio objeto hace de reflector. Para distancias desde mm hasta 1/2 metro.</p>
Detector de transmisión		<p>Emisor y receptor separados y opuestos. Ambos están enfocados en el punto de paso de los objetos. Para la detección de objetos transparentes o de superficies claras.</p>
Barreras de haces múltiples		<p>Barreras de corta distancia, con un emisor y varios receptores. Por ello la disposición de los emisores "S" y de los receptores "E" tiene que ser alterna.</p>

IV.1.5 SENSOR ÓPTICO-REFLEXIVO PARA LA DETECCIÓN DEL ELEMENTO MÓVIL EN EL PUNTO DE PARTIDA (SENSOR DE HOME).

Después de analizar todas las opciones de la tabla anterior, basamos nuestra elección principalmente en la configuración del emisor y receptor que conforman dicho sensor. Ahora bien, de acuerdo al mecanismo planteado en el capítulo 3 para el sistema en cuestión, nos conviene que el emisor y receptor de nuestro sensor se encuentren en el mismo lado para una mayor facilidad en el montaje y ensamble de las piezas.

Entonces, la configuración “*detector de reflexión directa*” resulta ser la más adecuada para nuestro sistema, ya que aparte de cumplir con la especificación mencionada arriba, se cuenta con la ventaja de que el elemento móvil que se deslizará a lo largo del riel, también servirá como elemento reflector para el sensado.

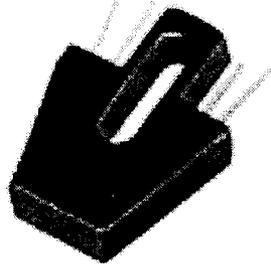
Una vez elegido el tipo de sensor a utilizar y la configuración de éste, se buscó un sensor óptico-reflexivo que pudiera llevar a cabo esta tarea. El sensor que se eligió es de la marca Honeywell, lo cual nos da confiabilidad y garantía en su funcionamiento. Específicamente el sensor utilizado es un HOA 1405-2 (ver Fig. 4.1).

Las características más relevantes de este sensor son:

- Punto óptimo de respuesta: 5,08 mm
- Tiempo de respuesta: 15 μ s
- Tipo de salida: analógica
- Temperatura en la que puede operar: -40°C a 85°C
- Alimentación: 5V
- Costo: bajo

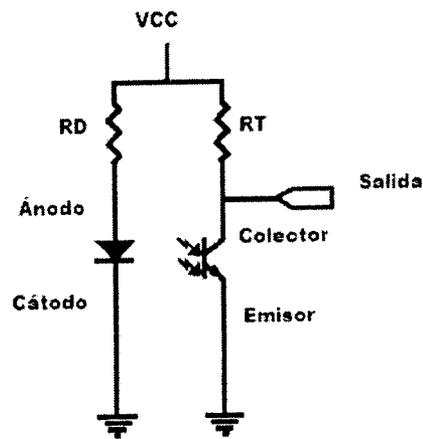
Los sensores HOA 1405-2 constan de un diodo de emisión infrarrojo y un fototransistor NPN.

Figura 4.1. Sensor Reflexivo
HOA1405-2.



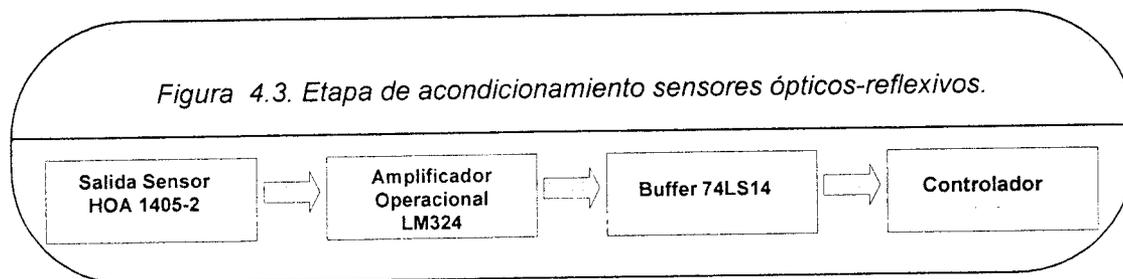
El sensor se alimentará con 5V de corriente directa y se conectará como se muestra en la Fig. 4.2. El sensor entregará un nivel alto de voltaje cuando el haz no refleja y un nivel bajo cuando se detecta al elemento móvil.

Fig 4.2 Conexión del sensor
HOA1405-2.



IV.1.5.1 ETAPA DE ACONDICIONAMIENTO PARA EL SENSOR DE HOME.

La etapa de acondicionamiento para el sensor HOA1405-2 se logrará gracias a un amplificador operacional LM324 situado a la salida del sensor. Este amplificador será utilizado en su modalidad de comparador y entonces lo que hacemos es fijar un valor de voltaje de referencia y así asegurarnos de tener un 0 o 1 lógicos a la salida. Después de esto, para garantizar que la señal digital se encuentre en niveles TTL se utilizó un buffer 74LS14, el mismo que también tiene la función de proteger al circuito en caso de alguna sobrecarga.



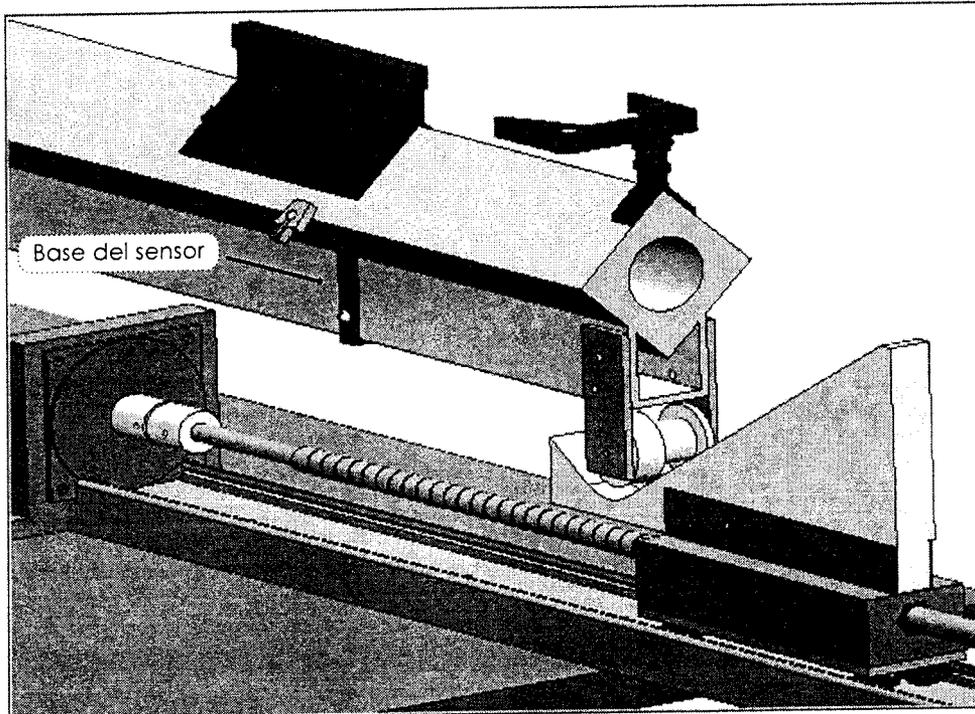
IV.1.5.2 ETAPA DE ACOPLAMIENTO PARA EL SENSOR DE HOME.

En esta etapa nos referimos al acoplamiento físico en el sistema, la ubicación y la forma en que se va a disponer el sensor de home.

El primer paso para la colocación del sensor fue tener en cuenta que las piezas donde se deberían montar tendrían que ser ligeras, estéticas y de un tamaño discreto, acorde con el sensor y que se alojaran lo más cerca posible del riel de aire.

Así entonces para garantizar que este elemento, al que llamaremos base del sensor, cumpliera con tales requisitos, nos dimos a la tarea de diseñar una pieza específica para dicho propósito. Las herramientas utilizadas para esto fueron los programas de CAD: Solid Edge y Unigraphics, y el programa Mastercam para la manufactura de la pieza en las máquinas de control numérico con las que cuenta nuestra Facultad de Ingeniería. La Fig. 4.4 muestra el sensor y su acoplamiento.

Figura 4.4. Esquema que muestra el sensor de home y su acoplamiento.



IV.1.6 SENSORES ÓPTICOS-REFLEXIVOS PARA LA MEDICIÓN DE LOS TIEMPOS RECORRIDOS.

Las opciones que existen para llevar a cabo esta tarea son: Sensor óptico, sensor láser, sensor capacitivo y sensor ultrasónico (ver tabla 4.1). Se hizo hincapié en que el sensor láser cumple de manera satisfactoria los requerimientos del proyecto, y aún mejor que un sensor puntual, sin embargo como se ha mencionado está fuera del alcance del proyecto por su alto costo.

Por otra parte, el sensor ultrasónico tiene la capacidad de detección en un rango de aproximadamente tres metros, es decir, puede detectar el carrito a lo largo del riel siempre y cuando no existan a su alrededor otros cuerpos que puedan ser detectados, pues en ese caso, las lecturas obtenidas serían erróneas. Recordemos que lo que emite dicho sensor son ondas, y éstas se expanden como se expande el sonido.

Finalmente tenemos el sensor capacitivo y el sensor óptico. Se ha visto ya (ver tabla 4.2) que el sensor óptico representa una mejor opción en cuanto a características y costo.

El sensor óptico-reflexivo para la detección del móvil en su punto de partida funcionó de manera satisfactoria, así entonces se decidió utilizar el mismo modelo de sensor para la medición del tiempo de la distancia lineal recorrida. En la figura 4.5 se muestra la forma en que los sensores ópticos-reflexivos HOA1405-2 se disponen sobre el riel de aire para la activación del reloj y la toma de lecturas.

IV.1.6.1 ETAPA DE ACONDICIONAMIENTO PARA LOS SENSORES DEL TIEMPO.

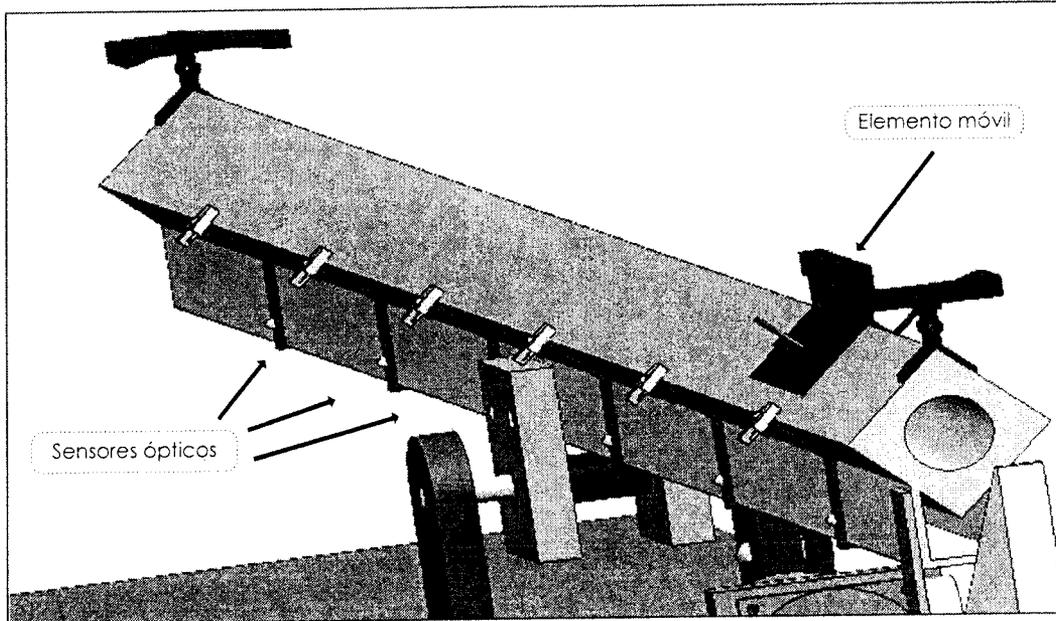
Los sensores que estamos utilizando se comportan de la misma manera que el sensor utilizado para la detección del elemento móvil en el punto de partida, están colocados de igual manera sobre el riel y a la misma distancia de detección. Por tanto la etapa de acondicionamiento es la mencionada en el punto IV.1.5.1.

IV.1.6.2 ETAPA DE ACOPLAMIENTO PARA LOS SENSORES DEL TIEMPO.

En esta etapa nos referimos al diseño y manufactura de los elementos que servirán para acoplar el sensor al riel de aire.

Al ser todos los mismos sensores, la etapa de acoplamiento es la ya mencionada en el punto IV.1.5.2, la imagen 4.5 muestra la disposición de los sensores en el riel de aire.

Figura 4.5. Esquema que muestra todos los sensores ópticos y su acoplamiento al riel.



IV.1.7 SENSOR PARA LA MEDICIÓN DEL ÁNGULO DE ROTACIÓN.

Una de las variantes más importantes de esta práctica es el poder rotar el riel de aire para realizar mediciones de aceleración en distintas posiciones angulares. Se ha mencionado ya el tipo de mecanismo que realizará la rotación del riel y la dinámica que seguirá éste, pero no hemos hablado de la forma en que vamos a controlar dicho movimiento.

El eje acoplado transversalmente al centro de nuestro riel de aire permitirá el giro de éste, dicho eje nos ayudará a monitorear el desplazamiento angular ya que se adaptará un sensor de posición angular en este punto.

Retomando las opciones que se habían planteado anteriormente, se muestra ahora la tabla 4.4.

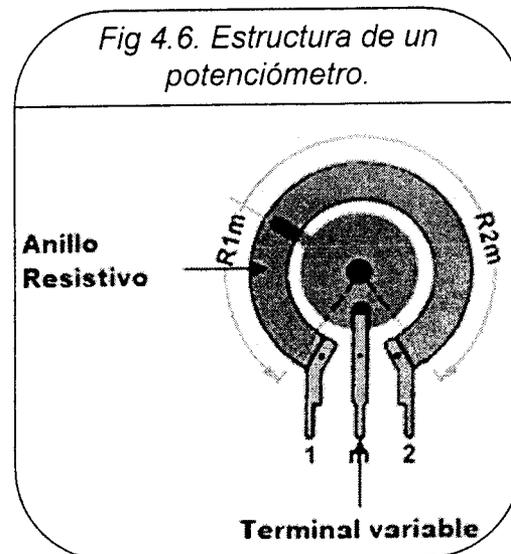
Tabla 4.4. Sensores para el ángulo de rotación.²⁵

Tipo de sensor	Resolución	Robustez mecánica	Estabilidad térmica	Costo
Potenciómetro precisión	Regular	Regular	Mala	Bajo
Encoders	Buena	Regular	Buena	Medio
Sincros y Resolutores	Buena	Buena	Regular	Alto

Los tres tipos de sensores considerados son buenas opciones y todos ellos son capaces de medir la variación que tendremos en el ángulo de rotación del riel. Entonces, nuestra decisión se basó principalmente en el costo de ellos, y el que resulta tener el costo más bajo es el potenciómetro de precisión. Aún cuando es el elemento que tiene la resolución más pobre de los tres, puede cumplir satisfactoriamente con la resolución requerida por el desplazamiento angular que tendremos, con la ayuda de un sistema de engranes que amplifique la lectura del potenciómetro.

IV.1.7.1 POTENCIÓMETRO DE PRECISIÓN.

El potenciómetro de precisión es el sensor electromecánico más simple y fácil de manipular, convierte una señal mecánica en una señal eléctrica. La entrada al dispositivo es un desplazamiento mecánico rotacional, el cual consta de tres terminales, dos fijas y una variable, entre las terminales fijas está conectado un alambre conductor o un material plástico conductor o película conductora que presenta resistencia eléctrica, conocido como anillo resistivo, tal y como se muestra en la Fig. 4.6.



Los potenciómetros rotatorios están disponibles en presentaciones de una o varias revoluciones. El potenciómetro de una vuelta (monovuelta) experimenta un intervalo completo de variación en la resistencia en poco menos de una vuelta completa, por lo general 350° en su terminal variable. Tal dispositivo puede ser de rotación continua, en el sentido mecánico, o bien pueden contar con topes internos que limiten el desplazamiento mecánico.

El potenciómetro utilizado fue el 6187R10K que cuenta con las siguientes características:

- No de vueltas: 1
- Rotación: sin tope
- Rango de resistencia: 10k
- Tolerancia estándar: 10%
- Entrada de voltaje máximo: 400 VCD
- Resolución: esencialmente infinita
- Temperatura de operación: estático de -65° a 125° C
dinámico de -40° a 125° C
- Vida de rotación: 5000 revoluciones completas

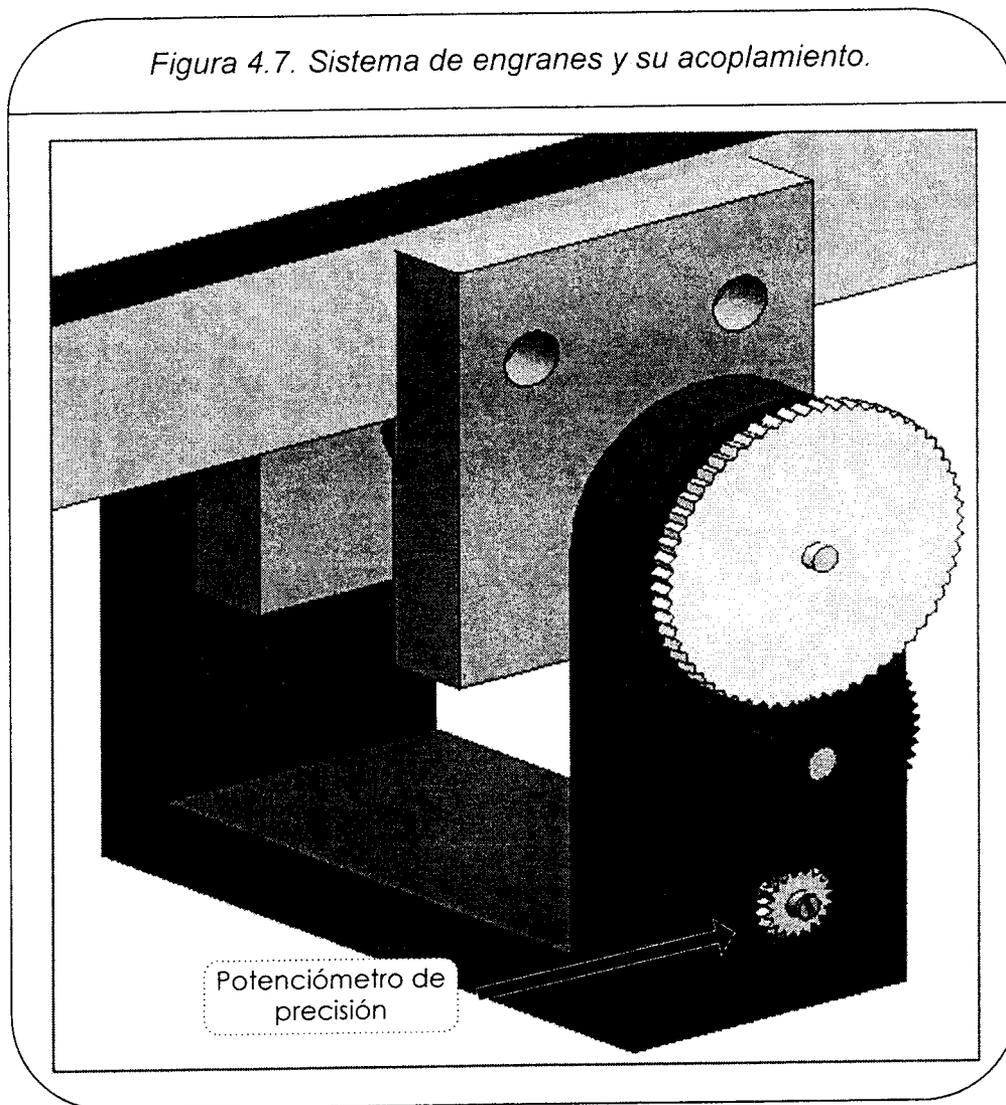
IV.1.7.2 ETAPA DE ACONDICIONAMIENTO PARA EL POTENCIÓMETRO.

La resistencia eléctrica entre los extremos del anillo es proporcional al desplazamiento rotacional del eje del potenciómetro, así entonces si aplicamos un voltaje entre los extremos del resistor éste varía en relación directa con la posición angular del eje y este voltaje se puede ingresar a un convertidor analógico-digital. Es necesario acondicionar la señal del potenciómetro con un circuito seguidor y un amplificador operacional con el afán de obtener una entrada con mayor rango al convertidor A/D. Teniendo esto, podemos conocer la posición del riel en todo momento, más adelante se verá qué elemento será el encargado de controlar y monitorear dicho movimiento.

IV.1.7.3 ETAPA DE ACOPLAMIENTO PARA EL POTENCIÓMETRO.

Las posiciones del riel de aire van de -1° a 5° , esto significa que el riel rota centésimas de grado, lo cual es casi imperceptible para el potenciómetro, es por eso que se diseñó un arreglo de engranes que nos permitiera amplificar la lectura del potenciómetro. Dicho arreglo se acopló al eje de rotación y se obtuvo el resultado deseado, ver figura 4.7. Con esto los valores arrojados por el potenciómetro pueden ser fácilmente leídos por el convertidor A/D.

Figura 4.7. Sistema de engranes y su acoplamiento.



IV.2 CARACTERÍSTICAS DE LOS ACTUADORES.

IV.2.1 INTRODUCCIÓN.

Los actuadores son los encargados de dar movimiento a los elementos del sistema según las órdenes dadas por la unidad de control. Los actuadores se clasifican en tres grandes grupos, según la energía que utilizan:

- *Neumáticos*: utilizan el aire comprimido como fuente de energía y son muy indicados en el control de movimientos rápidos, pero de precisión limitada.³¹

- *Hidráulicos*: recomendables en los manipuladores que tienen una gran capacidad de carga, junto a una precisa regulación de velocidad.³¹
- *Eléctricos*: son los más utilizados, por su fácil y preciso control, así como por las propiedades ventajosas que establecen su funcionamiento como consecuencia del empleo de la energía eléctrica.³¹

Las características a considerar para estos actuadores son, entre otras:

- Potencia.
- Controlabilidad.
- Peso y volumen.
- Precisión.
- Velocidad.
- Mantenimiento.
- Costo.

A continuación se presentan los diferentes actuadores que se utilizaron para el control de las variables necesarias. Primero se presentan las distintas opciones consideradas (si es que las hay) y la justificación de la elección hecha, después se explica básicamente el principio de funcionamiento y se dan ciertas características enfocadas a este proyecto en particular.

IV.2.2 MOTOR QUE IMPULSARÁ AL MECANISMO LEVA LINEAL.

Antes que nada cabe mencionar que únicamente se utilizarán actuadores de tipo eléctrico por la razón principal de que cualquier otra fuente de energía, neumática o hidráulica, conllevaría la forzada instalación de dichos sistemas en el laboratorio, lo cual elevaría enormemente el costo del proyecto. Por estas razones, dichos actuadores no fueron tomados en cuenta en el proceso de elección.

Un motor eléctrico es una máquina que convierte energía eléctrica en energía mecánica. Actualmente, millones de motores son usados por nuestra sociedad debido a su facilidad de control.³ Todos los motores eléctricos tienen dos componentes básicos, un rotor y un estator. El rotor, que en muchos casos comprende partes móviles, contiene conductores que producen y forman un campo magnético que interactúa con el campo magnético generado por el estator. Los motores pueden ser clasificados, en general, como motores de corriente alterna, motores de corriente continua: motor de rotación continua y motores a pasos. A continuación describiremos sus características más relevantes.

- **Motor de rotación continua.** Las velocidades de rotación que se consiguen con estos motores son del orden de 1000 a 3000 [rpm] con un comportamiento muy lineal y bajas constantes de tiempo. Para modificar su velocidad podemos variar su tensión de alimentación con lo que el motor perderá velocidad y torque. Las potencias que pueden manejar pueden llegar a los 10 Kw. La mayoría de estos motores son de tamaño pequeño y mediano y de bajo costo.
- **Motores Paso a Paso.** Los motores paso a paso, como lo indica su nombre, avanzan girando por pequeños pasos. Difieren de los motores de rotación continua en la relación entre velocidad y torque. Los motores paso a paso trabajan de manera opuesta, es decir a mayor capacidad de torque menor es la velocidad a la que girará. Los motores paso a paso tienen una característica adicional: el torque de detención hace que un motor paso a paso se mantenga firmemente en su posición cuando no está girando. Esta característica es muy útil cuando el motor deja de moverse y, mientras está detenido, la fuerza de carga permanece aplicada a su eje. Existen una gran variedad en la actualidad, hay de diversos tamaños pero en general no son robustos y su costo es más alto que los motores de rotación continua.
- **Motor de corriente alterna.** Funcionan con corriente alterna, y se dividen en dos grandes grupos: asíncronos y síncronos. En los motores eléctricos asíncronos el inductor es el estator y el inducido es el rotor. Son motores de simple construcción, con poco mantenimiento, manejan velocidades muy altas y una característica que marca la diferencia con los motores de corriente directa es que éstos son muy robustos y tienen un costo muy elevado.

IV.2.2.1 MOTOR DE ROTACIÓN CONTINUA PARA EL MECANISMO LEVA LINEAL.

En base a las características mencionadas de cada uno de estos motores se ha decidido utilizar un motor de rotación continua debido a lo siguiente:

- Facilidad en el control.
- Velocidad alta del orden de 1000 a 3000 [rpm], (nuestro sistema requiere al menos 920 rpm, según lo visto en el capítulo III).
- Debido a la configuración del mecanismo leva lineal, no se requiere un par de detención en el motor.
- Tamaño factible para el sistema.

Una vez tomada la decisión de utilizar un motor de rotación continua el siguiente paso es obtener los valores del torque y de la potencia ideales que requiere nuestro mecanismo.

Memoria de cálculo:

$$T = W \cdot r_m ((\cos \phi \cdot \operatorname{tg} \lambda + f) / (\cos \phi - f \cdot \operatorname{tg} \lambda)) \dots \dots \dots (4.1)$$

donde:

- T= torque del motor
- W= trabajo
- ϕ = ángulo de presión
- r_m = radio medio del tornillo
- f = coeficiente de rozamiento
- λ = ángulo de avance

$$\lambda = \arctg (A / (2\pi \cdot r_m)) \dots \dots \dots (4.2)$$

donde:

A= avance

por ser una rosca simple el avance = paso, entonces tenemos que:

$$\lambda = \arctg (P_a / (2\pi \cdot r_m)) \dots \dots \dots (4.3)$$

donde:

P_a = Paso

sustituyendo los valores obtenidos en el capítulo 3:

- $P_a = 0.1954$ [cm]
- $D_m = 1.5875$ [cm]
- $r_m = 0.79375$ [cm]
- $\phi = 60^\circ$
- W = 1 [kg]
- n = 920 [rpm]
- f = .125

sustituyendo los valores en la ec. (4.3):

$$\operatorname{tg} \lambda = 0.03918 \text{ [1/rad]}$$

y sustituyendo en la ec. (4.1) obtenemos que el par es:

$$T = 0.1465 \text{ [kg} \cdot \text{cm]}$$

Para conocer la potencia utilizamos la siguiente ecuación:

$$\text{Pot} = T \cdot n / 71620 \text{ [CV]} \dots\dots\dots(4.4)$$

donde:

n= vel. angular [rpm]

T= torque [kg·cm]

Sustituyendo los valores ya mencionados en la ecuación (4.4) tenemos que:

$$\text{Pot} = .00188 \text{ [CV]} \dots\dots\dots(4.5)$$

Y sabiendo que 1[CV] = .9862 [HP] tenemos que:

$$\text{Pot} = .00186 \text{ [HP]}$$

Una vez teniendo esto, seguiría obtener un motor con tales valores de torque y potencia. Sin embargo, dado que el costo de un motor con dichos parámetros exactos es muy elevado y difícil de conseguir, se optó por utilizar un motor con las siguientes características:

Velocidad: 2900 [rpm]
Torque: 1.1 [kg·cm]
Voltaje: 90 [V]

¿Cómo es que este motor nos puede servir? Un motor de rotación continua tiene la característica de que el voltaje y la velocidad varían casi de forma lineal, entonces si dicho motor de 2900 rpm se alimenta a una tercera parte de su voltaje total, es decir, con 30 Volts obtenemos una velocidad muy aproximada al valor ideal calculado (920 rpm).

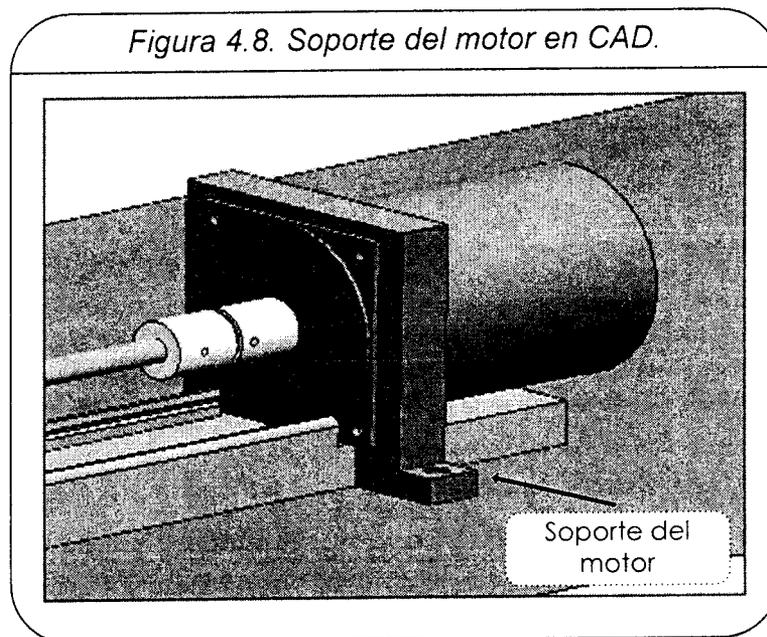
Así entonces el motor de rotación continua adquirido cumple de forma satisfactoria con los requerimientos del mecanismo leva lineal, ahora se describirá su etapa de acondicionamiento y su etapa de acoplamiento al sistema.

IV.2.2.2 ETAPA DE POTENCIA.

Todos los actuadores requieren de una etapa de potencia, este motor no es la excepción y el dispositivo que se utilizará para brindar dicha etapa es un Puente H L293D. En el capítulo de electrónica y control se mostrará más a detalle este circuito.

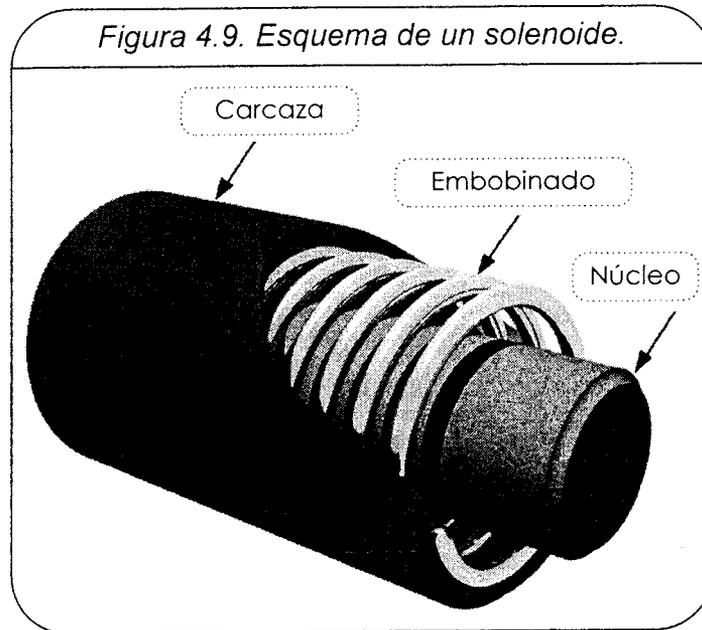
IV.2.2.3 ETAPA DE ACOPLAMIENTO.

El motor es un dispositivo que por naturaleza emite vibraciones, estas vibraciones pueden causar a la larga un desajuste del acoplamiento del motor al sistema. Es por esta causa que se diseñó un soporte para el motor. Nuevamente se utilizaron los programas de CAD y de CAM mencionados anteriormente. La geometría diseñada fue la mostrada en la fig. 4.8.

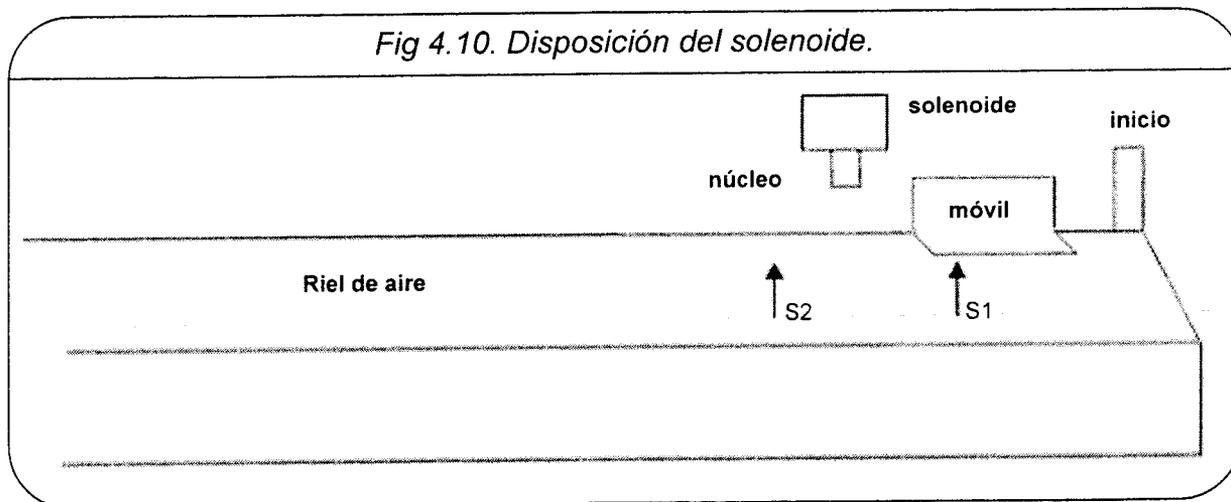


IV.2.3 ELEMENTO PARA LA SUJECIÓN DEL ELEMENTO MÓVIL (SOLENOIDE).

El solenoide es un actuador que funciona en base a magnetismo; lo necesario para ponerlo en marcha es enviar corriente positiva a una terminal del solenoide, éste se magnetiza; y como consecuencia, atrae un núcleo deslizante. Físicamente el solenoide es un hilo metálico enrollado sobre un cilindro, que cuando es recorrido por una corriente eléctrica, crea un campo magnético comparable al de un imán recto.



El solenoide es el actuador encargado de mantener el elemento móvil en el punto de partida del riel de aire ya mencionado anteriormente. La función de éste es permitir o no el paso del elemento móvil, esta acción la lleva a cabo el núcleo del solenoide al activarse y desactivarse. Ver figura 4.10.



Los solenoides se clasifican básicamente en dos: los de corriente continua y los de corriente alterna. En cualquiera de éstos dos existen por supuesto una gran gama en cuanto a tamaños y voltajes de alimentación.

Para su correcto funcionamiento en este proyecto los requerimientos para elegir el solenoide fueron los siguientes:

- El tamaño del solenoide debe ser pequeño para un fácil acoplamiento al riel.
- Se debe alimentar con voltaje CD (el más bajo posible).

IV.2.3.1 ETAPA DE POTENCIA DEL SOLENOIDE.

El componente a utilizar que nos dará la potencia necesaria para el correcto funcionamiento del solenoide será un transistor TIP 31 que se recomienda para aplicaciones de switcheo de elementos de mediana potencia, es decir, dicho transistor dará lugar al encendido y apagado del solenoide cuando reciba una pequeña señal de corriente del controlador utilizado. (La configuración de este circuito se presentará en el siguiente capítulo).

IV.2.3.2 ETAPA DE ACOPLAMIENTO PARA EL SOLENOIDE.

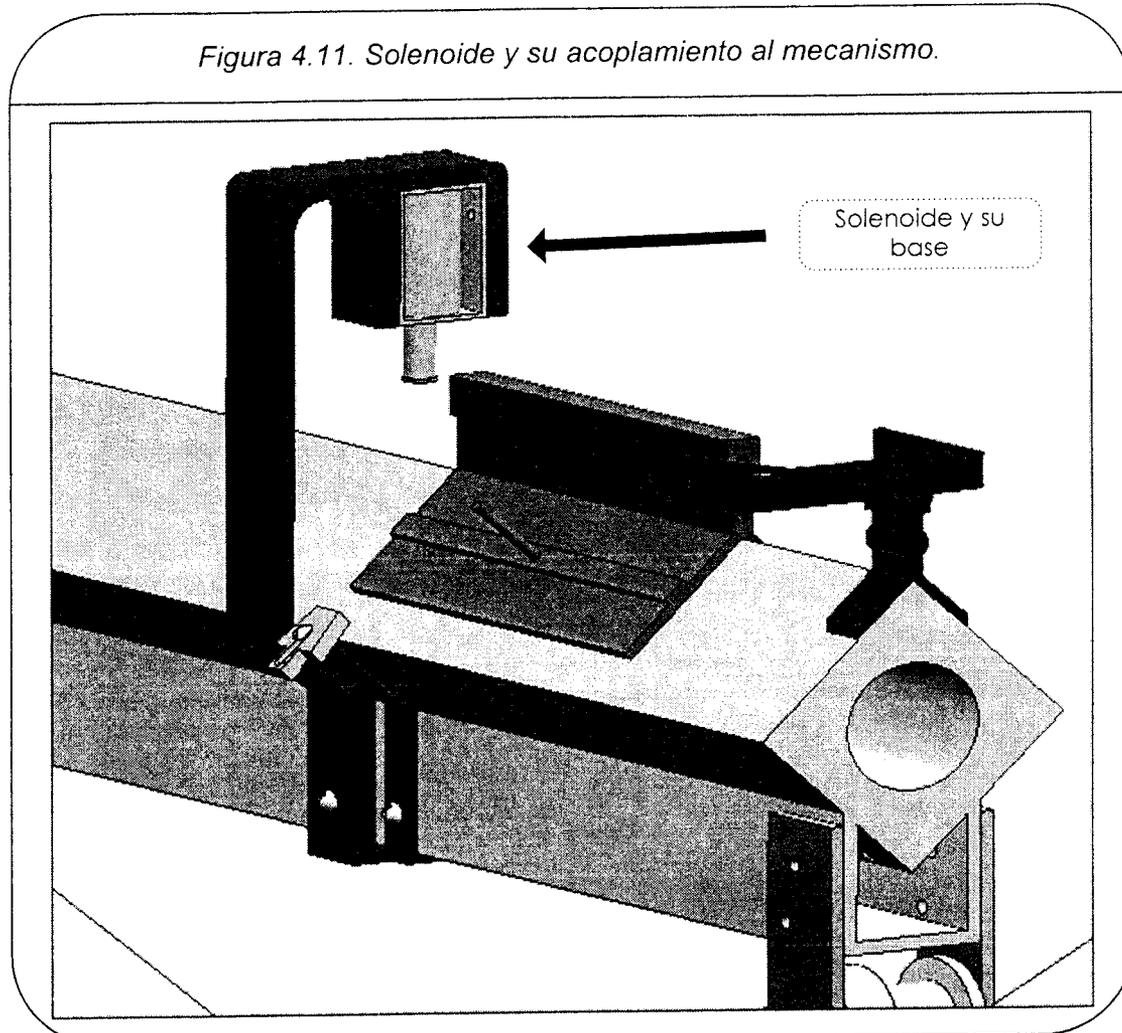
Para acoplar el solenoide al riel de aire se tomó en cuenta lo siguiente:

- El solenoide deberá estar centrado sobre el riel para que el núcleo de éste, al liberarse permita o no el paso del elemento móvil.
- La base del solenoide debe ser ligera para no aumentar más peso al mecanismo, pero a la vez debe ser capaz de aguantar los pequeños golpes proporcionados por el elemento móvil.
- La base del solenoide debe de ser estética y permitir la visibilidad del elemento móvil en todo momento.

Bajo estas especificaciones lo más adecuado fue hacer el diseño de la base del solenoide, de la misma manera como se diseñaron las bases de los sensores y el soporte del motor. Es así como se llevó a cabo un diseño particular en los laboratorios de Manufactura Avanzada de la Facultad de Ingeniería.

En la figura 4.11 se muestra como se veía dicha pieza ya acoplada al solenoide y al riel. Podemos observar cómo la base del solenoide se diseñó de tal forma que "abrazara" al riel de aire y así proporcionarle la estabilidad requerida. Vemos también que en el diseño de la base queda un lado libre de material, así no existirá forma alguna de que el usuario pierda visibilidad del elemento móvil en ningún momento.

Figura 4.11. Solenoide y su acoplamiento al mecanismo.



IV.2.4 COMPRESORA.

La compresora mostrada en la figura 4.13 es la encargada de proporcionar el aire al riel para que el elemento móvil pueda tener un deslizamiento sin fricción. A diferencia de los demás actuadores, la compresora es un elemento que ya se encontraba dentro del material proporcionado al usuario para llevar a cabo la práctica de laboratorio.

Entonces, lo único que hacía falta era diseñar un circuito electrónico para poder controlar el encendido y apagado de la compresora desde la computadora.

El encendido de la compresora se llevará a cabo una vez que el riel esté en la posición angular adecuada y se apagará automáticamente cuando todas las lecturas de los sensores hayan sido tomadas.

Después se prenderá de nuevo para que el elemento móvil pueda regresar a su posición de reposo. Una vez ahí se apagará nuevamente.

Reiteramos la necesidad de una etapa de potencia para poder controlar tales cambios en la compresora, la cual se muestra a continuación.

IV.2.4.1 ETAPA DE POTENCIA DE LA COMPRESORA.

Primero que nada hay que especificar que la compresora funciona con corriente alterna, por lo tanto no se puede utilizar ninguna de las etapas de potencia que se usaron para los actuadores anteriores. Es por esto que se planteó utilizar un circuito que consta principalmente de un optoacoplador (MOC 3020) y un Triac (2N6073). Se recomienda el uso de optoacopladores siempre que se este trabajando con corriente alterna pues estos elementos separan el circuito en dos partes, protegiendo así al mismo. Los optoacopladores están diseñados para controlar electrónicamente cargas de corriente alterna de 115/240 VCA.²²

El pulso de voltaje que se le mandará al optoacoplador será provisto por una salida digital del controlador que se vaya a utilizar. Después de esto el Triac es el encargado de proporcionar la potencia necesaria para que la compresora pueda encender.

Fig. 4.12. Etapa de potencia de la compresora.

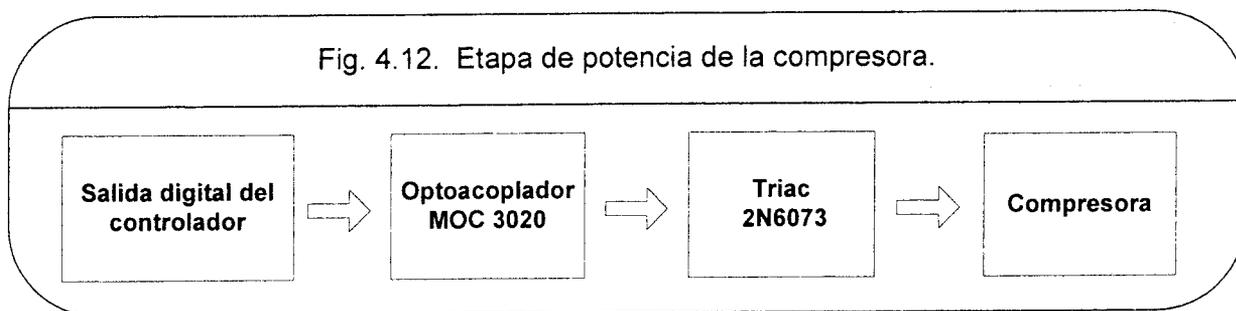
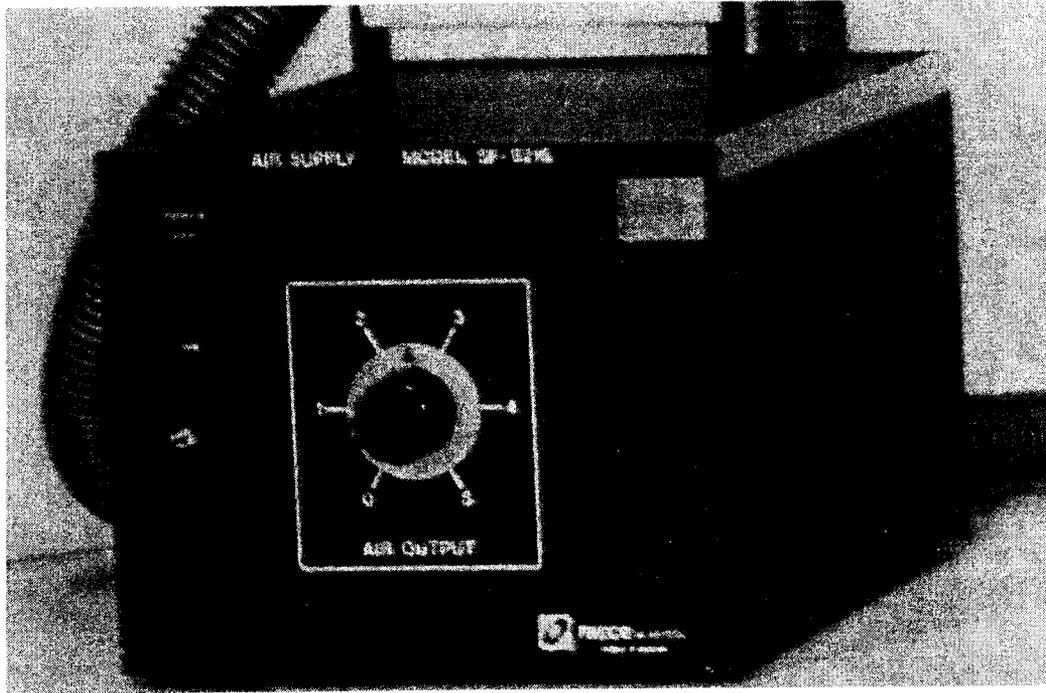


Figura 4.13. Fotografía de la compresora.



CAPÍTULO V. ELECTRÓNICA Y CONTROL.

V.1 REQUERIMIENTOS SOBRE EL CONTROL.

Una vez que se ha diseñado y construido el mecanismo y la instrumentación necesaria, se tienen que definir una serie de parámetros que nos ayudarán a elegir el tipo de control a utilizar. Dichos parámetros se muestran a continuación:

- **Entradas.** El sistema de control debe ser capaz de leer entradas analógicas y digitales. Se tendrán que leer y procesar 8 entradas digitales, 6 de ellas provenientes de los sensores fotoeléctricos que se utilizan para detectar la presencia del elemento móvil, y las dos sobrantes son las que provienen de los switches electro-mecánicos que limitan el movimiento de la leva lineal. Además, el sistema de control elegido debe contar con una entrada analógica proveniente del potenciómetro de precisión que se encuentra acoplado a la flecha que permite el movimiento angular del riel.
- **Salidas.** Todos los actuadores deberán recibir señales ON/OFF provenientes de salidas digitales proporcionadas por el controlador. El controlador deberá tener por lo menos una salida generadora de PWM (modulación de ancho de pulso), para controlar la velocidad a la que se girará el motor.
- **Memoria.** Una cantidad estimada de la memoria que usará el programa de control es de 3 a 8 kb.
- **ADC.** Se necesitará un módulo de conversión analógica-digital para convertir la señal de entrada del potenciómetro en un valor binario entre 1 y 255, y así poder procesarla.
- **Módulo de comunicación.** De acuerdo a las especificaciones de este proyecto se necesita que exista comunicación serial entre la computadora que actuará como el servidor y el dispositivo a controlar. Es por esto que se requiere de un módulo de comunicación UART (Unidad de Recepción y Transmisión Asíncrona).
- **Herramientas de desarrollo y documentación disponible.**
- **Costo.**

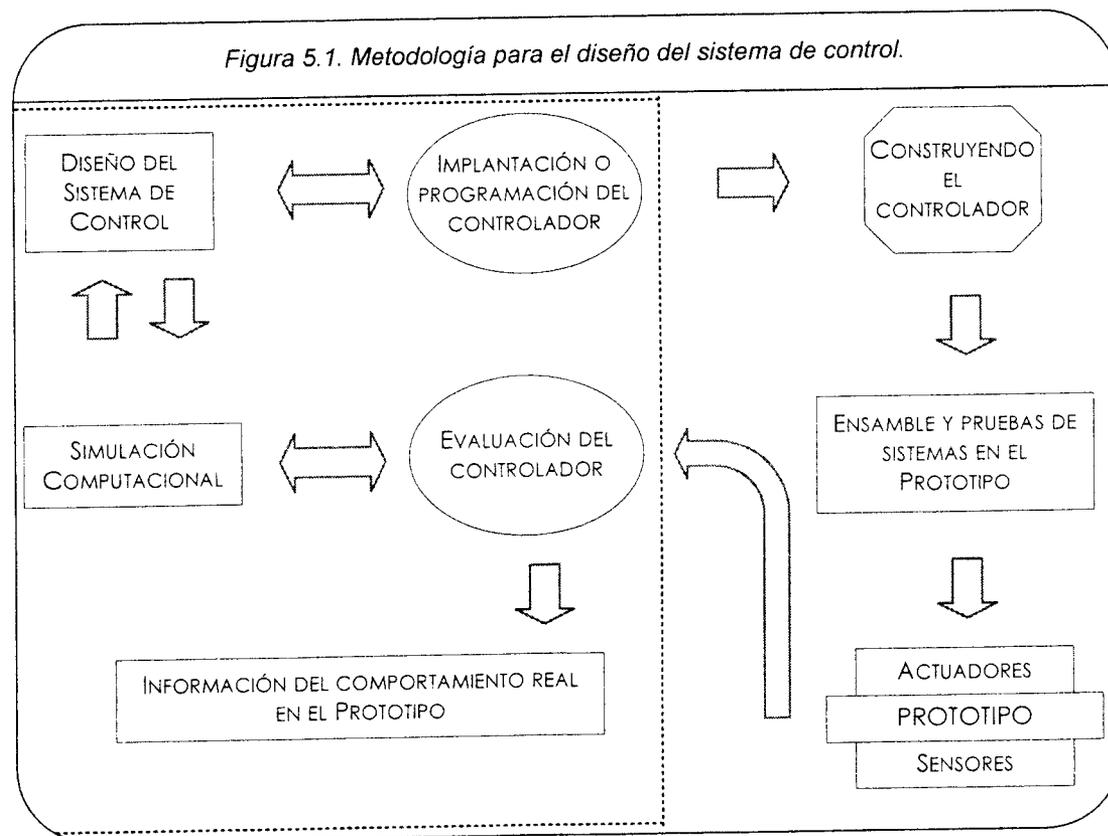
V.2 METODOLOGÍA DE DISEÑO PARA EL SISTEMA DE CONTROL.

Como se mencionó en el capítulo III, siempre es de suma importancia seguir una metodología de diseño. En este caso utilizaremos el mismo concepto de ingeniería concurrente para plantear una metodología para el diseño del sistema de control, en la cual nos basaremos para la obtención de mejores resultados.

En la figura 5.1 podemos ver que el diseño del sistema de control empieza con la implantación y programación del controlador, esto se dará obviamente en base a los requerimientos presentados con anterioridad, para lo cual primeramente se tiene que elegir el controlador a utilizar, lo cual se presenta en las páginas posteriores. Seguido a esto, viene la etapa de construcción donde presentaremos las distintas tarjetas electrónicas diseñadas para este proyecto.

De ahí, saltamos a la etapa de ensamble, que se refiere a las conexiones físicas por donde se transmitirá la información y las señales eléctricas, y con esto listo, se realizarán las pruebas pertinentes en el prototipo presentado e instrumentado anteriormente.

Por último viene el módulo de evaluación donde se criticará al sistema y se presentarán mejoras que puedan realizarsele.



V.3 ELECCIÓN DEL CONTROLADOR.

Partiendo de los requerimientos anteriores se propuso la utilización de un microcontrolador, pues son elementos que en general cuentan con dichas características y son mucho más manejables y económicos que otros dispositivos útiles, tales como: PLC's, PAC's, Tarjetas de adquisición de datos, etc.

Se plantearon tres opciones de microcontroladores de los más conocidos y completos que existen en el mercado: uno de la familia Motorola, otro de Microchip y por último uno de National Semiconductor.

Tabla 5.1. Tabla comparativa de los microcontroladores motorota, microchip y national semiconductor.

	Motorola ⁷ (HC08AW)	Microchip ⁶ (PIC16F87X)	National Semiconductor ²² (COP8CB)
Módulo de comunicación serial	Sí	Sí	Sí
Convertidor analógico/digital	Sí	Sí	Sí
Entradas/salidas	44	33	38
Módulo PWM	Sí	Sí	Sí
Watch dog timer	Sí	Sí	Sí
Fuentes de interrupción	32	14	16
Memoria de programa	16kb	8kb	32kb
Frecuencia de trabajo	40 MHz	20 MHz	20 MHz

La tabla nos muestra que los tres microcontroladores propuestos cumplen con los requerimientos del proyecto. El único punto en el que uno sobresale por encima de los otros dos es en las herramientas de desarrollo y documentación disponible, nos referimos al microcontrolador PIC de la familia Microchip, y no es que no exista información de los otros dos o sea difícil de conseguir, es simplemente que como estudiantes de Mecatrónica de la Facultad de Ingeniería cursamos materias en las cuales aprendimos a programar microcontroladores de

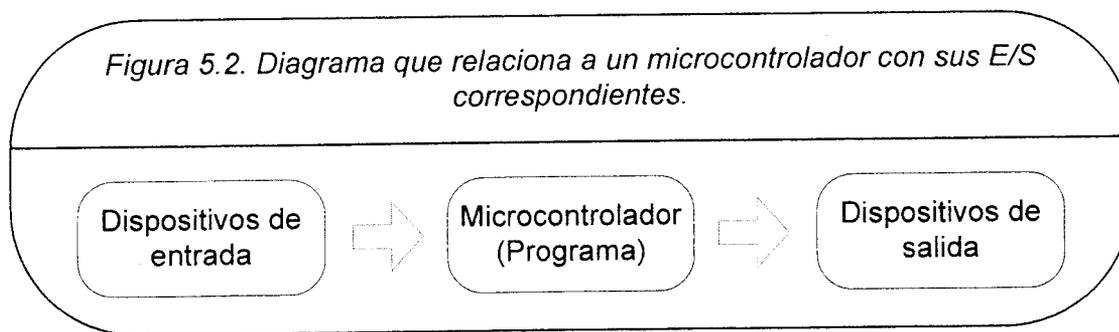
la familia Microchip y contamos ya con todos los recursos necesarios para desarrollar el proyecto.

Es por esto, que aunque los tres microcontroladores puedan cumplir la función requerida, ya se tiene experiencia, recursos e información sobre el PIC, y por esta razón se decidió utilizar dicho microcontrolador para la realización de este proyecto.

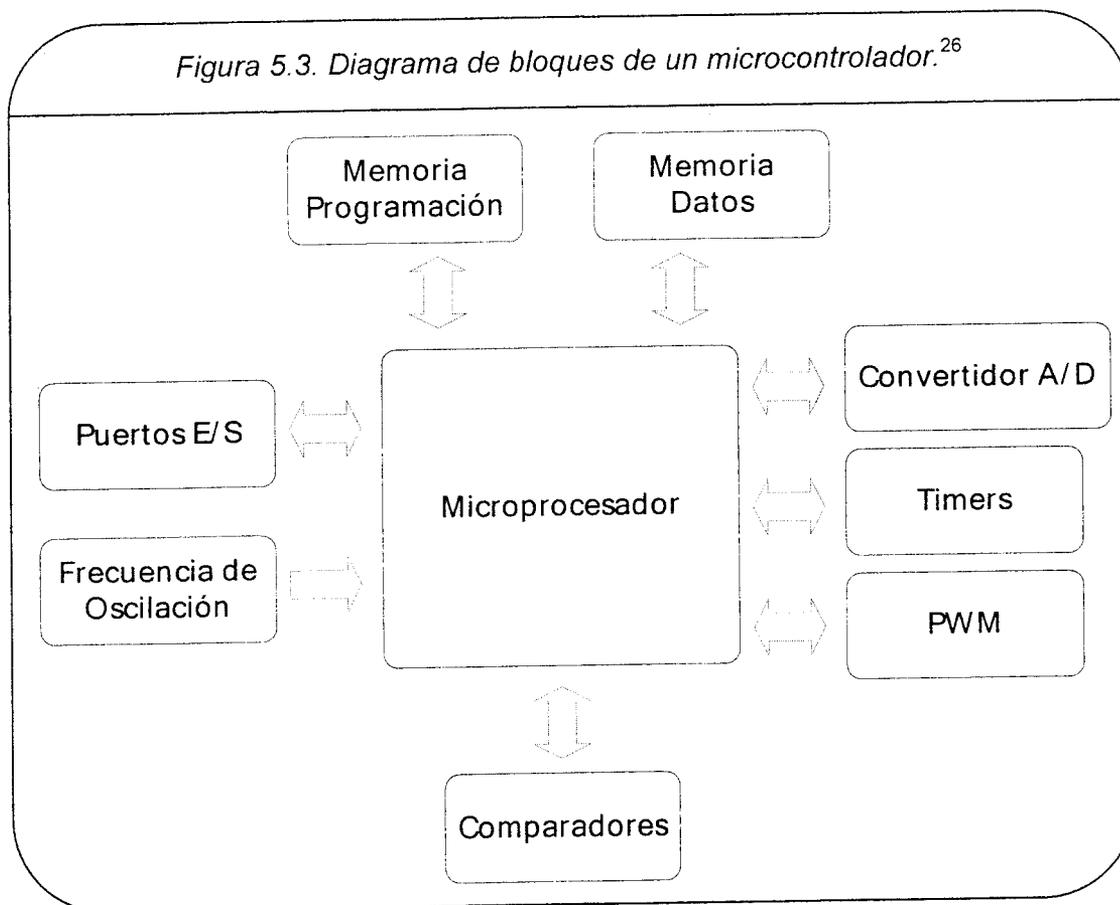
V.4 GENERALIDADES SOBRE EL CONTROL.

V.4.1 INTRODUCCIÓN.

Un microcontrolador es un circuito integrado o chip que incluye en su interior las tres unidades funcionales de un ordenador: CPU, memoria y unidades de E/S, es decir, se trata de un microprocesador optimizado utilizado para controlar equipos de cualquier índole.³⁵



Una representación general de un microcontrolador es la que se muestra en la figura 5.3. En ella se ejemplifica claramente que cuenta con un CPU, memorias ROM y RAM, puertos de E/S, timers, módulos de comparación y captura, etc.

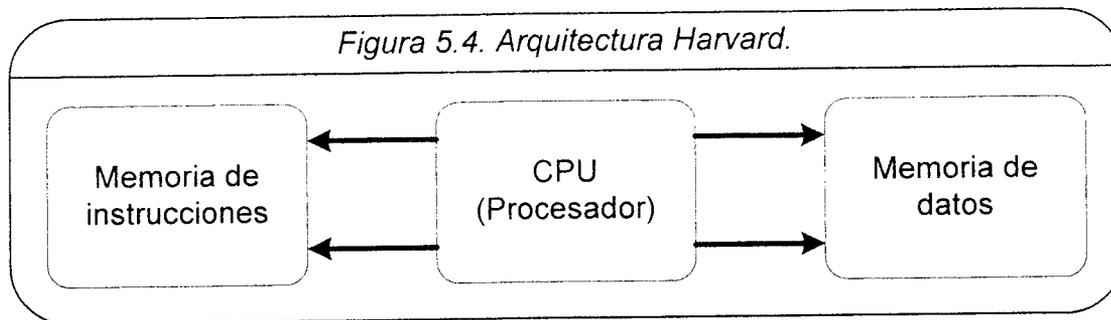


V.4.2 MICROCONTROLADOR PIC (CONTROLADOR DE INTERFASE PERIFÉRICA).

En la actualidad, si comparamos los parámetros fundamentales del PIC con los de otros fabricantes y las aplicaciones para las que usualmente se destinan los microcontroladores, se puede afirmar, según expertos, que en el 90% de los casos el microcontrolador PIC es la mejor solución.³⁴ Puede ser la velocidad, el precio, las herramientas de apoyo, la flexibilidad o la facilidad de uso. Quizá es el conjunto de dichas características lo que produce esa imagen de sencillez y utilidad.

V.4.3 CARACTERÍSTICAS RELEVANTES.

- **Arquitectura del procesador → Modelo Harvard.**
El CPU se conecta de forma independiente y con distintos buses con la memoria de instrucciones y con la de datos, es decir, puede acceder simultáneamente a las dos memorias.³⁴



- **El formato de todas las instrucciones tiene la misma longitud.**
Todos los microcontroladores de la gama baja cuentan con instrucciones de 12 bits, los de la gama media 14 bits y más los de la gama alta. Dicha característica optimiza la memoria de instrucciones y facilita el uso de ensambladores y compiladores.
- **Procesador RISC (Computador de Juego de Instrucciones Reducido).**
Procesador de instrucciones reducidas, se caracteriza por que el número de instrucciones es pequeño y además casi todas se realizan en la misma cantidad de tiempo. Por otro lado posee unidades que trabajan en paralelo conectadas por pipes o tuberías. Los modelos de la gama baja cuentan con 33 instrucciones, 35 los de la gama media y casi 60 los de la gama alta.³⁴
- **Arquitectura basada en un banco de registros.**
Todos los elementos del sistema (puertos de E/S, timers, posiciones de memoria, etc.) están implementados físicamente como registros.
- **Gran diversidad de modelos con prestaciones y recursos diferentes.**
- **Gran diversidad de herramientas de soporte.**

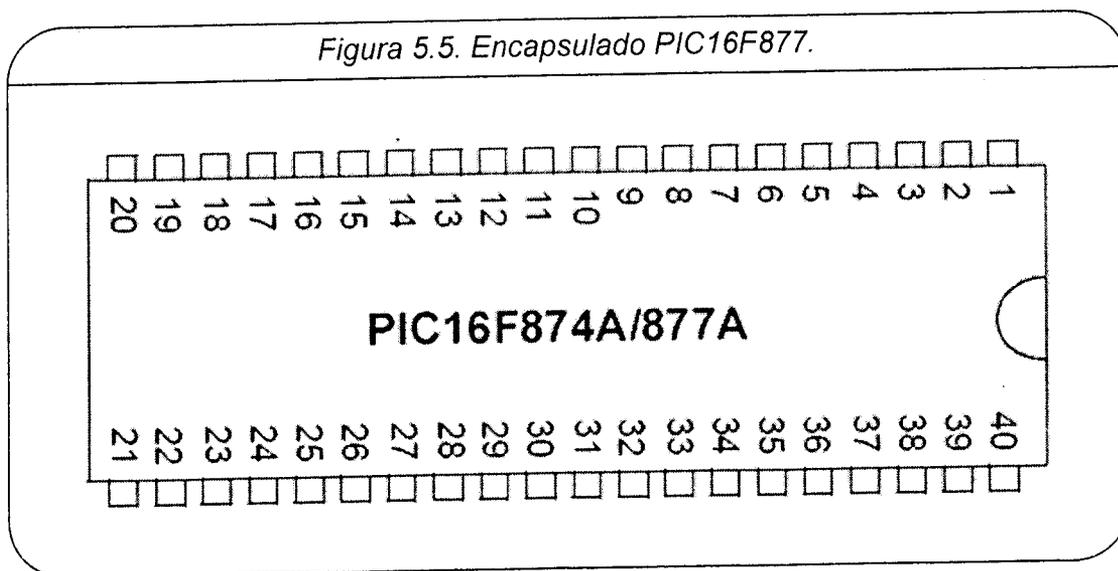
V.4.4 PIC 16F877.

Para el desarrollo de este proyecto se decidió utilizar el microcontrolador PIC16F877 que se encuentra dentro de la gama media de la familia Microchip.⁶ Las características más relevantes de dicho microcontrolador son las siguientes:

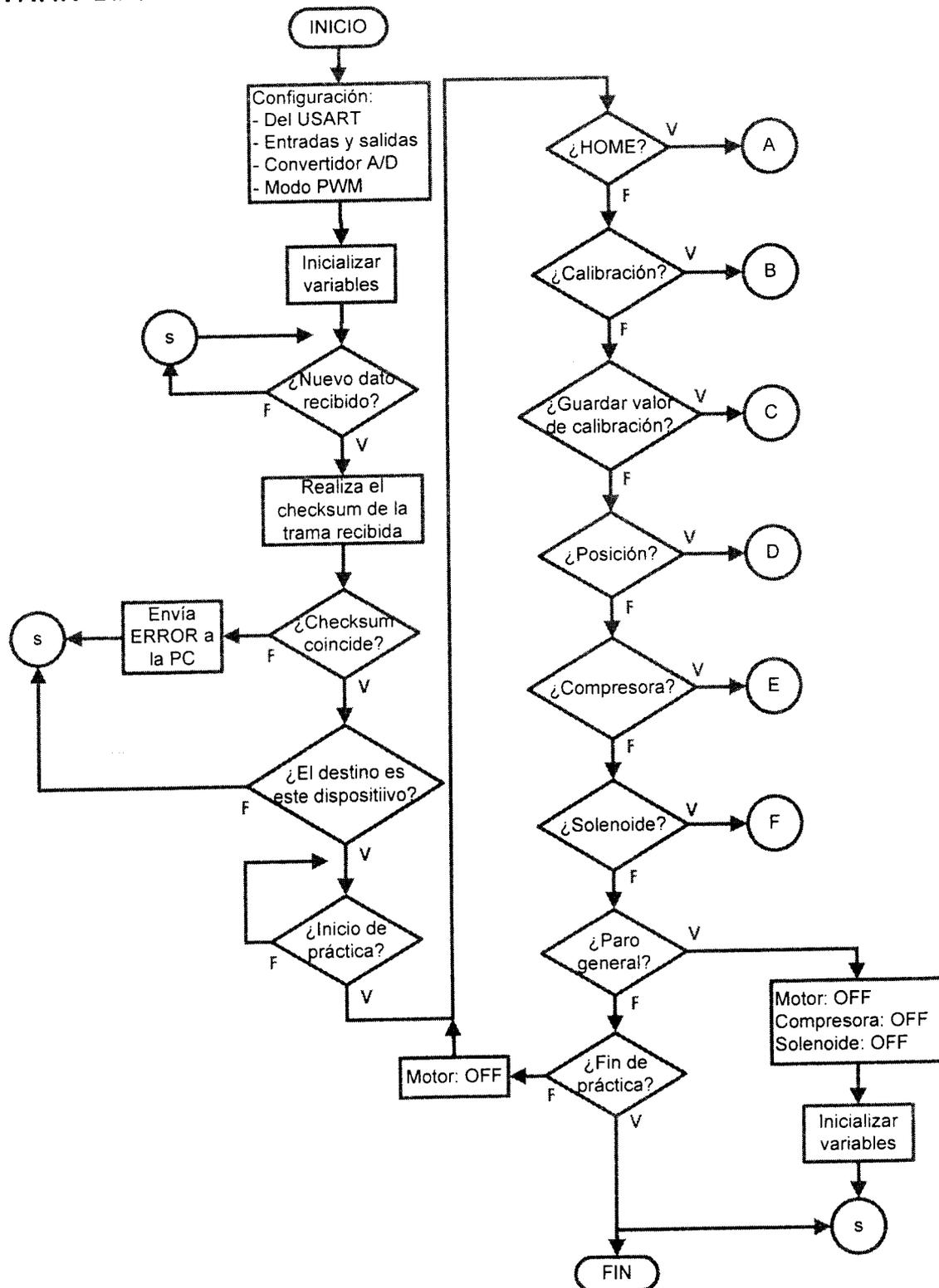
- Procesador de arquitectura RISC avanzada
- Juego de 35 instrucciones con 14 bits de longitud

- Frecuencia de 20 Mhz
- Memoria de programa: - Flash 8 kb
- Memoria de datos: - RAM → 368 bytes
- EEPROM → 256 bytes
- 14 fuentes de interrupción
- 5 puertos de E/S → 33 líneas
- Convertidor A/D → 10 bits
- Timers y contadores
- Módulo CCP (Captura, Comparación, PWM)
- Comunicación: - por bit
- paralela
- serial (UART, USART, SPI, I²C)
- Perro guardián (WDT)
- Código de protección programable
- Modo Sleep para bajo consumo de energía
- Voltaje de alimentación: 2 a 6 Volts

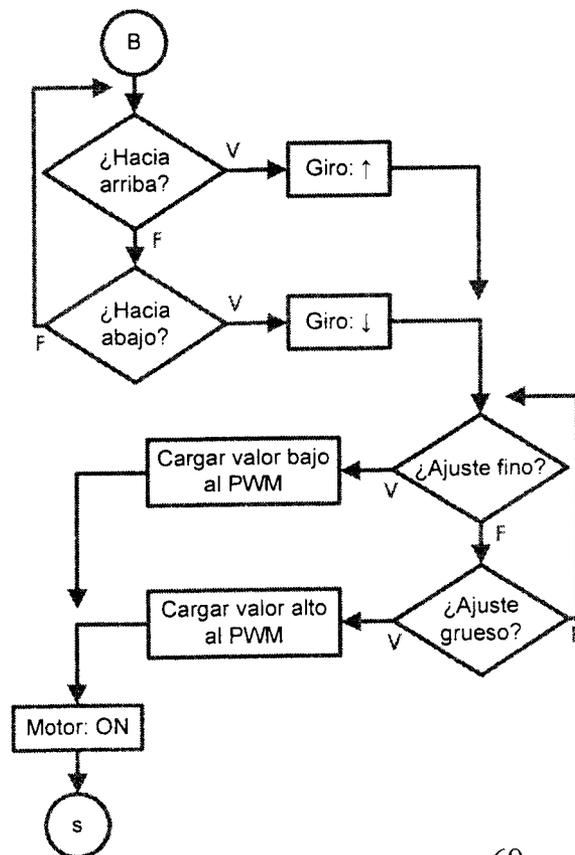
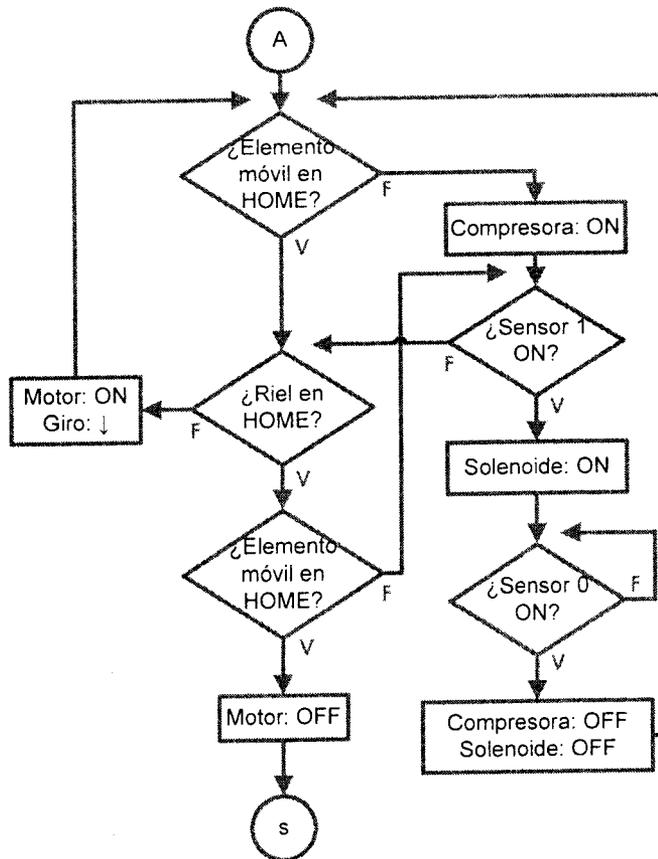
Figura 5.5. Encapsulado PIC16F877.

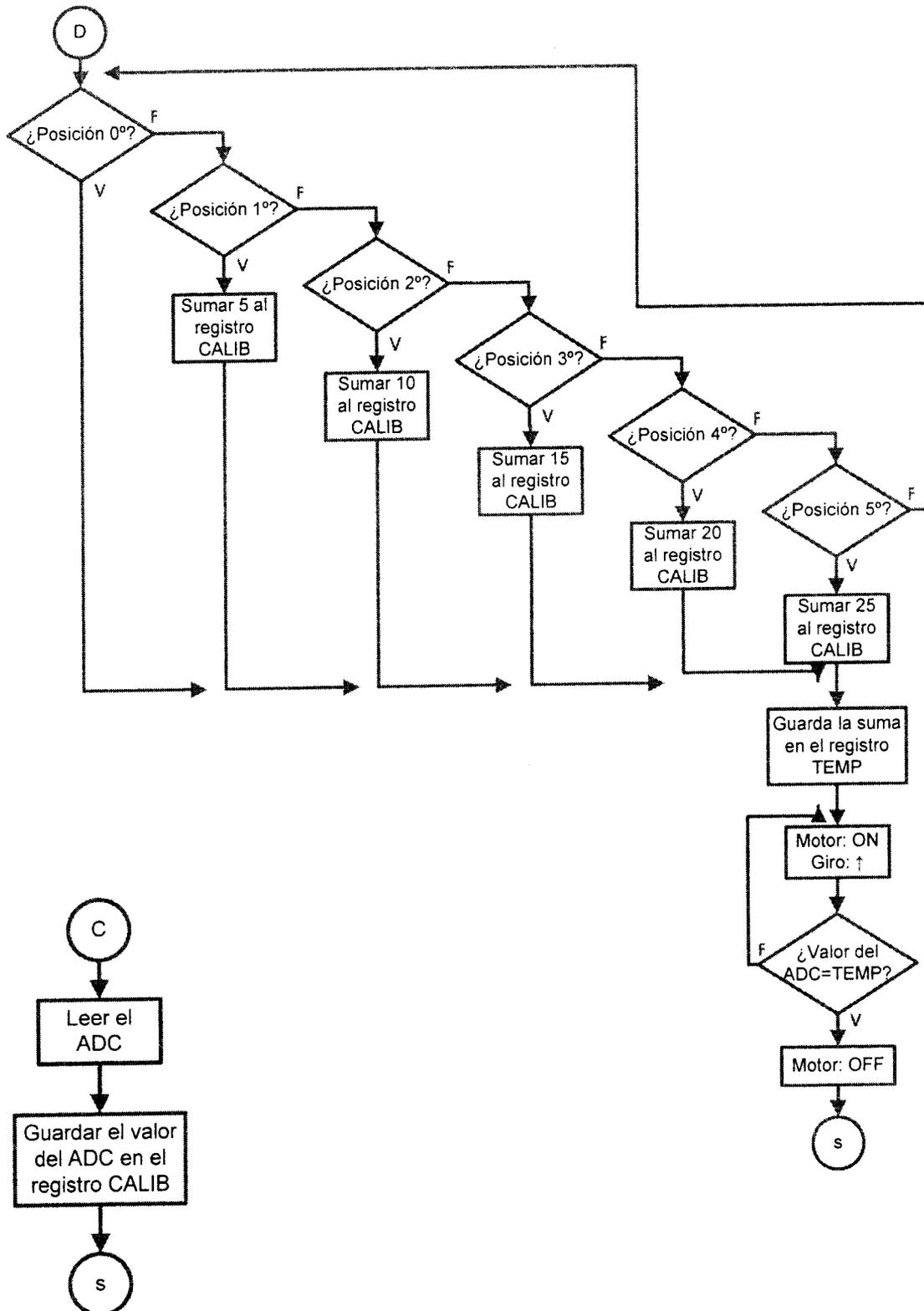


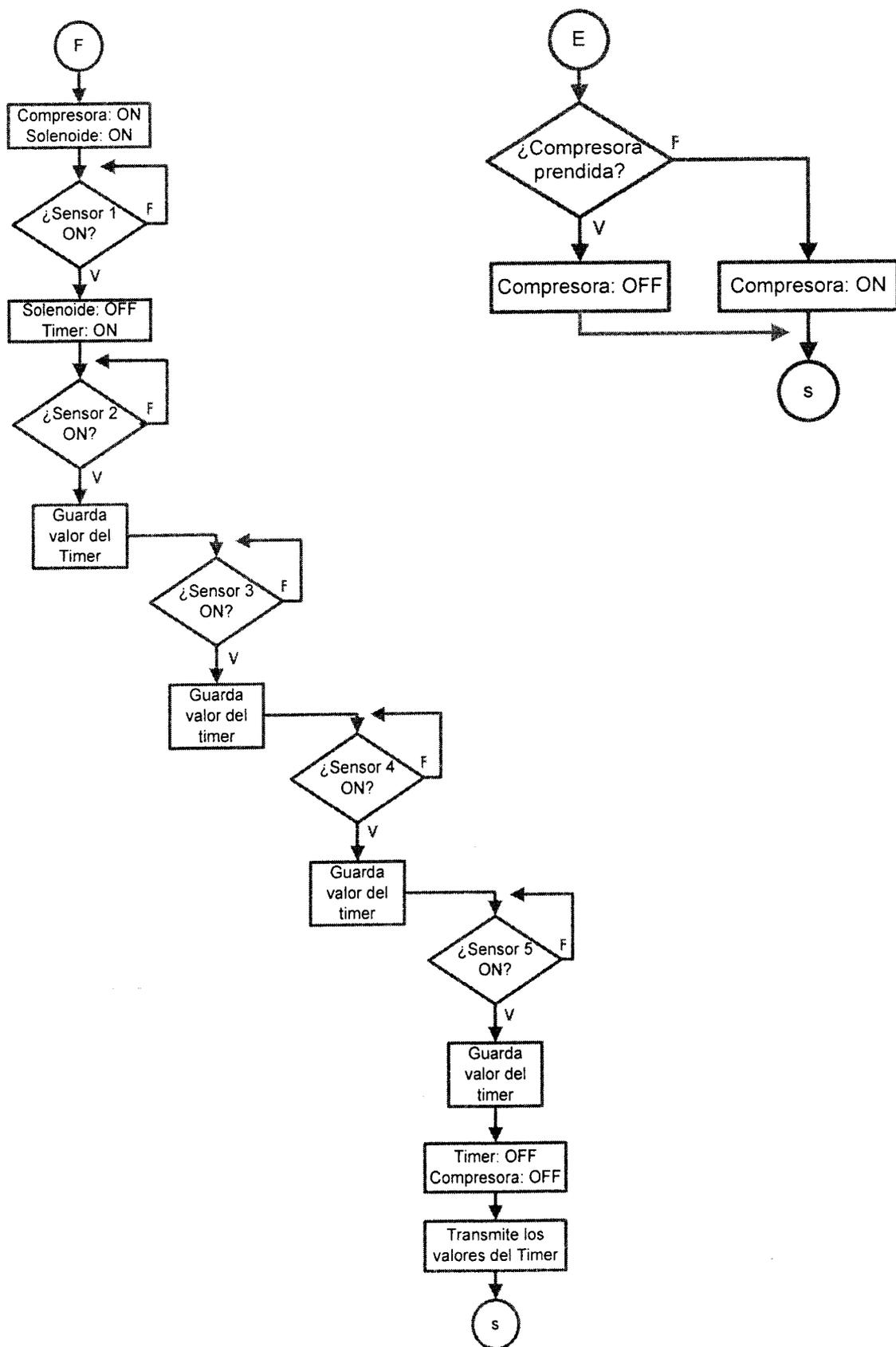
V.4.4.1 DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROGRAMA DEL MICROCONTROLADOR.



Nota: El programa completo en ensamblador puede ser consultado en el apéndice 6 de la tesis.







V.5 TARJETA ELECTRÓNICA DE CONTROL.

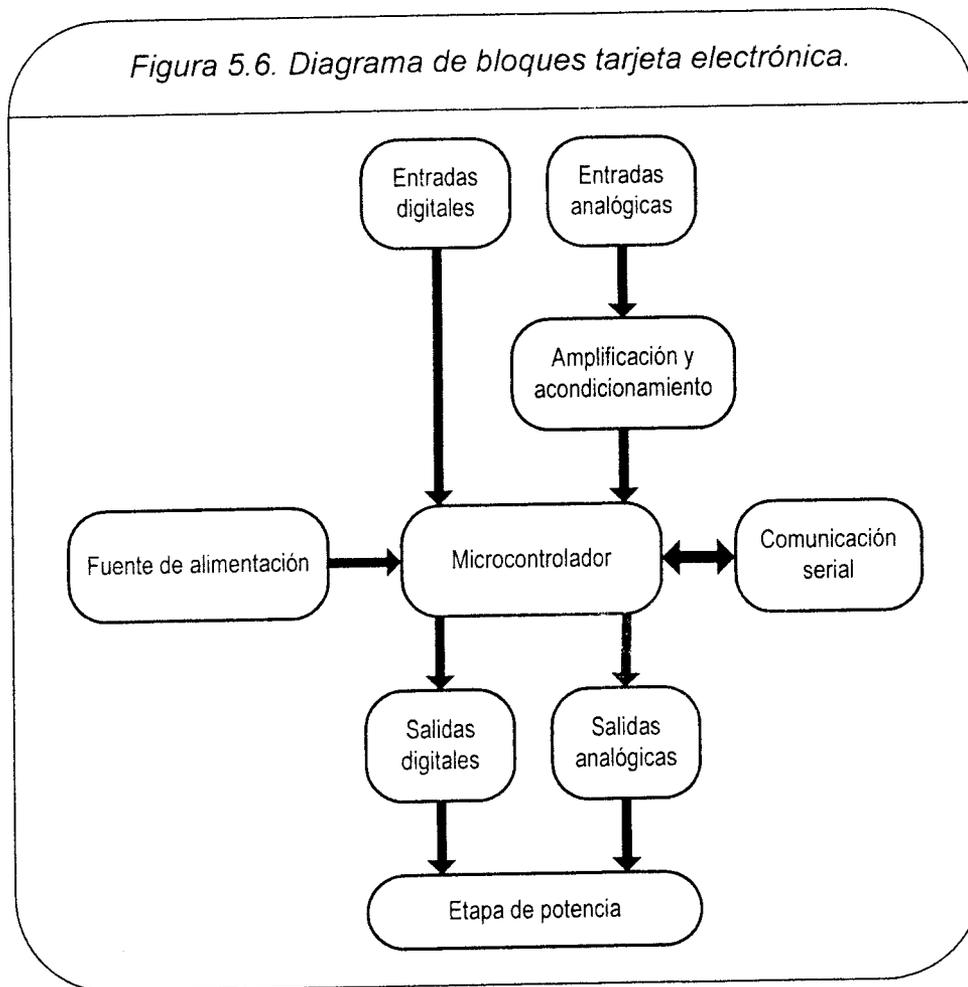
V.5.1 INTRODUCCIÓN.

Para poder realizar por completo la automatización del mecanismo es necesario contar con un sistema de control capaz de llevar a cabo las diferentes tareas especificadas al inicio de este trabajo. Para lograr esto se necesita contar con un dispositivo que cuente con las siguientes características:

- Entradas y salidas digitales.
- Entradas y salidas analógicas.
- Módulo de conversión analógico digital.
- Módulo de comunicación con PC.
- Etapa de potencia para los actuadores.

Partiendo de estas necesidades se diseñó una tarjeta de control capaz de llevar a cabo las distintas tareas antes mencionadas. Cabe mencionar que dicha tarjeta se divide en dos partes principales, la primera de éstas es un diseño del Departamento de Mecatrónica de la Facultad de Ingeniería que tiene como elemento principal un microcontrolador PIC de la marca Microchip. Este microcontrolador es el encargado de toda lógica para controlar el dispositivo y fue programado en lenguaje ensamblador.

La segunda parte de esta tarjeta fue diseñada exclusivamente para este proyecto y cuenta con las etapas de potencia de los distintos actuadores, así como de la etapa de amplificación y acondicionamiento de los sensores. En la figura 5.5 se muestra el diagrama de bloques simplificado de la tarjeta completa.



V.5.2 FUENTE DE ALIMENTACIÓN.

Todo circuito electrónico necesariamente debe contar con algún dispositivo que le proporcione la energía eléctrica suficiente para poder actuar. Todos los actuadores se actúan con corriente directa a excepción de la compresora que se alimenta con 127 Volts de corriente alterna. El motor que impulsa al mecanismo se alimenta con 30 Volts y el solenoide a 16 Volts de corriente directa.

Por otro lado, la tarjeta del microcontrolador debe ser alimentada con un voltaje no mayor a los 9 VDC pero superior a 5. El circuito de enfriamiento que consta principalmente de un ventilador se alimenta con 12 VDC. La otra parte de la tarjeta controladora se alimenta con voltajes TTL, es decir, 5 Volts.

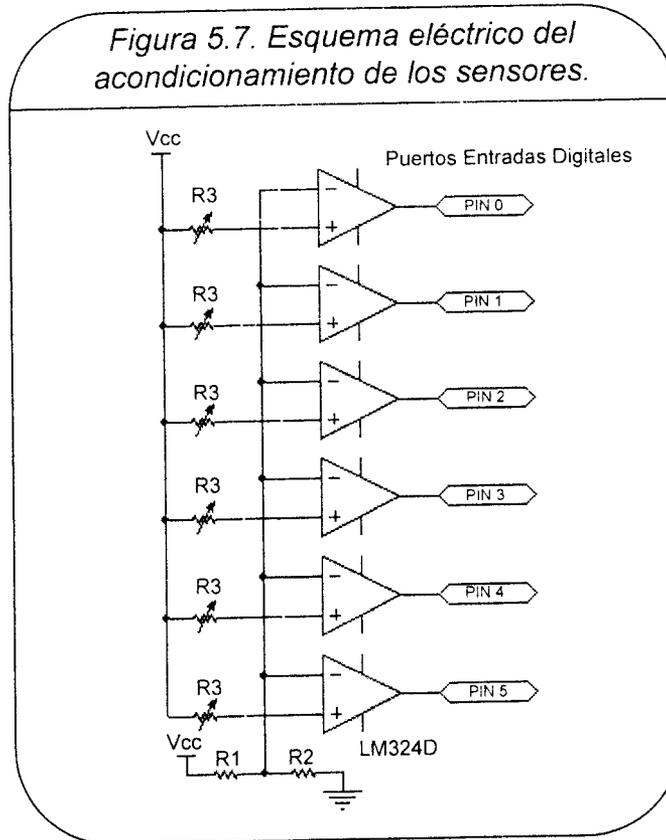
Por lo tanto, se optó por adquirir una fuente de poder de la marca Lambda que nos da el voltaje máximo que necesitamos y una corriente mayor a 1 Ampere que es la demandada por el motor principal. Una segunda fuente de poder de 16 Volts fue adquirida, pues es el voltaje que necesita el solenoide de sujeción, y de ésta misma se derivaron los demás voltajes. La electrónica necesaria para estas derivaciones se encuentra incluida en la misma tarjeta de control.

Tabla 5.2. Requerimientos de Potencia.

Voltaje requerido [V]	Corriente requerida [A]
30	1
16	.200
12	.200
8	.700

V.5.3 ENTRADAS ANALÓGICAS/AMPLIFICACIÓN Y ACONDICIONAMIENTO.

Para la automatización del presente mecanismo fue necesario medir variables físicas mediante sensores con salidas analógicas de voltaje, las mismas que son procesadas por el microcontrolador. Un sensor muchas veces no proporciona la salida requerida y es necesario amplificar su señal para que ésta pueda ser procesada correctamente. El circuito que se muestra en la figura 5.7 es el encargado de cumplir con estas funciones mediante amplificadores operacionales. Se puede observar en él algunos presets encargados de modificar la sensibilidad de los sensores a la luz.

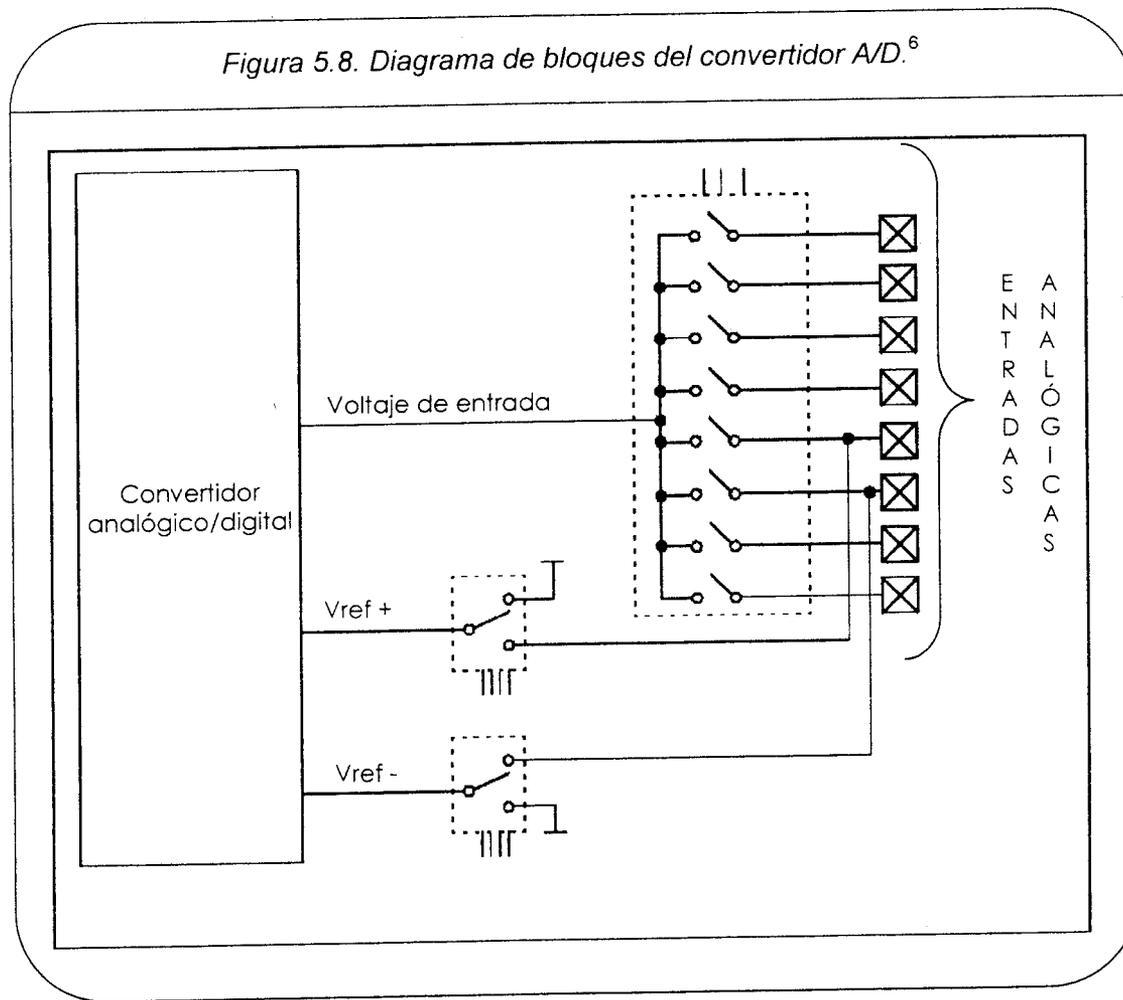


Nota: El diagrama eléctrico completo y el PCB pueden consultarse los apéndices 2 y 3, respectivamente.

V.5.4 MÓDULO DE CONVERSIÓN A/D.

Es necesario convertir una señal analógica en digital pues su procesamiento se facilita en gran medida. Para esto se utilizó el convertidor analógico-digital que viene integrado en el microcontrolador PIC y así se pudo procesar la información proveniente del potenciómetro de precisión utilizado para conocer la posición angular del riel. En la figura 5.8 se puede ver el diagrama de bloques del convertidor ADC que viene integrado al PIC.

Figura 5.8. Diagrama de bloques del convertidor A/D.⁶



V.5.5 ENTRADAS DIGITALES.

Las señales digitales son muy utilizadas en la electrónica actual pues nos permiten conocer rápidamente el estado de algún interruptor y son fácilmente procesables. El microcontrolador utilizado cuenta con varios puertos que se pueden configurar ya sea como entradas o salidas digitales, en este caso, son pocas las entradas digitales a utilizar, la principal es la que proviene de un timer digital externo que nos sirve para procesar los distintos tiempos de recorrido del elemento móvil. Cabe mencionar que esta entrada se da gracias a una interrupción externa provocada por un cambio de estado en el Puerto B, pin 0.

V.5.6 SALIDAS DIGITALES.

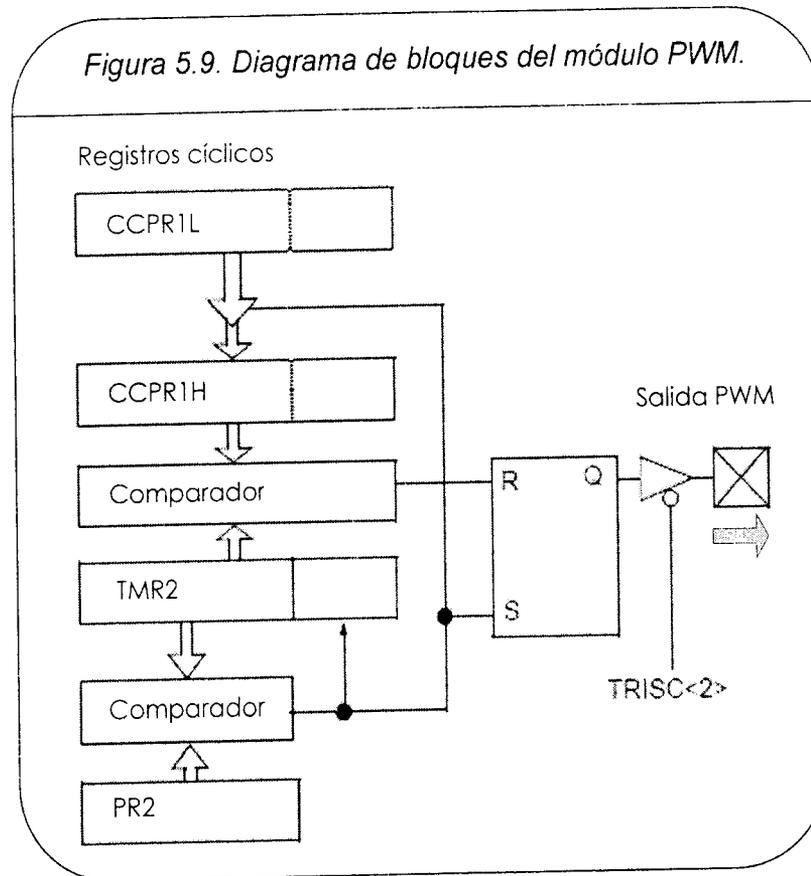
Las señales digitales utilizadas son señales TTL que manejan voltajes de 0 y 5 Volts para representar lo que es un 0 y un 1 lógicos, respectivamente. Las salidas digitales de la tarjeta se utilizan para dar señales de encendido y apagado a los diferentes actuadores, así como para controlar otras variables como por ejemplo los leds indicadores de estado.

Tabla 5.2. Tabla de salidas digitales.

Puerto	Pin	Actuador/Función
Puerto B	1	Solenoides
Puerto B	2	Compresora
Puerto B	3	Led indicador / Sentido de giro del motor
Puerto B	4	Habilitación del timer
Puerto B	5	Led indicador / Móvil en HOME
Puerto B	6	Led indicador / Contador timer
Puerto B	7	Led indicador / Paro del sistema

V.5.7 SALIDAS ANALÓGICAS.

Algunos dispositivos funcionan de acuerdo a un nivel de voltaje o corriente que les es proporcionado. Para controlar la velocidad del motor y a su vez el movimiento del mecanismo, se utilizó la salida del PIC conocida como PWM o bien, modulación del ancho de pulso. Ésta nos permite controlar mediante software los distintos niveles de voltaje que requerimos para actuar el motor, por lo que se puede afirmar que se comporta como una salida analógica aunque en el sentido más estricto no lo sea. Para aclarar lo dicho anteriormente, se muestra en la figura 5.9 un diagrama de bloques que simplifica la función del módulo PWM.



V.5.8 ETAPA DE POTENCIA.

Hemos dicho que con las salidas digitales y analógicas de la tarjeta de control podemos controlar el estado de los distintos actuadores así como la velocidad a la que éstos se van a mover. Esto es cierto, más no suficiente para poder llevar a cabo dichas tareas en su totalidad. Siempre será necesario contar con una etapa electrónica que les proporcione la potencia suficiente para poder actuar, ésta se conoce como la etapa de potencia del circuito.

La potencia se define como la energía necesaria para realizar un trabajo. En electrónica se refiere al producto entre el voltaje y la corriente. Es así como se justifica que exista una etapa de potencia para todo actuador, pues como se mencionó anteriormente las señales digitales manejan niveles TTL de voltaje, esto es 5 Volts para nivel alto y una corriente muy pequeña.

En las siguientes figuras se muestran los diferentes circuitos electrónicos para cada actuador con su respectiva etapa de potencia.

Figura 5.10. Etapa de potencia para el motor DC.⁶

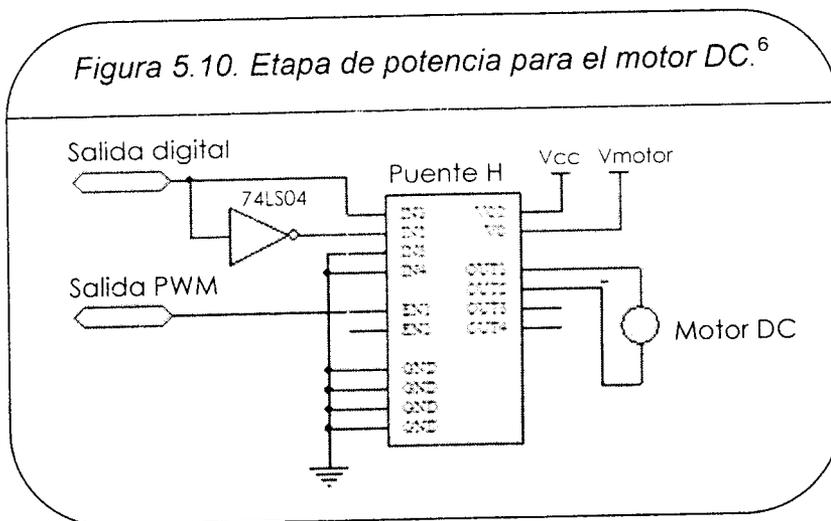


Figura 5.11. Etapa de potencia para el solenoide.

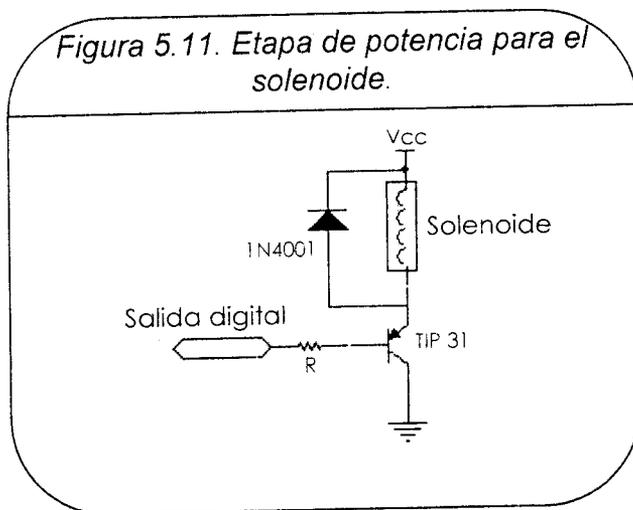
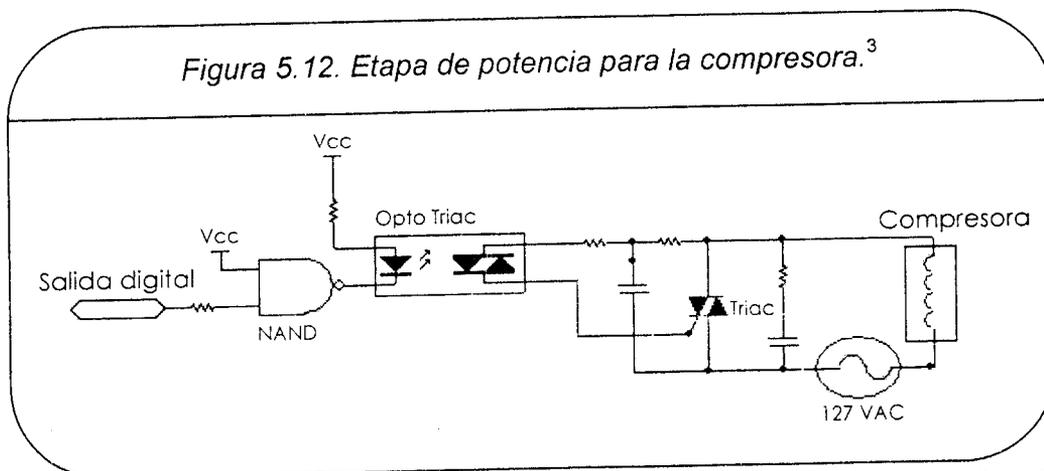


Figura 5.12. Etapa de potencia para la compresora.³



Nota: Los diagramas eléctricos completos y PCBs pueden consultarse los apéndices 2 y 3, respectivamente.

El módulo de comunicación serial se abordara como apartado independiente pues su explicación y elementos que conlleva son más complejos que los anteriores.

V.6 MÓDULO DE COMUNICACIÓN SERIAL.

V.6.1 INTRODUCCIÓN.

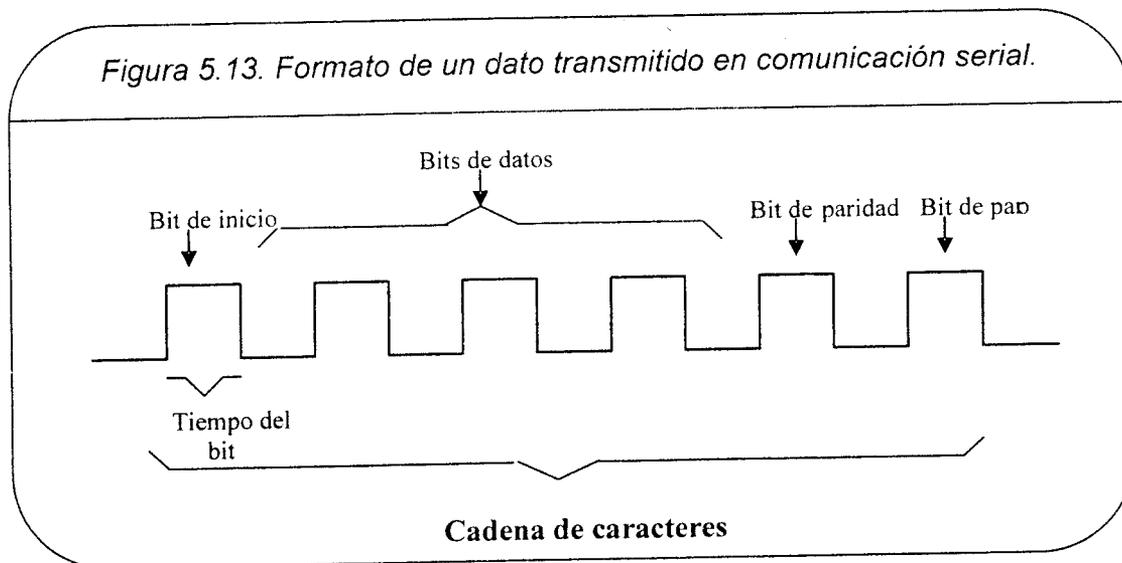
Dada la importancia de comunicación entre diferentes dispositivos para el mejor funcionamiento de algún proceso es necesario tener presente un protocolo de comunicación el cual tenga todas las ventajas de transferir datos correctamente y lo más eficientemente posible. Para el funcionamiento de este sistema, es indispensable que siempre exista comunicación entre el dispositivo mecatrónico y la PC. Para ello se eligió utilizar una comunicación serial asíncrona basada en el protocolo RS-232 con los siguientes parámetros:

- Velocidad de comunicación: 9600 baudios
- Bits de datos: 8
- Bits de paridad: Ninguno
- Flujo de información: XON/XOFF

V.6.2 PROTOCOLO RS-232.

Se basa en la estándar generado por Electronic Industries Association (EIA). Fue originalmente diseñado para comunicaciones telefónicas y ha sido adaptado a las computadoras personales. El RS-232 es una interfaz que designa una norma para el intercambio serie de datos binarios entre un DTE (Equipo terminal de datos) y un DCE (Equipo de terminación del circuito de datos), aunque también se utiliza en la comunicación para instrumentación en muchos dispositivos y para la adquisición de datos en conjunto con un dispositivo de muestreo remoto.²¹ Las siguientes, son características que se tomaron en cuenta para la elección de dicho protocolo:

- Comunicación: - Full duplex
- Sólo 3 terminales en su forma más simple:
 - Transmisión → Tx
 - Recepción ← Rx
 - Referencia --- Gnd
- Hasta 15 m de distancia.



En este momento cabe mencionar que éste es el primer prototipo del proyecto que se lleva a cabo en la Facultad de Ingeniería de la UNAM. Restan una serie de prácticas que de igual manera se piensan automatizar, y, dicho alcance del proyecto es el que nos dio una razón más para elegir la comunicación serial RS-232. La explicación de esto se comenta en el siguiente apartado.

V.6.3 PROTOCOLO RS-485.

Cuando se necesita transmitir a largas distancias o con más altas velocidades que RS-232, RS-485 es la solución. Utilizando enlaces con RS-485 no hay limitación a conectar tan solo dos dispositivos.

Dependiendo de la distancia, velocidad de transmisión y los circuitos integrados que se utilicen, se pueden conectar hasta 32 nodos con un simple par de cables.²¹ Esta interfase tiene muchas ventajas con respecto a RS-232, entre las cuales se encuentran las siguientes:

- Bajo costo. Los circuitos integrados para transmitir y recibir son baratos y sólo requieren una fuente de +5V para poder generar una diferencia mínima de 1.5V entre las salidas diferenciales.
- Capacidad de interconexión. RS-485 es una interfase multi-enlace con capacidad de tener múltiples transmisores y receptores.
- Longitud de enlace. Se pueden tener hasta 1000 metros de longitud.
- Rapidez. La razón de bits puede ser de 10 Mega bits/ segundo.

Resumiendo, para este sistema se decidió utilizar comunicación serial basada en el protocolo RS-232. ¿Por qué? La respuesta es sencilla, más adelante, cuando se automaticen las demás prácticas de laboratorio en la Facultad de Ingeniería, será muy fácil cambiar de una comunicación punto a punto (RS-232) a una comunicación multi-punto (RS-485) mediante un solo dispositivo comercial que realiza la conversión. El protocolo de comunicación es básicamente el mismo, la diferencia radica únicamente en un aumento en la velocidad de transmisión y en una comunicación multi-punto, es decir, este sistema puede seguir creciendo de acuerdo al número de prácticas que se vayan automatizando.

Figura 5.14. Configuración de un sistema full duplex punto-punto.

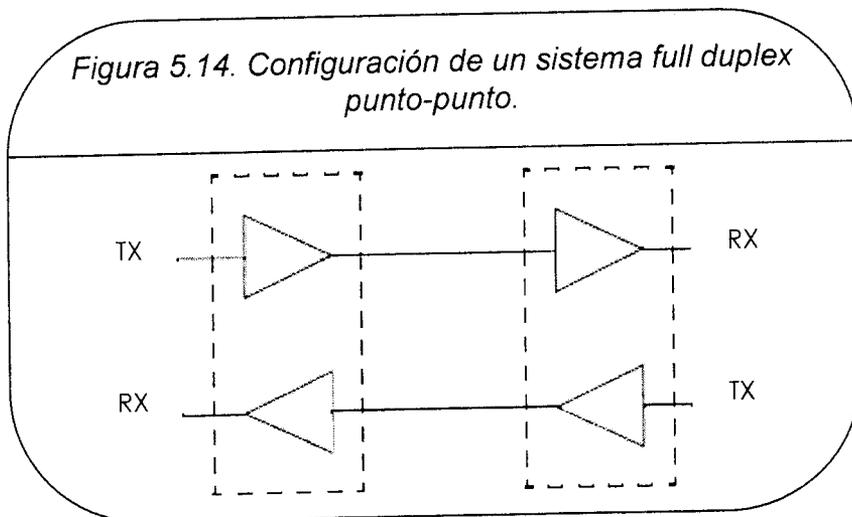
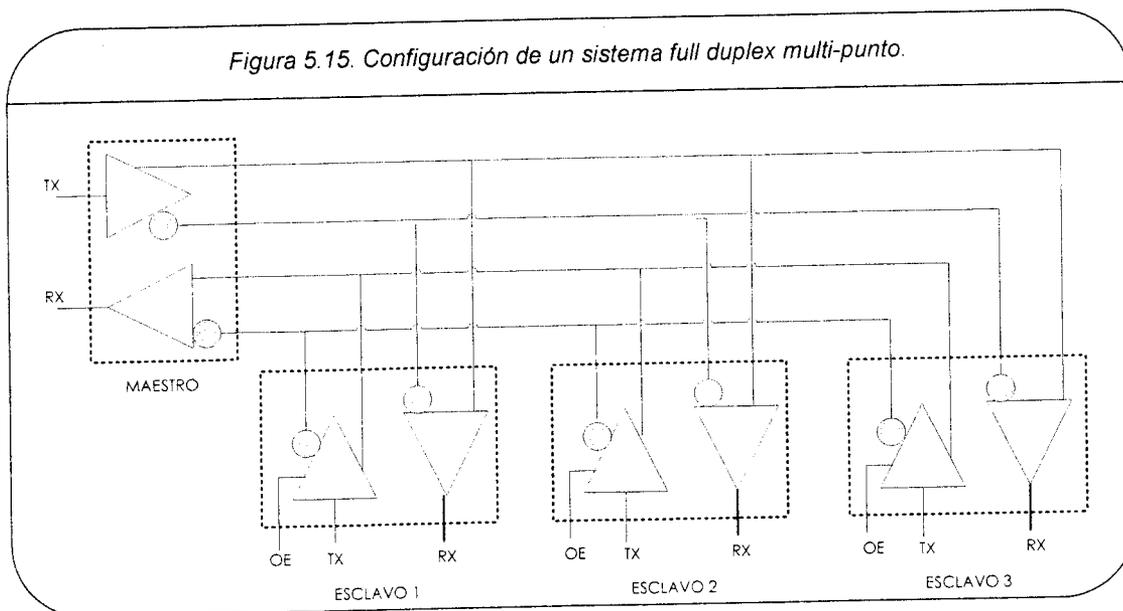


Figura 5.15. Configuración de un sistema full duplex multi-punto.



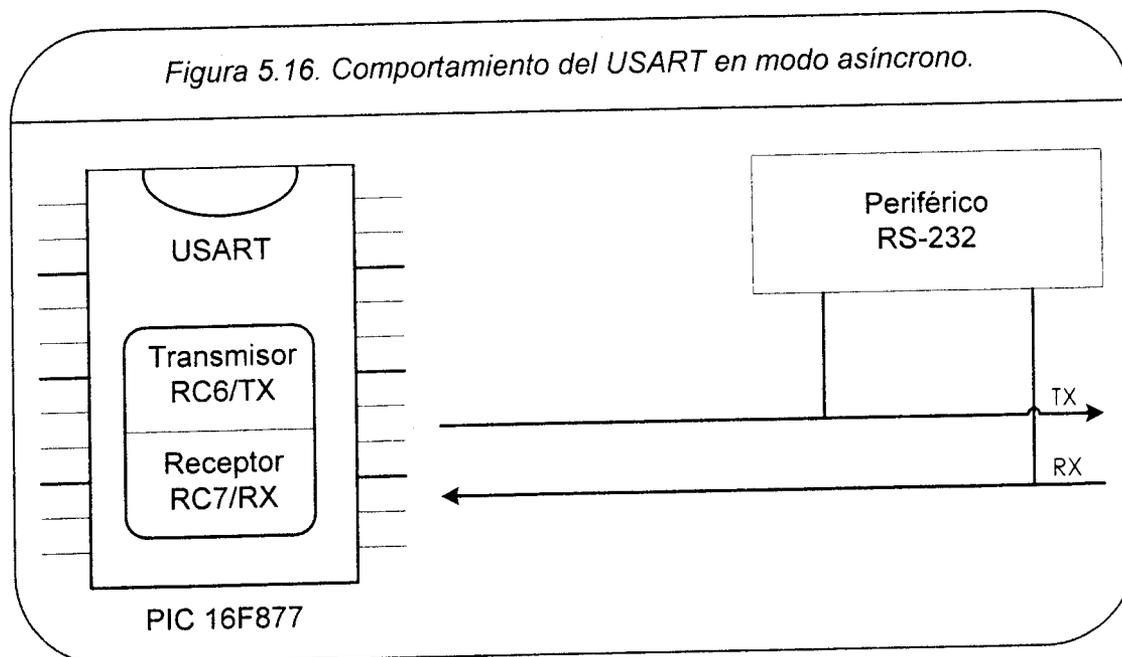
V.6.4 MÓDULO USART PARA COMUNICACIÓN SERIAL DEL PIC.³⁴

Los PIC16F87X contienen un módulo llamado USART capaz de soportar la comunicación serie síncrona y asíncrona. De los dos modos de funcionamiento del USART, la comunicación serie asíncrona es la más utilizada. El PIC incorpora el hardware para comunicarse vía RS-232 con la PC. Para ello, la PC deberá emular una terminal con el software apropiado (en este caso se utilizó el software de Labview, el cual se abordará en el siguiente capítulo).

El USART, llamado SCI (Serial Communications Interface), puede funcionar como un sistema de comunicación full duplex o bidireccional asíncrono, adaptándose a multitud de periféricos y dispositivos que transfieren información de esta forma.

La figura 5.16 muestra un esquema del comportamiento del USART en modo asíncrono. La transferencia de información se realiza sobre dos líneas TX (transmisión) y RX (recepción), saliendo y entrando los bits por dichas líneas al ritmo de una frecuencia controlada internamente por el USART.

En la forma de comunicación serial es común usar la norma RS-232, donde cada palabra de información o dato se envía independientemente de los demás. Suele constar de 8 o 9 bits y van precedidos por un bit de START (bit de inicio) y detrás de ellos se coloca un bit de STOP (bit de paro). Los bits se transfieren a una frecuencia fija y normalizada.



Existen cuatro módulos que configuran la arquitectura del USART, en modo asíncrono, y éstos son los siguientes:

1. Circuito de muestreo.
2. Generador de Baudios.
3. Transmisor Asíncrono.
4. Receptor Asíncrono.

V.6.4.1 CIRCUITO DE MUESTREO.

El circuito de muestreo actúa sobre la patita RC7/RX/DT, que es por donde se recibe el bit de información o control y se encarga de muestrear tres veces su valor, para decidir éste por mayoría.

V.6.4.2 GENERADOR DE BAUDIOS.

En el protocolo asíncrono RS-232, la frecuencia en baudios (bits por segundo) a la que se realiza la transferencia se debe efectuar a un valor normalizado: 330, 600, 1200, 2400, 4800, 9600, 19200, 38400, etc. Para generar esta frecuencia, el USART dispone de un Generador de Frecuencia en Baudios, BRG, cuyo valor es controlado por el contenido grabado en el registro SPBRG.

Además del valor X cargado en el registro SPBRG, la frecuencia en baudios del generador depende del bit BRGH del registro TXSTA<2>. En el caso de que BRGH = 0 se trabaje en baja velocidad y si BRGH = 1 se trabaja en alta velocidad. Según este bit se obtendrá el valor de una constante K necesaria en la determinación de la frecuencia de funcionamiento.⁶

$$\text{Frecuencia en Baudios} = F_{\text{osc}} / (K * (X+1))$$

X → valor asignado al registro SPBRG (valor expresado en decimal y que debe ser un número entero entre 0 y 255)

Si BRGH = 0 → baja velocidad y K = 64
Si BRGH = 1 → alta velocidad y K = 16

De donde se desprende que:

$$X = (F_{\text{osc}} / (\text{Frecuencia} * K)) - 1$$

Parámetros empleados para este sistema:

Frecuencia en Baudios: 9600

Frecuencia del oscilador: 20MHz
Registro BRGH: En alta velocidad

$$X = \frac{20 \text{ MHz}}{(9600)(16)} - 1$$

$$X = 129.208 \approx 129$$

Valor asignado al registro SPBRG = 129

Entonces si $X = 129$ la frecuencia en baudios es 9615.385, por lo que tenemos un error de aproximadamente 0.16%.

V.6.4.3 TRANSMISOR ASÍNCRONO.

El dato que se debe transmitir por el USART transmisor se deposita en el registro TXREG y a continuación se traspa al registro de desplazamiento TSR, que va sacando los bits secuencialmente y a la frecuencia establecida.³⁴

V.6.4.4 RECEPTOR ASÍNCRONO.

Los datos se reciben en serie, bit a bit, por la patita RC7/RX/DT y se van introduciendo secuencialmente en el registro desplazamiento RSR, el cual funciona 16 veces más rápido que el registro de trabajo (W).³⁴

V.6.5 TRAMAS DE COMUNICACIÓN ENTRE LA PC Y EL MICROCONTROLADOR.

Utilizar una serie de palabras, mejor conocidas como tramas, es ya una constante que se utiliza en Ingeniería para la comunicación entre dispositivos electrónicos, y la comunicación utilizada en este sistema no fue la excepción. En este sistema se utilizaron tramas de 5 bytes para la comunicación que va de la PC al microcontrolador, y la respuesta se da mediante tramas de 8 bytes, ya que éste último trabaja como esclavo y la PC como maestro. Entonces, el formato que siguen las tramas es el siguiente:

De la PC al micro:

ORIGEN	DESTINO	COMANDO	DATO	CHKSUM
--------	---------	---------	------	--------

Del micro a la PC:

ORIGEN	DESTINO	COMANDO	DATO 1	DATO 2	DATO 3	DATO 4	CHKSUM
--------	---------	---------	-----------	-----------	-----------	-----------	--------

- Origen:** Indica de qué dispositivo proviene la trama.
Destino: Indica hacia que dispositivo se dirige la trama.
Comando: Indica la función a ejecutar.
Datos: Se utilizan para funciones secundarias adicionales o para el envío de lecturas a la PC.
Chksum: Este último byte de la trama es muy importante pues debe coincidir con la XOR de todos los bytes anteriores XOR "1", si no lo hace sabemos que existe algún error en la trama recibida o que simplemente estamos recibiendo ruido.

Cuando el dispositivo maestro intenta enviar información a uno de los esclavos, primero envía un byte de dirección que identifica al destinatario. El byte de dirección se identifica en las tramas de comunicación. Si un dispositivo esclavo recibe una trama en la cual no aparece como destinatario, éste ignora todos los bytes de datos y el flujo de información sigue adelante hasta encontrar al destinatario correcto.

- Las primeras tramas de bytes nos indican el inicio y fin de práctica, y la tercera de ellas es una trama con la cual, el dispositivo maestro, asegura que exista siempre comunicación entre éste y el microcontrolador.

ORIGEN	DESTINO	COMANDO	DATO	CHKSUM
4A	6A	57	3F	49
4A	6A	59	3F	47
4A	6A	58	3F	46

- Trama de bytes para llevar el mecanismo a la posición donde podrá realizar un nuevo evento. Este comando hace trabajar al sistema de tal forma que el mecanismo se encuentre en la posición de reposo, que el elemento móvil se encuentre sujeto al riel, y que todos los actuadores estén apagados.

ORIGEN	DESTINO	COMANDO	DATO	CHKSUM
4A	6A	50	3F	4E

- Las siguientes son tramas que recibe el PIC con el comando para calibrar manualmente el "cero" de nuestro experimento. La palabra DATO nos indica si ese ajuste será grueso o fino.

ORIGEN	DESTINO	COMANDO	DATO	CHKSUM
4A	6A	51	30	40
4A	6A	51	31	41
4A	6A	52	30	43
4A	6A	52	31	42

- El comando para llevar el mecanismo a cierta posición angular está dado por el número 53 en hexadecimal y las diferentes posiciones por los números 30 al 35, que equivalen a los grados del 0 al 5, respectivamente.

ORIGEN	DESTINO	COMANDO	DATO	CHKSUM
4A	6A	53	30	42
4A	6A	53	31	43
4A	6A	53	32	40
4A	6A	53	33	41
4A	6A	53	34	46
4A	6A	53	35	47

- Las siguientes cuatro tramas y también las últimas de comunicación de la PC al microcontrolador son las encargadas de dar las señales de encendido/apagado de la compresora, del solenoide y del paro general de la práctica. La última de ellas le dice al microcontrolador que guarde el valor que se generó de llevar el mecanismo a "cero".

ORIGEN	DESTINO	COMANDO	DATO	CHKSUM
4A	6A	54	3F	4A
4A	6A	55	3F	4B
4A	6A	56	3F	48
4A	6A	57	3F	49

- Las tramas que van del microcontrolador a la PC son de ocho bytes, lo cual se debe a que una de ellas tiene la tarea de enviar los valores de las lecturas de los sensores. En las demás los últimos tres o cuatro bytes no son de importancia. Dos de estas tramas se encargan de checar que siempre exista comunicación, y la última, actualiza el valor del potenciómetro en la calibración para ser procesado posteriormente en la interfaz de LabView y dar el porcentaje de error al usuario.

ORIGEN	DESTINO	COMANDO	DATO 1	DATO 2	DATO 3	DATO 4	CHKSUM
6A	4A	40	XX	XX	XX	XX	61
6A	4A	42	3F	3F	3F	3F	63
6A	4A	43	3F	3F	3F	3F	62
6A	4A	44	XX	3F	3F	3F	65

Nota: El número 3F en hexadecimal indica que no nos interesa el valor de ese byte para la trama en cuestión.

V.7 MÓDULO DE SOFTWARE.

V.7.1 INTRODUCCIÓN.

En este capítulo se presentará el software que sirvió como interfaz máquina-usuario, creado para controlar el dispositivo mecatrónico desde un ambiente visual de fácil acceso para los estudiantes.

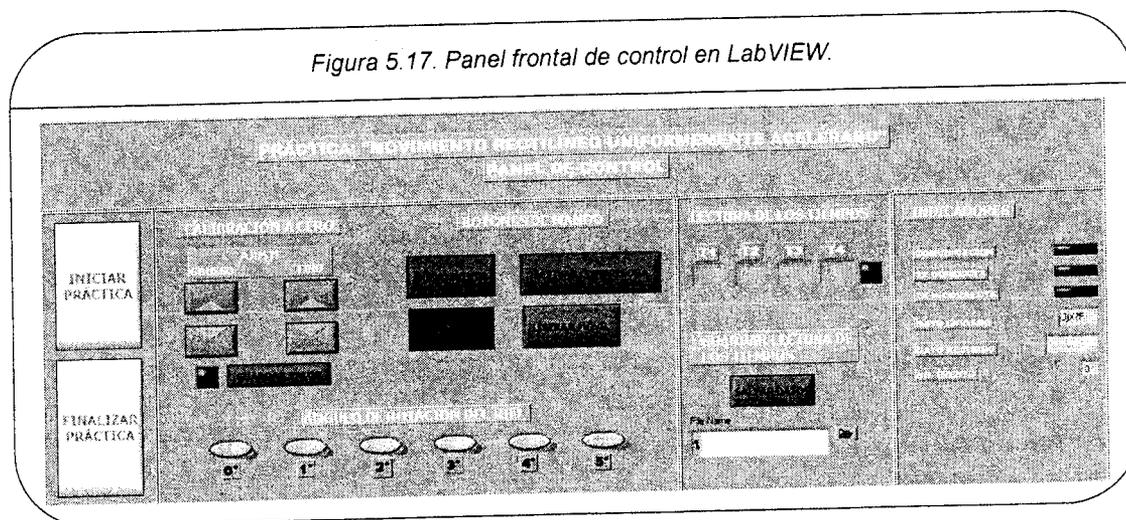
Recordemos que se planteó tener una comunicación maestro-esclavo, en la cual el programa que se ejecutará desde una computadora central será el maestro y el dispositivo mecatrónico diseñado funcionará como esclavo.

V.7.2 PLATAFORMA LABVIEW.

LabVIEW es una herramienta gráfica de test, control y diseño mediante la programación. El lenguaje que usa se llama lenguaje G y fue creado por National Instruments.²¹

El lenguaje G es llamado así porque es un tipo de programación gráfica, es decir, la programación se desarrolla mediante la unión de bloques y funciones pre-definidas.¹⁵

A continuación se muestra el panel frontal de control diseñado en LabVIEW, dicho panel se muestra aquí tal y como lo verá el alumno cuando se conecte a Internet y lleve a cabo la práctica de Movimiento rectilíneo uniformemente acelerado.

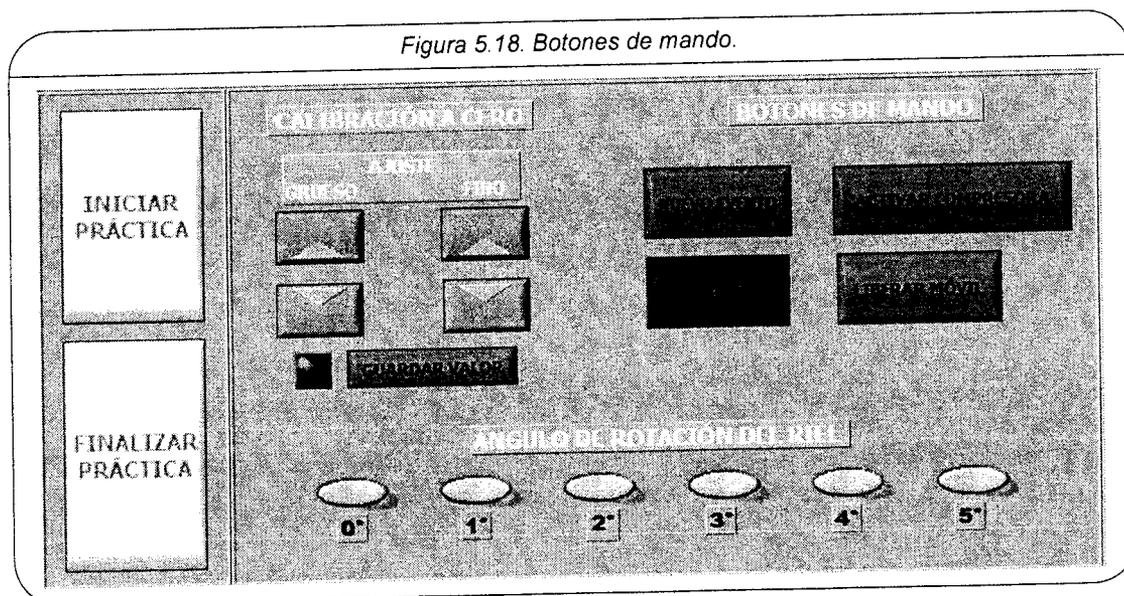


V.7.3 REALIZACIÓN DE LA PRÁCTICA.

Se le proporcionará un manual de usuario a cada alumno, dicho manual explicará gráfica y brevemente la forma correcta de realizar la práctica y los pasos a seguir en caso de algún problema. Así mismo, en caso de que el alumno no cuente con el manual al iniciar la práctica, las instrucciones a seguir se mostrarán también en el panel frontal de control en la interfaz de LabVIEW.

A continuación se dan los pasos a seguir para la realización de la práctica, mismos que se encontraran de forma más concreta en el manual del usuario.

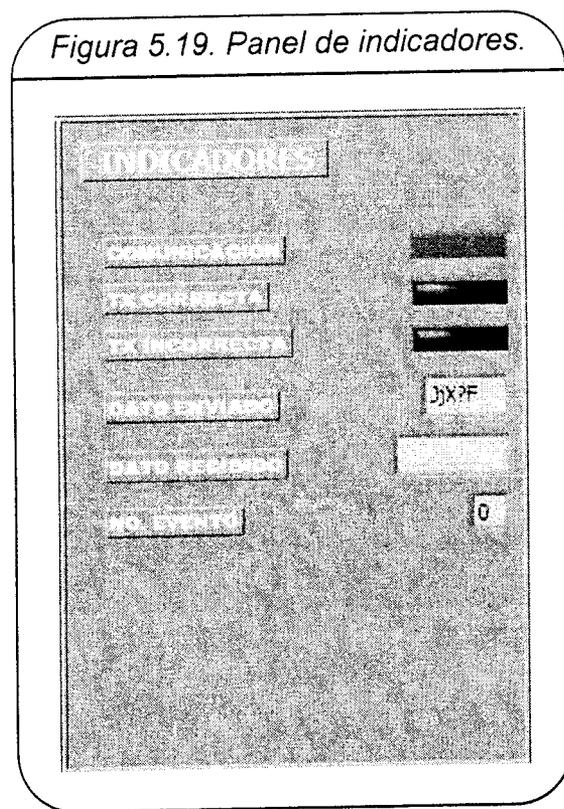
1. Una vez que el alumno se haya registrado en el sistema podrá tener acceso al Panel de control de LabVIEW y al sistema de visión, en el cual podrá ver lo que sucede en el laboratorio en tiempo real. (Se recuerda al lector que ni el registro al sistema ni el módulo de visión son parte de este proyecto).
2. Lo primero que se realizará estando en el panel de control será oprimir el botón de "INICIO DE PRÁCTICA", lo cual iniciará la comunicación con la tarjeta electrónica de control y el led indicador de comunicación deberá encenderse (Ver figuras 5.18 y 5.19).



3. Como todo dispositivo mecatrónico y como parte de las especificaciones de este proyecto lo primero que se tiene que hacer es calibrar a cero el mecanismo, pues a partir de ese punto se realizará cada experimento y se acarreará el error generado en dicha calibración (Ver figura 5.18).

En el panel de control se puede observar que existen 4 botones de calibración, dos de ellos para el "AJUSTE FINO" del mecanismo y los restantes para el "AJUSTE GRUESO". Cabe resaltar que para el ajuste a cero, el usuario se podrá guiar de un nivel acoplado directamente al mecanismo. Más adelante se desplegará dicho error en la pantalla para que el alumno pueda realizar los cálculos tomándolo en cuenta.

4. Una vez calibrado el dispositivo, el valor resultante se tendrá que guardar en un registro del microcontrolador para que se tenga una referencia de éste, para esto se oprimirá el botón "GUARDAR VALOR" y se verá como flashea el led correspondiente (Ver figura 5.18).

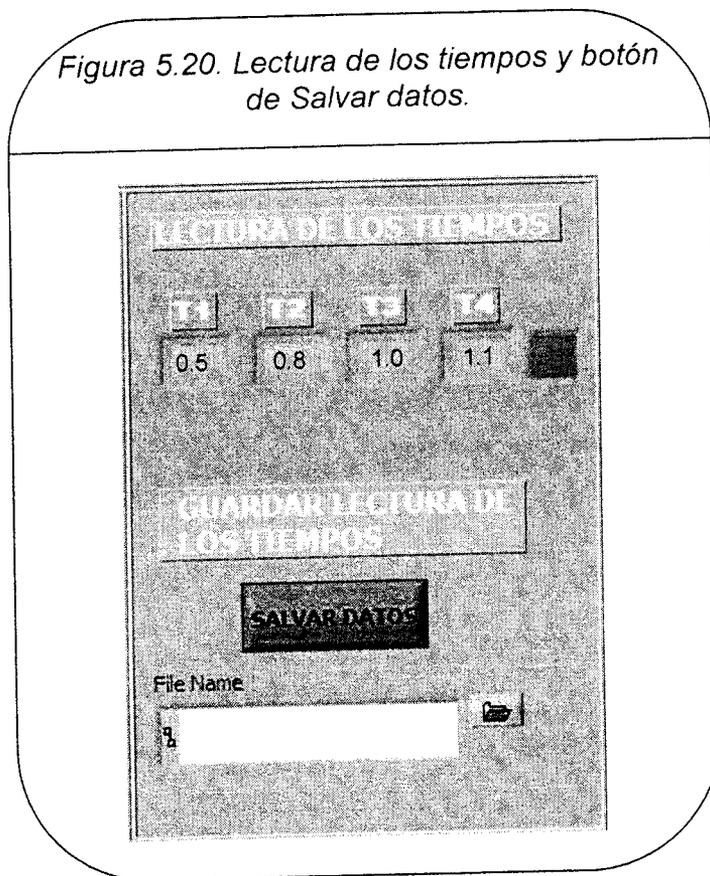


5. Después de esto el dispositivo se encuentra listo para realizar el primer experimento y para esto habrá que oprimir el botón de "NUEVO EVENTO" en el panel de control (Ver figura 5.18).
6. Oprimir el botón para el "ÁNGULO DE ROTACIÓN" deseado, las opciones van de 0° a 5° (Ver figura 5.18).

Se podrá ver en la pantalla como el motor enciende provocando el giro en el tornillo sin fin y a éste generando el movimiento lineal de la leva, la cual a su vez produce el movimiento angular del riel hasta llegar a posicionarse en el ángulo deseado.

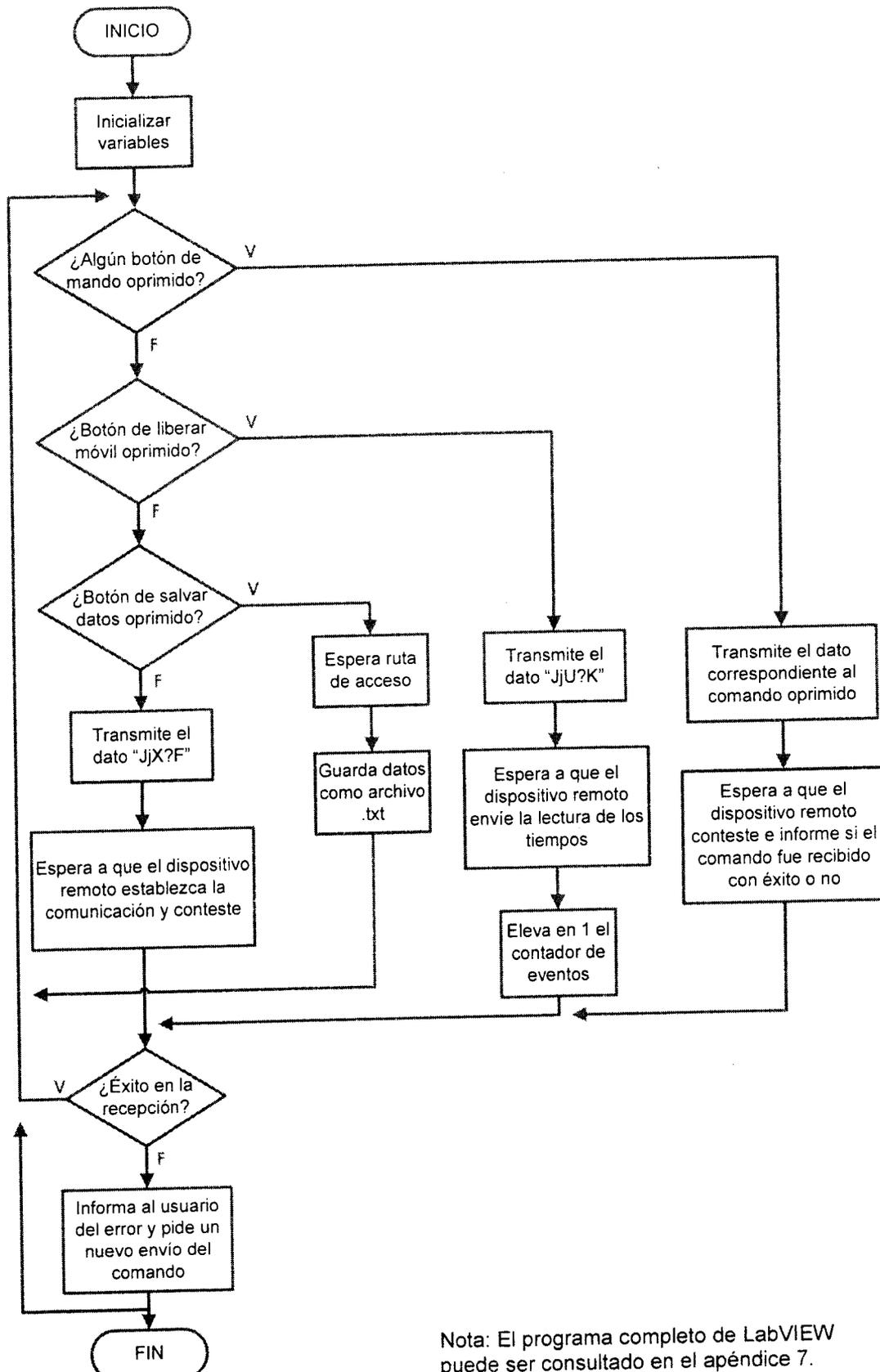
7. **"ACTIVAR COMPRESORA"** es el siguiente paso. Esperar unos segundos antes de continuar con la siguiente instrucción para que el flujo de aire a través del riel pueda ser uniforme (*Ver figura 5.18*).
8. En este paso se oprime el botón de **"LIBERAR MÓVIL"**, y como lo indica el comando, esta instrucción permite al elemento móvil deslizarse hasta el final del riel para tomar la lectura de los tiempos (*Ver figura 5.18*).
9. Una vez que el móvil recorrió el riel, la **"LECTURA DE LOS TIEMPOS"** es desplegada en la pantalla para que el usuario pueda tomar nota de ellos. En este punto es importante resaltar que se darán 4 tiempos, tomados desde un punto inicial a 50cm de donde se suelta el móvil y las lecturas se toman cada 30cm, siendo la última a 170cm del origen (*Ver figura 5.20*).
10. A continuación el usuario tiene la opción de generar un archivo donde se guardarán los tiempos recabados del experimento y se registrarán algunos datos generales de la práctica tales como: hora de inicio de práctica, hora del experimento, nombre del usuario, etc. Para esto el usuario deberá oprimir el botón de **"SALVAR DATOS"** y aparecerá una ventana donde podrá introducir la ruta deseada (*Ver figura 5.20*).

Figura 5.20. Lectura de los tiempos y botón de Salvar datos.



11. Aquí se termina un experimento y en el panel de indicadores podemos ver que hay un display que nos indica el número de eventos que hemos realizado (Ver figura 5.19). Cuando la implementación de este sistema de control se lleve a cabo, los encargados del proyecto fijarán un límite máximo de experimentos que pueda realizar el alumno o en su defecto, un tiempo máximo.
12. Para realizar un nuevo experimento se tendrá que oprimir el botón de "NUEVO EVENTO", el cual llevará el dispositivo a su posición de reposo y al elemento móvil a su home.
Después de esto repetir los pasos a partir del número 6 para una nueva toma de lecturas en un ángulo diferente.
13. Si se han terminado los experimentos, oprimir "FINALIZAR PRÁCTICA".

V.7.4 DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROGRAMA LABVIEW.



Nota: El programa completo de LabVIEW puede ser consultado en el apéndice 7.

CAPÍTULO VI. PROTOCOLO DE PRUEBAS.

VI.1 INTRODUCCIÓN AL MÉTODO TAGUCHI.

Antes de comenzar puntualizaremos que cuando hablemos de proceso, nos referiremos al desarrollo de la práctica de laboratorio, en la cual el sistema mecatrónico está en funcionamiento. No enfocaremos este término a la secuencia para fabricar un producto.

Para Taguchi, la calidad debe medirse en función de la pérdida que causa: mientras mayor es la pérdida que se produce, menor es la calidad. La calidad no sólo orientada a un producto sino a un proceso con el fin de medirlo y mejorarlo.¹

Las especificaciones también son clave para Taguchi, y calidad significa conformidad con las especificaciones. Apartarse de las especificaciones equivale a ocasionar una pérdida. En nuestro caso, un desvío en los parámetros y tolerancias objetivo propiciará alejarnos de las especificaciones que se establecieron previamente originando defectos o fallas en la práctica de laboratorio a realizar.

Cabe resaltar que emplearemos el método Taguchi únicamente orientado a la selección de las variables críticas de nuestro sistema y con la finalidad de determinar posibles mejoras en el futuro en lo que respecta al diseño.

Taguchi presenta tres etapas en el diseño de un producto o de un proceso:

1. Diseño del sistema.
2. Diseño de los parámetros.
3. Diseño de las tolerancias.

IV.1.1 DISEÑO DEL SISTEMA.

En el diseño del sistema se determina la configuración básica de los componentes. El diseño incluye la determinación de los materiales y el diseño del sistema de líneas que realizarán el empaque con todos sus componentes.¹

Para nuestro caso, determina la configuración de nuestro sistema en conjunto, mecánica, instrumentación y arquitectura del controlador. Este rubro fue cubierto y especificado en los capítulos anteriores.

IV.1.2 DISEÑO DE LOS PARÁMETROS.

En el diseño de los parámetros se determinan los niveles o valores de los factores controlables para minimizar el efecto de los factores incontrolables en las características del producto terminado y/o proceso, es decir, el diseño de los parámetros de nuestro sistema nos ayuda a determinar la funcionalidad del mismo.¹

IV.1.2 DISEÑO DE LAS TOLERANCIAS.

Finalmente, el diseño de las tolerancias apunta a reducir la varianza en las características del proceso cuando la reducción lograda en el diseño de los parámetros no es suficiente; es decir, de los resultados derivados de las pruebas obtendremos una varianza que nos determinará la "variación" en los parámetros de nuestro proceso y así determinar las acciones correctivas para mejorarlo.¹

IV.2 DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS Y TOLERANCIAS.

El primer paso es determinar los parámetros relevantes que nos servirán para efectuar las pruebas en base a las características y funcionalidad del sistema homologando las especificaciones del proceso, y posteriormente podremos determinar la confiabilidad del sistema. Estos parámetros son los siguientes:

1. **Repetibilidad en el posicionamiento.** Se medirá la repetibilidad del sistema en cuanto al valor del ángulo. El dispositivo se mandará varias veces a distintos ángulos y se verificará que siempre llegue a la misma posición.
2. **Tiempo de posicionamiento.** Se refiere al tiempo que llevará al mecanismo situarse en el ángulo deseado por el usuario. Se realizarán pruebas para cada grado partiendo de 0° y llegando a 5°.
3. **Precisión en la lectura de los tiempos.** Se comparará el tiempo desplegado en el panel de control del programa LabVIEW contra un reloj externo, para determinar la confiabilidad y congruencia de las mediciones de tiempo y brindar una seguridad en los tiempos que estamos proporcionando al usuario.
4. **Tiempo de respuesta del sistema.** Esto se refiere al tiempo que tarda nuestro sistema en reaccionar a una instrucción enviada por el usuario, es decir, mediremos el tiempo desde que se oprime un botón de mando en el panel de control hasta el momento en el que el mecanismo empiece a ejecutar dicho comando.

5. **Tiempo para realizar una sesión.** En esta prueba lo que nos interesa conocer es el tiempo que tarda el sistema en realizar un experimento completo. Debido a que dicho tiempo depende de la posición a la que se lleve el mecanismo, lo que se indicará en esta prueba será el promedio de realizar 5 experimentos completos.
6. **Confiabilidad en la conectividad.** Nos interesa conocer las posibilidades de que se presente alguna pérdida o error en la comunicación entre la PC y el dispositivo remoto durante el desarrollo de la práctica.

En la siguiente tabla se establecen los elementos o instrumentos necesarios para realizar las pruebas planteadas. Más adelante se mostrarán y analizarán los resultados obtenidos para determinar la confiabilidad del sistema y las mejoras que en un futuro se le puedan realizar.

Tabla 6.1. Tabla que muestra los parámetros de las pruebas.

Operación	No. de pruebas	Instrumento de medición	Tolerancia o medición esperada
Repetibilidad en el posicionamiento	5/ángulo	Potenciómetro de precisión/Voltímetro	+/- 0.1°
Tiempo de posicionamiento	5/ángulo	Cronómetro	1 segundo entre posición
Precisión en la lectura de los tiempos	5	Cronómetro/Contador controlado por software	+/- 0.1 segundos
Tiempo de respuesta del sistema	10	Cronómetro	1 segundo máximo
Tiempo para realizar un evento	5	Cronómetro	5 minutos promedio
Confiabilidad en la conectividad	5		

IV.3 DESARROLLO DE LAS PRUEBAS.

1. Repetibilidad en el posicionamiento.

Se llevó el mecanismo 5 veces a cada ángulo y se regresó a su posición de reposo. En la tabla se muestra el valor leído con un voltímetro cada vez que el mecanismo alcanzó la posición deseada.

Tabla 6.2. Prueba 1.

No. de prueba \ Posición	0°	1°	2°	3°	4°	5°
1	.30	.39	.50	.59	.72	.78
2	.29	.41	.50	.60	.70	.78
3	.29	.40	.49	.60	.70	.80
4	.30	.39	.49	.62	.70	.78
5	.29	.39	.49	.59	.71	.80

Nota: Los valores mostrados en la tabla están dados en Volts.

2. Tiempo de posicionamiento.

Se llevó el mecanismo 5 veces a cada ángulo y se regresó a su posición de reposo. En la tabla se muestra el valor que tardó éste en posicionarse en cada ángulo.

Tabla 6.3. Prueba 2.

Prueba \ Posición	0°	1°	2°	3°	4°	5°
1	0.9	2.1	3.1	4.0	5.2	6.1
2	1.0	2.1	2.9	4.0	5.1	6.3
3	1.0	2.0	2.9	4.2	5.1	6.3
4	1.1	1.9	3.0	4.1	5.3	6.1
5	0.9	2.1	3.0	4.1	5.1	6.2

Nota: Los valores mostrados en la tabla están dados en segundos.

3. Precisión en la lectura de los tiempos.

Se llevó 5 veces el mecanismo a posiciones aleatorias, se liberó el elemento móvil y se registraron los tiempos. En la tabla se muestra en el numerador el tiempo tomado con un cronómetro y en el denominador el tiempo procesado por el software, que sería el que vería el usuario.

Tabla 6.4. Prueba 3.

No. de prueba	Tiempos (Cronómetro/Software)			
	T1	T2	T3	T4
1	<u>1.1</u>	<u>1.4</u>	<u>1.6</u>	<u>1.7</u>
	1.3	1.5	1.6	1.7
2	<u>0.6</u>	<u>0.8</u>	<u>0.9</u>	<u>1.0</u>
	0.6	0.9	1.0	1.1
3	<u>1.5</u>	<u>2.1</u>	<u>2.5</u>	<u>2.8</u>
	1.6	2.1	2.5	2.7
4	<u>2.1</u>	<u>3.3</u>	<u>4.1</u>	<u>4.9</u>
	2.0	3.2	4.1	4.9
5	<u>0.8</u>	<u>1.2</u>	<u>1.5</u>	<u>1.6</u>
	0.8	1.3	1.6	1.7

Nota: Los valores mostrados en la tabla están dados en segundos.

4. Tiempo de respuesta del sistema.

Se oprimieron 10 comandos aleatorios desde el panel de control de LabVIEW y se tomó el tiempo desde el accionamiento del botón hasta el momento en que el dispositivo ejecutó el comando. Se utilizaron comandos como: activar compresora, activar solenoide, encender motor, entre otros.

Tabla 6.5. Prueba 4.

No. de prueba	Tiempo
1	0.3
2	0.2
3	0.2
4	0.5
5	0.3
6	0.3
7	0.3
8	0.2
9	0.4
10	0.2

Nota: Los valores mostrados en la tabla están dados en segundos.

5. Tiempo para realizar un evento.

Se realizaron 5 prácticas completas con 5 posiciones angulares aleatorias en cada una de ellas y se tomó el tiempo que tardó en cada experimento. Se empezó a tomar el tiempo desde que se oprime el botón de inicio de práctica y hasta que se oprime el botón de finalizar.

Tabla 6.6. Prueba 5.

Prueba	Tiempo
1	13
2	8
3	18
4	11
5	15
Promedio	13

Nota: Los valores mostrados en la tabla están dados en minutos.

6. Confiabilidad en la conectividad.

Se realizaron un total de 5 prácticas completas, llevando el mecanismo a 3 ángulos distintos en cada una de ellas. Durante toda la prueba, que duró aproximadamente 30 minutos, se fueron registrando en la tabla siguiente los comentarios correspondientes. Cabe resaltar que todas estas sesiones las llevaron a cabo estudiantes de la Facultad que no forman parte del proyecto, así estas pruebas resultaron ser más objetivas.

Tabla 6.7. Prueba 6.

No. de prueba	Comentarios
1	El dispositivo no fue capaz de ejecutar un comando, debido probablemente a ruido en el sistema. Aún así no se perdió la comunicación. Se reinició la práctica desde el panel de control y se mando nuevamente el comando, funcionando correctamente.
2	Se realizó la práctica sin ningún contratiempo.
3	Se perdió comunicación con el dispositivo, probablemente a un exceso de tráfico en la red.
4	Se realizó la práctica sin ningún contratiempo.
5	Se realizó la práctica sin ningún contratiempo.

CONCLUSIONES.

Los adelantos en las comunicaciones electrónicas de alta velocidad han comenzado a revolucionar las prácticas comerciales, los flujos de información, la actividad científica, tecnológica y de investigación en las Universidades. Este proyecto, como se explico a lo largo de este trabajo, intenta dejar sentados los fundamentos de desarrollo de sistemas mecatrónicos que permitan la futura y completa automatización de los laboratorios de la Facultad de Ingeniería, sistemas, que como se vio, promueven grandes ventajas que cada día son mejor aprovechadas en laboratorios de distintas universidades del mundo, convirtiéndolos así en realidades apremiantes para la educación.

Al término del presente trabajo, que es la primera aproximación a dicha tecnología en la Universidad Nacional Autónoma de México, se obtiene un prototipo capaz de llevar acabo de forma remota la práctica no. 1, Movimiento Rectilíneo Uniformemente Acelerado, del laboratorio de Cinemática. Para que esto fuera posible cabe mencionar que en el desarrollo de este proyecto se cumplieron los objetivos planteados gracias a las distintas tareas realizadas, que fueron:

- a. Diseño de un mecanismo apropiado para dar movimiento rotacional al sistema y obtener las posiciones angulares acordadas.
- b. Diseño y manufactura de todos los soportes y partes necesarias para el acoplamiento.
- c. Construcción y ensamble del mecanismo.
- d. Instrumentación total del dispositivo.
- e. Diseño de la tarjeta electrónica de control.
- f. Diseño del programa que controlará al dispositivo mediante un microcontrolador PIC.
- g. Comunicación dispositivo-servidor por medio de comunicación serial usando el protocolo RS-232.
- h. Diseño de la interfaz usuario-máquina mediante el software LabVIEW.

Entonces, una vez que el dispositivo está en funcionamiento podemos obtener algunas conclusiones que nos ayudarán a evaluar el presente trabajo. Para ello nos apoyamos de los resultados obtenidos en las pruebas realizadas en el capítulo VI. Así mismo se propondrán posibles mejoras a realizar en trabajos futuros.

- » Respecto a las pruebas de repetibilidad de posicionamiento se observó que en las primeras posiciones existe una mínima variación en la medida del ángulo y que ésta se va haciendo mayor para las posiciones superiores, aún así el error máximo leído está dentro de las tolerancias planteadas.

Para el tiempo de posicionamiento tuvimos resultados muy cercanos al valor ideal que es de un segundo entre cada posición angular. Dicha prueba, aunque se refiere al tiempo, tuvo un comportamiento muy semejante a la prueba anterior, es decir, en las primeras posiciones se comportaba como lo esperado pero conforme el ángulo iba aumentando el tiempo también lo hacía, hasta alcanzar un error máximo de .3 segundos respecto al valor ideal. Analizando la semejanza en el resultado de estas dos pruebas y observando el comportamiento del mecanismo, se confirmó que aproximadamente después de que el riel pasa por la tercera posición, existe un esfuerzo adicional por parte del motor y por lo tanto el mecanismo tiende a atorarse en dicho punto y perder la repetibilidad deseada. Esto puede tener dos posibles orígenes, el primero de ellos puede ser el acabado del tornillo sin fin y de la tuerca acoplada a la leva lineal, y el segundo se refiere al sistema de engranes. Entonces, si los acabados de dichas piezas se mandaran a manufacturar, dicho problema de repetibilidad sería resuelto.

- » Para la prueba de precisión en la lectura de los tiempos, los resultados obtenidos tuvieron una variación máxima de 0.2 segundos. Esto se debe esencialmente a que el valor que se observa en el panel de control de LabVIEW es una cifra redondeada a un decimal. Por lo tanto se puede afirmar que el dispositivo alcanza la precisión mínima deseada.
- » Por otro lado, fue grato constatar, que respecto al tiempo de respuesta del sistema, las pruebas realizadas demuestran que el retraso que existe es insignificante e imperceptible para cualquier ser humano que no cuente con un instrumento de medición adecuado, es decir, se puede afirmar que el sistema tiene una respuesta inmediata en la ejecución de los comandos.

- » Respecto a las pruebas finales al prototipo en las que se analizaron fallas generales en el sistema, tales como: facilidad en el uso de la interfaz usuario-máquina, conectividad y tiempo promedio de sesión, se observó que el dispositivo funciona bien en general, ya que las pérdidas que se llegan a dar en la comunicación tienen que ver posiblemente con el exceso de tráfico en la red o porque la señal de internet es débil en el lugar donde se realizaron las pruebas. Por otro lado, el tiempo promedio en el que un alumno podrá realizar la práctica resultó ser de 13 minutos, tiempo que servirá de referencia para aquellos que realicen el diseño de la página web en un futuro. Dicha página web será la encargada de dar acceso a los estudiantes de la Facultad de Ingeniería.

Dado esto, se puede afirmar que el proyecto cumplió con las expectativas planteadas, sin embargo, sería posible someter el dispositivo a pruebas más rigurosas y a la opinión de expertos en la materia para que validaran los resultados obtenidos. Aún así esta tesis cumplió con presentar los fundamentos para el desarrollo de la automatización de prácticas de laboratorio que se realicen en un futuro en la Facultad de Ingeniería.

REFERENCIAS.

- [1] AGUAYO, FRANCISCO G. METODOLOGÍA DEL DISEÑO INDUSTRIAL: UN ENFOQUE DESDE LA INGENIERÍA CONCURRENTE. ISBN. 2002.
- [2] ALTA TECNOLOGÍA EN MATERIALES PLÁSTICOS. PROPIEDADES PRINCIPALES DEL NYLAMID.
<http://www.midsa.com.mx>
- [3] BERGTOLD, FRITZ. *CIRCUITOS CON TRIACS, DIACS Y TIRISTORES*. BARCELONA. 1974.
- [4] CHAUPRADE, ROBERT. *CONTROL ELECTRÓNICO DE LOS MOTORES DE CC*. BARCELONA 1983.
- [5] CROSS, NIGEL. *PRODUCT DESIGN METHODS*. WILEY.
- [6] DATA SHEET PIC 16F87X. 28/40/44-PIN ENHANCED FLASH. MICROCONTROLLERS.
www.microchip.com
- [7] DOCUMENTS AND FILES. PRODUCT AND SPECIFICATIONS SHEETS.
www.motorola.com
- [8] FAIRES, MORING VIRGIL. *DISEÑO DE ELEMENTOS DE MÁQUINAS*. ED. MACMILLAN COMPANY. 1962.
- [9] HAWKES, BARRY. *CAD-CAM*. ED. PARANINFO.
- [10] HILL, PERCY H.. *MECANISMOS: ANÁLISIS Y DISEÑO*. MÉXICO. CECSA. 1961
- [11] HERRICK, CLYDEN. *INSTRUMENTOS Y MEDICIONES EN ELECTRÓNICA*. BARCELONA. 1975.
- [12] HUIBIDRO, MOYA. *DOMÓTICA*. CREACIONES 2004.
- [13] INFORME DE EXPERTOS SOBRE LABORATORIOS VIRTUALES.
<http://unesdoc.unesco.org>
- [14] INFORME. FOLLETO FACULTAD DE INGENIERÍA.
<http://www.ingenieria.unam.mx/informe/>
- [15] JOHNSON, GARY W.. *LAB VIEW. GRAPHICAL PROGRAMMING*. THIRD EDITION. ED. MCGRAW-HILL.
- [16] KOZHEVNIKOV, SERGEI N. *MECANISMOS: DESCRIPCIÓN DE MÁS DE 2000 MECANISMO UTILIZADOS EN LA MAYORÍA DE LAS RAMAS DE LA INDUSTRIA*. BARCELONA. 1970.
- [17] KRICK, EDUARD V. *INTRODUCCIÓN A LA INGENIERÍA Y AL PROYECTO EN LA INGENIERÍA*. ED. LIMUSA. 1967.
- [18] LABORATORIO CENTRAL DE MICROSCOPIA DE FÍSICA.
www.fisica.unam.mx

- [19] LABORATORIOS DE ACCESO REMOTO. UN NUEVO CONCEPTO EN LOS PROCESOS DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE.
<http://digital.ni.com/worldwide/latam.nsf>
- [20] LABORATORIO DE INFORMÁTICA VÍA INTERNET (LAVI).
<http://riai.isa.upv.es/CGIBIN/articulos>
- [21] LABVIEW. SERIAL COMMUNICATIONS. NATIONAL INSTRUMENTS. TEACH, RESEARCH AND LEARN.
<http://www.ni.com>
- [22] NATIONAL SEMICONDUCTOR. DATA SHEETS, SELECTION GUIDES. AMPLIFIERS /BUFFERS/COMPARATORS.
www.national.com
- [23] NORTON, ROBERT L. *CAM DESIGN AND MANUFACTURING HANDBOOK*. NEW YORK. 2002.
- [24] NYLAMID. CARACTERÍSTICAS Y APLICACIONES. GRUPO PALMEXICO.
<http://www.kjsteel.com.mx/ny.htm>
- [25] OMRON ELECTRONIC CONTROLS AND SYSTEMS.
<http://www.omronsensors.com>
- [26] ORDUÑA, JUAN MANUEL. *ARQUITECTURA Y PROGRAMACIÓN DE MICROCONTROLADORES*. VALENCIA. 1996.
- [27] PÉREZ, ROQUE CALERO. *FUNDAMENTOS DE MECANISMOS Y MAQUINARIAS PARA INGENIEROS*. MÉXICO. MCGRAW-HILL.
- [28] PRÁCTICAS DE CONTROL SOBRE PROCESOS REALES VÍA INTERNET (RECOLAB).
<http://isa.umh.es/arvc/documentos/articulos>
- [29] ROSCAS, TIPOS Y DIFERENCIAS.
<http://balbek.fi-c.unam.mx/Documentos/Normas>
- [30] RYDER, JOHN DOUGLAS. *ENGINEERING ELECTRONICS WITH INDUSTRIAL APPLICATIONS AND CONTROL*. ED. MCGRAW-HILL. 1957.
- [31] SOISSON, HAROLD E. *INSTRUMENTACIÓN INDUSTRIAL*. LIMUSA. 1980.
- [32] THOMAS L. FLOYD. *FUNDAMENTOS DE ELECTRÓNICA DIGITAL*. LIMUSA. 1996.
- [33] USATEGUI, JOSÉ MARÍA. *MICROCONTROLADORES PIC: DISEÑO PRÁCTICO DE APLICACIONES*. MADRID. MCGRAW-HILL. 2000.
- [34] USATEGUI, JOSÉ MARÍA. *MICROCONTROLADORES PIC: LA SOLUCIÓN EN UN CHIP*. MADRID. 1977.
- [35] ¿QUÉ ES UN MICROCONTROLADOR? VERSIÓN EN CASTELLANO 1.1.
www.parallex.com

APÉNDICE DE LA TESIS

SISTEMA MECATRÓNICO PARA CONTROLAR LA PRÁCTICA DE MOVIMIENTO RECTILÍNEO UNIFORMEMENTE ACELERADO.

APÉNDICES

A1. CÓDIGO DE CONTROL NUMÉRICO PARA EL MAQUINADO DE LA LEVA	1
A2. DIAGRAMAS ELECTRÓNICOS	3
A3. PCB'S DE LOS CIRCUITOS ELECTRÓNICOS	7
A4. HOJA DE ESPECIFICACIONES PIC16F877	11
A5. LISTADO DEL PROGRAMA EN ENSAMBLADOR PARA EL PIC16F877	14
A6. PROGRAMA DE LABVIEW	28

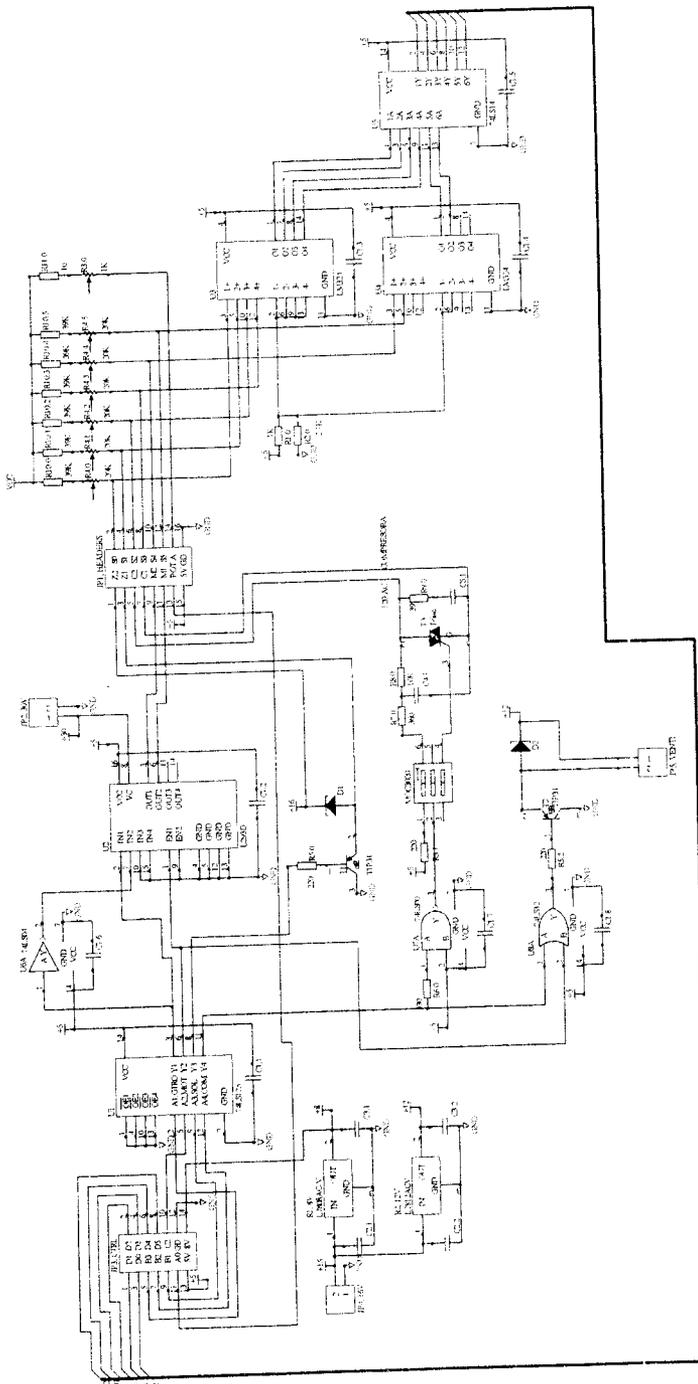
A1. CÓDIGO DE CONTROL NUMÉRICO PARA EL MAQUINADO DE LA LEVA.

%0100

N0000 G53 G54 G71 G94 T0101 M03 S1000
N0010 G00 X0. Y0. Z10.
N0020 G00 X-134.95 Y-89.9499
N0030 G00 Z2.
N0040 G01 Z-19.5 F200.
N0050 G01 X134.95 F100.
N0060 G01 Y-83.521
N0070 G01 X-134.95
N0080 G01 Y-77.0921
N0090 G01 X134.95
N0100 G00 Z10.
N0110 G00 X86.2669 Y-45.7336
N0120 G00 Z2.
N0130 G01 Z-19.5 F200.
N0140 G01 X86.3561 F100.
N0150 G03 X92.2563 Y-43.7626 I-0.045 J9.95
N0160 G01 X99.1956 Y-38.5924
N0170 G01 X71.4742
N0180 G01 X59.3252 Y-31.4511
N0190 G01 X108.7803
N0200 G01 X118.365 Y-24.3099
N0210 G01 X47.1762
N0220 G01 X35.0272 Y-17.1686
N0230 G01 X127.9497
N0240 G01 X129.9442 Y-15.6826
N0250 G01 X134.95
N0260 G01 Y-10.0274
N0270 G01 X22.8782
N0280 G01 X10.7292 Y-2.8862
N0290 G01 X134.95
N0300 G01 Y4.2551
N0310 G01 X-1.4198
N0320 G01 X-13.5688 Y11.3963
N0330 G01 X134.95
N0340 G01 Y18.5375
N0350 G01 X-25.7178
N0360 G01 X-37.8668 Y25.6788
N0370 G01 X134.95
N0380 G01 Y32.82
N0390 G01 X-50.0158
N0400 G01 X-62.1648 Y39.9612
N0410 G01 X134.95
N0420 G01 Y47.1025
N0430 G01 X-74.3137
N0440 G01 X-86.4627 Y54.2437
N0450 G01 X134.95
N0460 G01 Y61.385
N0470 G01 X-98.6117
N0480 G01 X-110.7607 Y68.5262

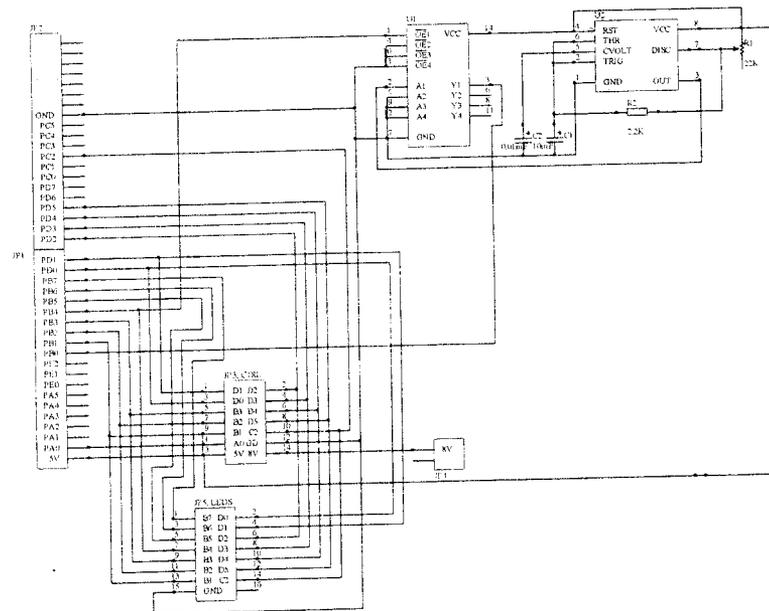
N0490 G01 X134.95
N0500 G01 Y75.6674
N0510 G01 X-134.95
N0520 G01 Y82.8087
N0530 G01 X134.95
N0540 G01 Y89.9499
N0550 G01 X-134.95
N0560 G00 Z10.
N0570 G00 X135. Y-90.
N0580 G00 Z2.
N0590 G01 Z-19.5 F200.
N0600 G01 Y-77.042 F100.
N0610 G01 X131.6187
N0620 G01 X-128.463
N0630 G01 X-135.
N0640 G01 Y-90.
N0650 G01 X135.
N0660 G00 Z10.
N0670 G00 Y-15.7326
N0680 G00 Z2.
N0690 G01 Z-19.5 F200.
N0700 G01 Y90. F100.
N0710 G01 X-135.
N0720 G01 Y72.1958
N0730 G01 X-128.463
N0740 G01 X-117.1023
N0750 G01 X80.8577 Y-44.166
N0760 G01 X80.9343 Y-44.2149
N0770 G03 X86.3115 Y-45.7837 I5.377 J8.431
N0780 G03 X92.2862 Y-43.8026 I0. J10.
N0790 G01 X129.9608 Y-15.7326
N0800 G01 X135.
N0810 G00 Z10.
N0820 M30

**A2. DIAGRAMA ELECTRÓNICO.
TARJETA PRINCIPAL.**



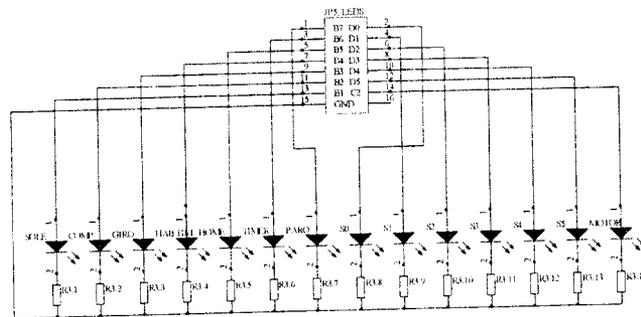
- » 1 CONECTOR TIRA DOBLE DE 14 PINES
- » 1 CONECTOR TIRA DOBLE 16 PINES
- » 3 CONECTOR TIRA DOBLE 2 PINES
- » 1 CONECTOR PARA CABLE PLANO 14 PINES
- » 1 CONECTOR PARA CABLE PLANO 16 PINES
- » 2 CONECTORES DOBLES PARA CABLE
- » 1 CAPACITOR CERÁMICO .05 MF
- » 1 CAPACITOR CERÁMICO .01 MF
- » 8 CAPACITORES ELECTROLÍTICOS 100 MF
- » 2 DIODOS IN4001
- » 3 RESISTENCIAS 220 OHMS
- » 1 RESISTENCIA 330 OHMS
- » 1 RESISTENCIA 360 OHMS
- » 1 RESISTENCIA 10 KOHMS
- » 6 RESISTENCIAS 39 KOHMS
- » 1 RESISTENCIA 39 OHMS
- » 1 RESISTENCIA 10 OHMS
- » 1 RESISTENCIA 1 KOHM
- » 1 RESISTENCIA 2.7 KOHMS
- » 6 PRESETS VERTICALES 10MM 20 KOHMS
- » 1 PRESET VERTICAL 1 KOHM
- » 1 74LS04
- » 1 L293D
- » 1 74LS32
- » 1 74LS00
- » 1 74LS14
- » 1 74LS125
- » 2 LM324
- » 2 TIP 31
- » 1 TRIAC 2N6073
- » 1 OPTOACOPADOR MOC 3020

A2. DIAGRAMA ELECTRÓNICO. TARJETA CONTROL PIC.



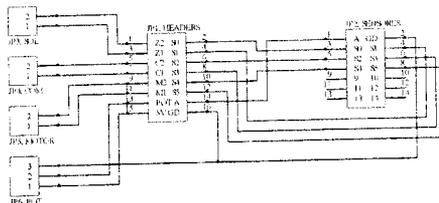
- » 1 TIRA DE 40 PINES
- » 1 CONECTOR TIRA DOBLE DE 14 PINES
- » 1 CONECTOR TIRA DOBLE DE 16 PINES
- » 1 CONECTOR TIRA DOBLE 2 PINES
- » 1 CONECTOR PARA CABLE PLANO 14 PINES
- » 1 CONECTOR PARA CABLE PLANO 16 PINES
- » 1 CONECTOR DOBLE PARA CABLE
- » 174LS126
- » 1 LM555
- » 1 CAPACITOR ELECTROLÍTICO 10 MF
- » 1 CAPACITOR CERÁMICO .01 MF
- » 1 RESISTENCIA 2.2 DE KOHMS
- » 1 PRESET VERTICAL DE 10MM DE 22 KOHMS

A2. DIAGRAMA ELECTRÓNICO. TARJETA INDICADORA.



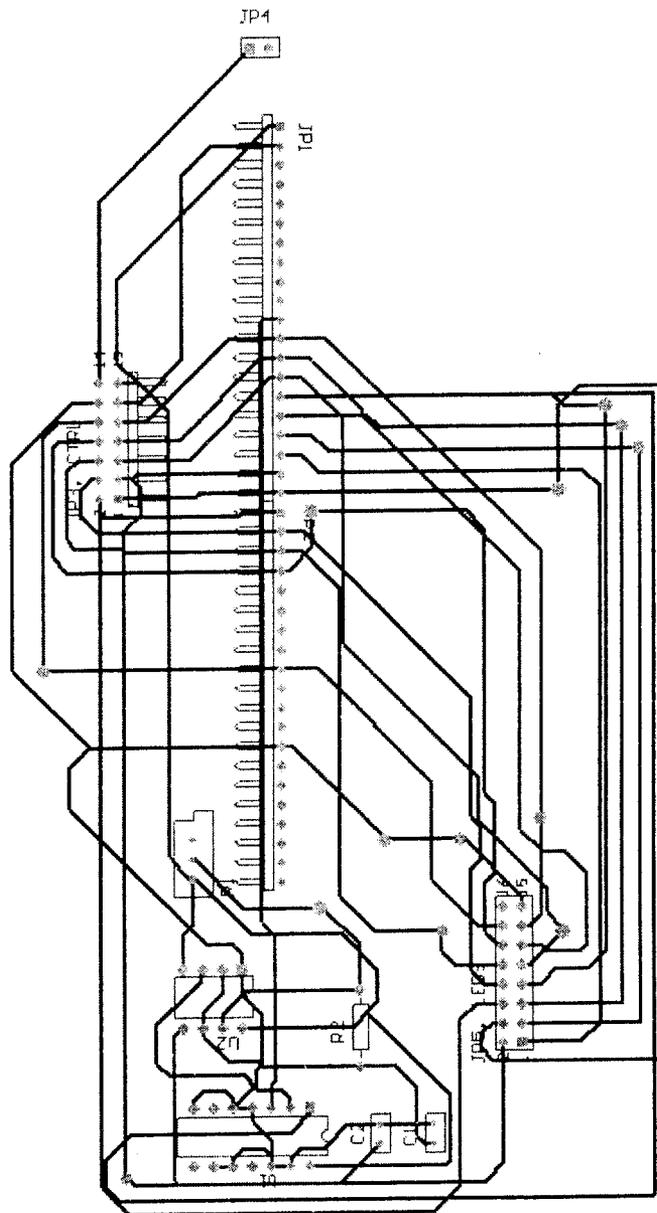
- » 1 CONECTOR TIRA DOBLE DE 16 PINES
- » 1 CONECTOR PARA CABLE PLANO 16 PINES
- » 14 RESISTENCIAS DE 1KOHM
- » 14 LEDS

A2. DIAGRAMA ELECTRÓNICO. TARJETA CONECTORES.

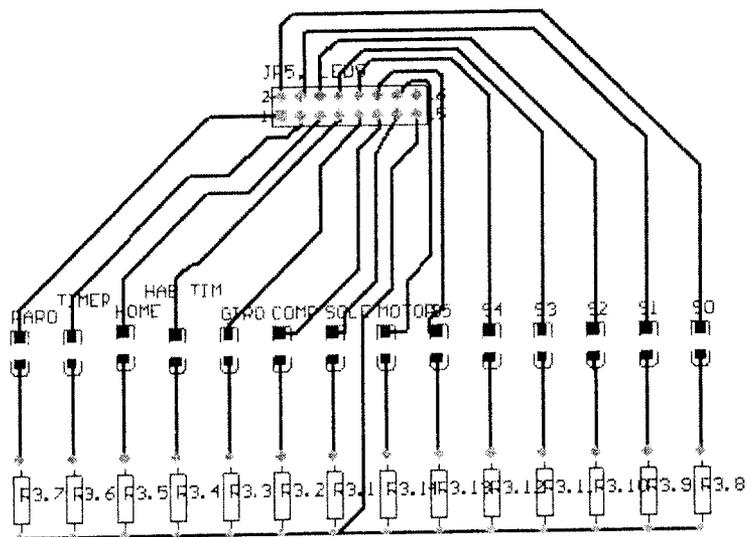


- » 4 CONECTORES TIRA DOBLE DE 2 PINES
- » 1 CONECTOR TIRA DOBLE DE 3 PINES
- » 1 CONECTOR TIRA DOBLE DE 16 PINES
- » 1 CONECTOR TIRA DOBLE DE 14 PINES
- » 4 CONECTORES DOBLES PARA CABLE
- » 1 CONECTOR TRIPLE PARA CABLE
- » 1 CONECTOR PARA CABLE PLANO 16 PINES
- » 1 CONECTOR PARA CABLE PLANO 14 PINES

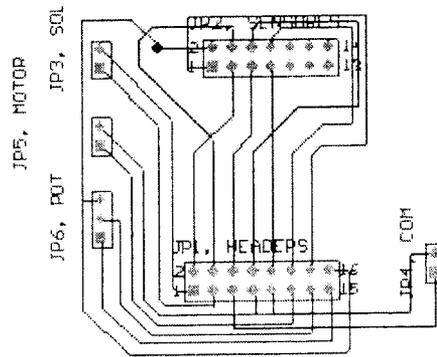
**PCB DIAGRAMA ELECTRÓNICO.
TARJETA CONTROL PIC.**



**PCB DIAGRAMA ELECTRÓNICO.
TARJETA INDICADORA.**



**PCB DIAGRAMA ELECTRÓNICO.
TARJETA CONECTORES.**



A4. HOJA DE ESPECIFICACIONES PIC16F877.

DIAGRAMA DE PINES.

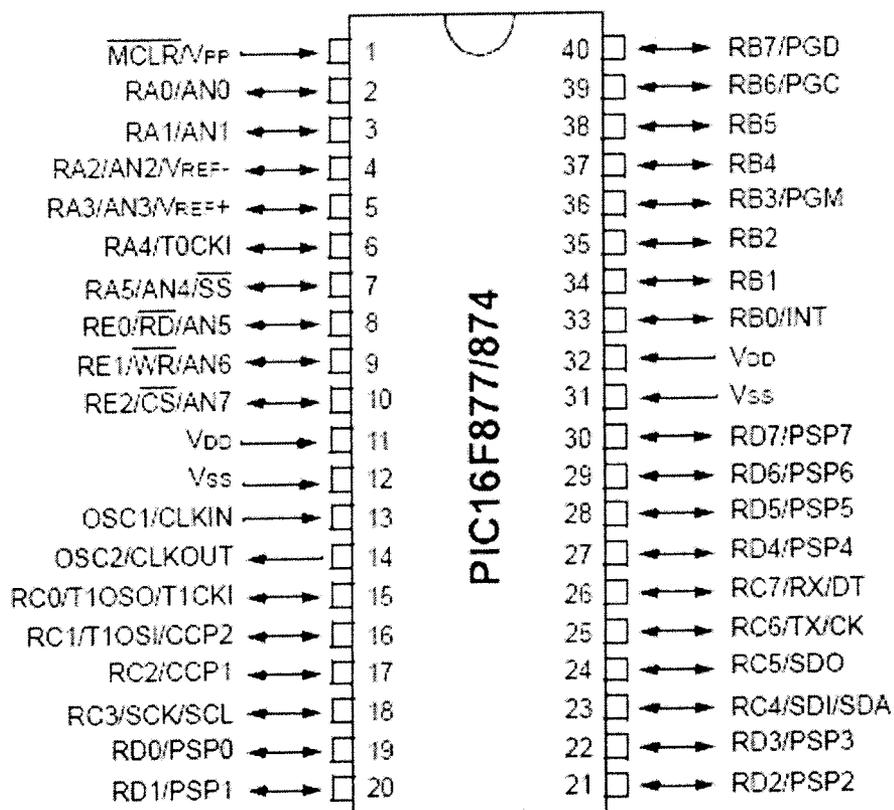
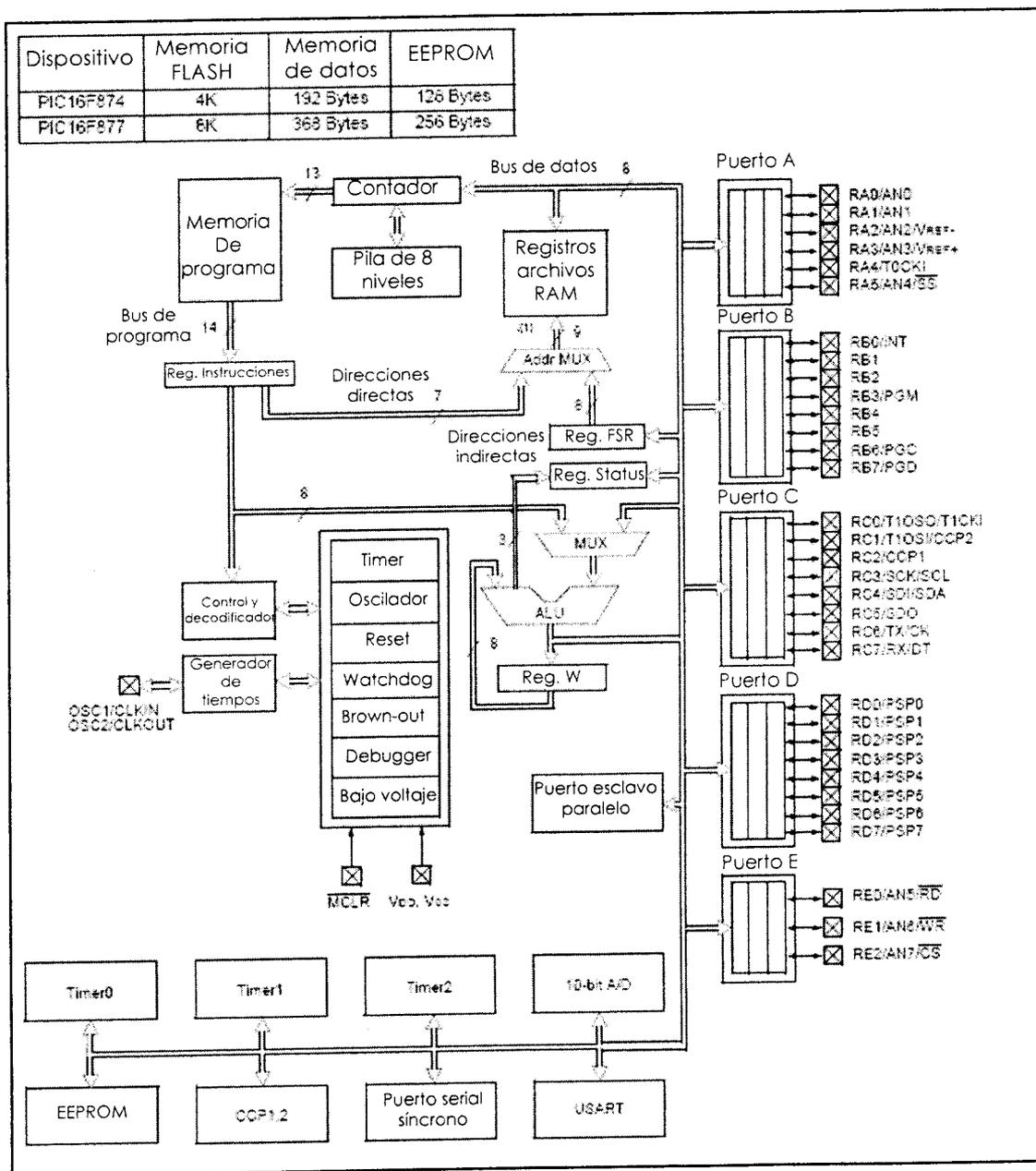


DIAGRAMA DE BLOQUES DEL PIC 16F877.



PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DEL PIC 16F877.

CARACTERÍSTICA	PIC16F877
FRECUENCIA DE OPERACIÓN	CD – 20 MHz
RESETS Y RETARDOS	POR, BOR (PWRT, OST)
MEMORIA DE PROGRAMA FLASH (PALABRAS DE 14 BITS)	8K
MEMORIA DE DATOS (BYTES)	368
MEMORIA EEPROM	256
INTERRUPCIONES	14
PUERTOS E/S	PUERTOS A, B, C, D, E
TIMERS	3
MÓDULO DE CAPTURA/COMPARACIÓN/PWM	2
COMUNICACIÓN SERIAL	MSSP, USART
COMUNICACIÓN PARALELA	PSP
MÓDULO ANALÓGICO-DIGITAL (10 BITS)	8 CANALES DE ENTRADA
SET DE INSTRUCCIONES	35 INSTRUCCIONES

A5. LISTADO DEL PROGRAMA EN ENSAMBLADOR PARA EL PIC16F877.

INCLUDE "P16F877.INC"

=====

;RAM DE USO GENERAL

TMP0	EQU	0x20
TMP1	EQU	0X21
ORIGEN	EQU	0X22
DESTINO	EQU	0X23
COMANDO	EQU	0X24
DATO	EQU	0X25
CHK	EQU	0X26
XOR_DATA	EQU	0X27
BIT_IND	EQU	0X28
VERIFICA	EQU	0X29
REG_POT	EQU	0X30
TEMP_POT	EQU	0X31
TEMP_INT	EQU	0X32
TEMP_TCH	EQU	0X33
CONT_TAB	EQU	0X35
CONT_BYT	EQU	0X36
TEMP_TCO	EQU	0X37
CONT_TCO	EQU	0X38
CONT_TIM	EQU	0X39
TIEMPO2	EQU	0X40
TIEMPO3	EQU	0X41
TIEMPO4	EQU	0X42
TIEMPO5	EQU	0X43
TEMP_AJU	EQU	0X44
REG_CALI	EQU	0X45
W_TEMP	EQU	0X70
ST_TEMP	EQU	0X71

=====

;CONSTANTES

VELOC	EQU	.129	;BAUD RATE 9600
PERIO	EQU	.160	
	ORG	0X00	;VECTOR DE INICIO
	GOTO	INI	
	ORG	0X04	
	GOTO	INTERRUP	;VECTOR DE INTERRUPCIÓN

=====

;TABLA DE VALORES PARA CHECK_SUM ERROR, TRANSMISIÓN INCORRECTA

TABLA_ERR	ADDWF	PCL,F	;PCL=PCL+W
	RETLW	0X6A	
	RETLW	0X4A	
	RETLW	0X42	

```
RETLW    0X3F
RETLW    0X3F
RETLW    0X3F
RETLW    0X3F
RETLW    0X63
RETLW    A#'
```

=====

;TABLA DE VALORES PARA CHECK_SUM ÉXITO, TRANSMISIÓN CORRECTA

```
TABLA_EX  ADDWF    PCL,F      ;PCL=PCL+W
           RETLW    0X6A
           RETLW    0X4A
           RETLW    0X43
           RETLW    0X3F
           RETLW    0X3F
           RETLW    0X3F
           RETLW    0X3F
           RETLW    0X62
           RETLW    A#'
```

=====

;CAMBIO AL BANCO 1

```
INI        BSF      STATUS,RP0
```

;CONFIGURACIÓN DE LA VELOCIDAD DE TRANSMISIÓN

```
           MOVLW    VELOC
           MOVWF    SPBRG
```

;CONFIGURACIÓN DEL REGISTRO TXSTA

```
           BCF      TXSTA,SYNC ;MODO ASÍNCRONO
           BSF      TXSTA,TXEN ;TRANSMISIÓN HABILITADA
           BSF      TXSTA,BRGH ;VELOCIDAD ALTA
```

;CONFIGURACIÓN DEL REGISTRO PIE1

```
           BSF      PIE1,RCIE  ;PERMISO INTERRUPCIÓN POR RECEPCIÓN
```

;CONFIGURACIÓN BITS DE TRANSMISION/RECEPCION

```
           BCF      TRISC,6    ;CONFIGURACIÓN BIT DE TRANSMISIÓN
           BSF      TRISC,7    ;CONFIGURACIÓN BIT DE RECEPCIÓN
```

;CONFIGURACIÓN DEL CONVERTIDOR ADC

```
           MOVLW    B'00000000' ;CONFIGURACIÓN DEL ADC
           MOVWF    ADCON1
```

;CONFIGURACIÓN DEL PERIODO PARA EL TIMER2

```
           MOVLW    PERIO
           MOVWF    PR2        ;CARGA EL PERIODO
```

;CONFIGURACIÓN DE SALIDAS/ENTRADAS

BCF	TRISB,1	;SALIDA, ON-OFF SOLENOIDE SUJECIÓN
BCF	TRISB,2	;SALIDA, ON-OFF COMPRESORA
BCF	TRISB,3	;SALIDA, SENTIDO DE GIRO MOTOR RIEL
BCF	TRISB,4	;SALIDA, HABILITACION TIMER
BCF	TRISB,5	;SALIDA, BANDERA DE HOME
BCF	TRISB,6	;SALIDA, LED CONTADOR TIMER
BCF	TRISB,7	;SALIDA, LED PARO GENERAL
BCF	TRISC,2	;SALIDA, PWM1, SALIDA ON-OFF MOTOR
BCF	TRISC,3	;SALIDA, REGISTRO PC-MIC
BCF	TRISC,4	;SALIDA, REGISTRO INICIO PRÁCTICA
BSF	TRISB,0	;ENTRADA INTERRUPCIÓN EXTERNA
BSF	TRISA,0	;ENTRADA ANALÓGICA POTENCIÓMETRO
BSF	TRISD,0	;ENTRADA SENSOR PARA SUJECIÓN
BSF	TRISD,1	;ENTRADA SENSOR 1
BSF	TRISD,2	;ENTRADA SENSOR 2
BSF	TRISD,3	;ENTRADA SENSOR 3
BSF	TRISD,4	;ENTRADA SENSOR 4
BSF	TRISD,5	;ENTRADA SENSOR 5
BSF	TRISD,6	;ENTRADA SWITCH HOME

;CONFIGURACION DEL WATCHDOG TIMER

```

;
;      MOVLW      B'11101111'
;      MOVWF     OPTION_REG
;

```

=====

;CAMBIO AL BANCO 0

```

BCF      STATUS,RP0

```

;CONFIGURACIÓN DEL REGISTRO RCSTA

```

BSF      RCSTA,SPEN ;PUERTO SERIAL HABILITADO
BSF      RCSTA,CREN ;RECEPCION CONTINUA HABILITADA

```

;CONFIGURACIÓN DEL REGISTRO INTCON

```

BSF      INTCON,GIE ;PERMISO GLOBAL DE INTERRUPTONES
BSF      INTCON,PEIE ;PERMISO DE INTERR. POR PERIFERICOS
BSF      INTCON,INTE ;PERMISO DE INTERRUPCIÓN EXTERNA

```

;CONFIGURACIÓN DEL MODO PWM

```

MOVLW   B'00001100' ;MODO PWM
MOVWF   CCP1CON
CLR     CCPR1L ;CICLO DE TRABAJO COMIENZA EN 0%

```

;CONFIGURACIÓN DEL TIMER 2

```
        MOVLW    B'00000111'    ;BITS DE CONFIGURACIÓN DEL TIMER 2
        MOVWF    T2CON
```

;REGISTROS A CERO

```
        CLRF     TMP0
        CLRF     TMP1
        CLRF     ORIGEN
        CLRF     DESTINO
        CLRF     COMANDO
        CLRF     DATO
        CLRF     CHK
        CLRF     XOR_DATA
        CLRF     BIT_IND
        CLRF     VERIFICA
        CLRF     REG_POT
        CLRF     TEMP_POT
        CLRF     TEMP_INT
        CLRF     TEMP_TCH
        CLRF     CONT_TAB
        CLRF     CONT_BYT
        CLRF     TEMP_TCO
        CLRF     CONT_TCO
        CLRF     CONT_TIM
        CLRF     TIEMPO2
        CLRF     TIEMPO3
        CLRF     TIEMPO4
        CLRF     TIEMPO5
        CLRF     TEMP_AJU
        CLRF     REG_CALI
```

;SALIDAS A CERO

```
        BCF     PORTB,1
        BCF     PORTB,2
        BCF     PORTB,3
        BCF     PORTB,4
        BCF     PORTB,5
        BCF     PORTB,6
        BCF     PORTB,7

        BCF     PORTC,2
        BCF     PORTC,3
        BCF     PORTC,4
```

=====
;PROGRAMA PRINCIPAL

```
MAIN    MOVF     VERIFICA,W
        XORLW   B'00000001'
        BTFSC  STATUS,Z    ;NUEVO DATO RECIBIDO?
        GOTO   START      ;SI
        GOTO   MAIN       ;NO
```

```

START      MOVF      DESTINO,W
           XORLW    0X6A
           BTFSS   STATUS,Z      ;EL DESTINO ES ESTE DISPOSITIVO?
           GOTO   MAIN          ;NO, OTRO DESTINO
           BTFSS   PORTC,4      ;SI, REGISTRO DE INICIO ACTIVADO?
           GOTO   PREG_INI     ;NO
           GOTO   PREG_HO      ;SI

PREG_INI   MOVF      COMANDO,W
           XORLW    0X57
           BTFSS   STATUS,Z      ;INICIO DE PRACTICA?
           GOTO   MAIN          ;NO
           BSF     PORTC,4      ;SI, ACTIVA REGISTRO DE INICIO PRÁCTICA
           GOTO   PREG_HO

PREG_HO    MOVF      COMANDO,W
           XORLW    0X50
           BTFSS   STATUS,Z      ;HOME?
           GOTO   PREG_UP     ;NO
           BCF     PORTB,3      ;SI, SENTIDO DE GIRO ABAJO
           CALL    HOME        ;VE A SUBROUTINA HOME
           GOTO   MAIN

PREG_UP    MOVF      COMANDO,W
           XORLW    0X51
           BTFSS   STATUS,Z      ;CALIBRAR HACIA ARRIBA?
           GOTO   PREG_DO     ;NO
           CALL    FIN_GRU     ;SI, VE A SUBROUTINA FIN_GRU
           BSF     PORTB,3
           CALL    CALIBRAR    ;VE A SUBROUTINA CALIBRAR
           BSF     PORTC,3      ;ACTIVA REGISTRO DE CALIBRACIÓN
           GOTO   MAIN

PREG_DO    MOVF      COMANDO,W
           XORLW    0X52
           BTFSS   STATUS,Z      ;CALIBRAR HACIA ABAJO?
           GOTO   PREG_PO     ;NO
           CALL    FIN_GRU     ;SI, VE A SUBROUTINA FIN_GRU
           BCF     PORTB,3
           CALL    CALIBRAR    ;VE A SUBROUTINA CALIBRAR
           BSF     PORTC,3      ;ACTIVA REGISTRO DE CALIBRACIÓN
           GOTO   MAIN

PREG_PO    MOVF      COMANDO,W
           XORLW    0X53
           BTFSS   STATUS,Z      ;POSICIÓN?
           GOTO   PREG_CO     ;NO
           CALL    POSICION    ;SI, VE A SUBROUTINA POSICIÓN
           BSF     PORTB,3
           CALL    SUBE        ;VE A SUBROUTINA SUBE
           CLRF    CCPR1L
           BCF     PORTB,5
           GOTO   MAIN

```

PREG_CO	MOVF XORLW BTFSS GOTO CALL GOTO	COMANDO,W 0X54 STATUS,Z ;ACTIVAR COMPRESORA? PREG_SO ;NO COMPRES ;SI, VE A SUBROUTINA COMPRES MAIN
PREG_SO	MOVF XORLW BTFSS GOTO CLRF CALL GOTO	COMANDO,W 0X55 STATUS,Z ;ACTIVAR SOLENOIDE? PREG_PA ;NO, CONT_TIM ;SI SOLENOI ;VE A SUBROUTINA SOLENOI MAIN
PREG_PA	MOVF XORLW BTFSS GOTO BSF CLRF CALL BCF GOTO	COMANDO,W 0X56 STATUS,Z ;PARO GENERAL? PREG_PCC ;NO PORTB,7 ;SI CONT_TAB PARO_GE ;VE A SUBROUTINA PARO_GE PORTB,7 INI
PREG_PCC	MOVF XORLW BTFSS GOTO CALL GOTO	COMANDO,W 0X58 STATUS,Z ;COMUNICACIÓN PC_MICRO? PREG_FIN ;NO PC_MIC ;SI, VE A SUBROUTINA PC_MIC MAIN
PREG_FIN	MOVF XORLW BTFSS GOTO CLRF BCF BCF CLRF GOTO	COMANDO,W 0X59 STATUS,Z ;FIN DE PRÁCTICA? PREG_SAVE ;NO CCPR1L ;SI, ACTUADORES DETENIDOS PORTB,1 PORTB,2 VERIFICA INI
PREG_SAVE	MOVF XORLW BTFSS GOTO CALL MOVF MOVWF CLRF GOTO	COMANDO,W 0X5A STATUS,Z ;GUARDAR VALOR DE CALIBRACIÓN? START ;NO ADC ;SI, VE A SUBROUTINA ADC REG_POT,W REG_CALI VERIFICA MAIN

=====

PROGRAMA DE LA INTERRUPCIÓN

```

INTERRUP    CALL    SAVE_DATA
            BTFSS   PIR1,RCIF    ;INTERRUPCION POR RECEPCIÓN?
            GOTO   INT_E        ;NO
            BCF    PIR1,RCIF    ;SI, REPON BANDERA DE INTERR/ RECEP.
            GOTO   INT_RX

INT_E       BTFSS   INTCON,INTF ;INTERRUPCIÓN EXTERNA?
            GOTO   REST        ;NO, FALSA INTERRUPCIÓN
            BCF    INTCON,INTF ;SI, REPON BANDERA DE INTER. EXTERNA
            GOTO   INT_EXT

INT_EXT     BTFSS   PORTB,6     ;LED ACTIVADA?
            GOTO   ON_LED      ;NO
            BCF    PORTB,6     ;SI, APAGA
            GOTO   TIM

ON_LED     BSF    PORTB,6     ;ENCIENDE
TIM        CALL   TIMER       ;VEE A SUBROUTINA TIMER
            GOTO   REST

INT_RX     MOVF    RCREG,W
            MOVWF  TEMP_INT
            INCF  CONT_BYT,F
            CALL   DATOS      ;VE A SUBRUTIBNA DATOS
            BTFSS BIT_IND,0   ;TRAMA DE 5 BYTES?
            GOTO   REST
            GOTO   ACA

ACA        CLRF   CONT_BYT    ;REINICIA CONTADOR BYTES
            CLRF  CONT_TAB    ;REINICIA CONTADOR TABLA
            CALL  CHECK      ;VE A SUBROUTINA CHECK

REST      CALL   REST_DATA   ;VE A SUBROUTINA REST_DATA
VOLVER_I  RETFIE
    
```

=====

SUBROUTINA PARA IR A HOME

```

HOME       BTFSS   PORTB,5     ;MÓVIL ESTÁ EN HOME?
            GOTO   GO_MOV      ;NO
            GOTO   GO_HOME    ;SI

GO_MOV     CALL   SUJETA      ;VE A SUBROUTINA SUJETA
GO_HOME    BTFSC   PORTD,6     ;LLEGO A HOME?
            GOTO   VOLVER_H   ;SI, REGRESA
            MOVLW .150        ;NO, ENCIENDE MOTOR RIEL
            MOVWF CCPR1L
            GOTO   HOME

SUJE      CALL   SUJETA      ;VE A SUBROUTINA SUJETA
            GOTO   VOLVER_H

VOLVER_H   CLRF   CCPR1L
    
```

```

BTFSS    PORTB,5    ;MÓVIL ESTA EN HOME?
GOTO     SUJE       ;NO
CLRF     VERIFICA   ;SI
BCF      PORTB,2
RETURN   ;REGRESA AL PROGRAMA PRINCIPAL

```

=====

;SUBROUTINA PARA SUJETAR EL MÓVIL

```

SUJETA   BTFSC    PORTD,0    ;MÓVIL EN HOME?
          GOTO     VOLVER_SU  ;SI
          BSF      PORTB,2    ;NO, ACTIVA COMPRESORA
          BTFSS    PORTD,1    ;SENSOR 1 HA DETECTADO AL MÓVIL?
          RETURN   ;NO
          BSF      PORTB,1    ;SI, ACTIVA SOLENOIDE
          BTFSS    PORTD,0    ;SENSOR 0 HA DETECTADO AL MÓVIL?
          GOTO     $-1        ;NO, ESPERA
          BCF      PORTB,1    ;SI, DESACTIVA SOLENOIDE
          BCF      PORTB,2
VOLVER_SU BSF      PORTB,5
          RETURN

```

=====

;SUBROUTINA PARA AJUSTE FINO Y GRUESO

```

FIN_GRU  MOVF     DATO,W
          XORLW   0X30
          BTFSS  STATUS,Z    ;AJUSTE FINO?
          GOTO   AJU_GRU     ;NO
          MOVLW  .135        ;SI, VALOR PARA AJUSTE FINO
          MOVWF  TEMP_AJU
          GOTO   VOLVER_AJU

AJU_GRU  MOVF     DATO,W
          XORLW   0X31
          BTFSS  STATUS,Z    ;AJUSTE GRUESO?
          GOTO   FIN_GRU     ;NO
          MOVLW  .160        ;SI, VALOR PARA AJUSTE GRUESO
          MOVWF  TEMP_AJU
VOLVER_AJU CLRF    VERIFICA
          RETURN   ;REGRESA AL PROGRAMA PRINCIPAL

```

=====

;SUBROUTINA PARA CALIBRAR A CERO

```

CALIBRAR MOVF     TEMP_AJU,W
          MOVWF  CCPR1L     ;ENCIENDE MOTOR RIEL
          RETURN   ;REGRESA AL PROGRAMA PRINCIPAL

```

=====

;SUBROUTINA PARA PREGUNTAR A QUE POSICIÓN ANGULAR IRA RIEL

```

POSICION CLRF     CCPR1L
GRADO_0  MOVF     DATO,W
          XORLW   0X30     ;COMPARA CON 0

```

```

        BTFSS     STATUS,Z      ;¿ES IGUAL A 0?
        GOTO     GRADO_1      ;NO
        MOVF     REG_CALI,W    ;SI
        MOVWF    TEMP_POT
        GOTO     VOLVER_PO
GRADO_1 MOVF     DATO,W
        XORLW   0X31          ;COMPARA CON 1
        BTFSS   STATUS,Z      ;¿ES IGUAL A 1?
        GOTO     GRADO_2
        MOVLW   .5
        ADDWF   REG_CALI,W
        MOVWF   TEMP_POT
        GOTO     VOLVER_PO
GRADO_2 MOVF     DATO,W
        XORLW   0X32          ;COMPARA CON 2
        BTFSS   STATUS,Z      ;¿ES IGUAL A 2?
        GOTO     GRADO_3
        MOVLW   .10
        ADDWF   REG_CALI,W
        MOVWF   TEMP_POT
        GOTO     VOLVER_PO
GRADO_3 MOVF     DATO,W
        XORLW   0X33          ;COMPARA CON 3
        BTFSS   STATUS,Z      ;¿ES IGUAL A 3?
        GOTO     GRADO_4
        MOVLW   .15
        ADDWF   REG_CALI,W
        MOVWF   TEMP_POT
        GOTO     VOLVER_PO
GRADO_4 MOVF     DATO,W
        XORLW   0X34          ;COMPARA CON 4
        BTFSS   STATUS,Z      ;¿ES IGUAL A 4?
        GOTO     GRADO_5
        MOVLW   .20
        ADDWF   REG_CALI,W
        MOVWF   TEMP_POT
        GOTO     VOLVER_PO
GRADO_5 MOVF     DATO,W
        XORLW   0X35          ;COMPARA CON 5
        BTFSS   STATUS,Z      ;¿ES IGUAL A 5?
        GOTO     GRADO_0
        MOVLW   .25
        ADDWF   REG_CALI,W
        MOVWF   TEMP_POT
        GOTO     VOLVER_PO
VOLVER_PO CLRF     VERIFICA
        RETURN                ;REGRESA AL PROGRAMA PRINCIPAL
    
```

=====

;SUBROUTINA PARA LLEVAR EL MECANISMO A LA POSICIÓN ANGULAR

```

SUBE     MOVLW   .160          ;CARGA VALOR PWM
        MOVWF   CCPR1L        ;ENCIENDE MOTOR RIEL
SUBE_C   CALL    ADC
        MOVF    REG_POT,W
    
```

```

XORWF    TEMP_POT,W
BTFSC   STATUS,Z    ;¿LLEGO A LA POSICIÓN?
RETURN  ;SI, REGRESA AL PROGRAMA PRINCIPAL
GOTO    SUBE_C      ;NO
    
```

=====

;SUBROUTINA PARA ACTIVAR COMPRESORA

```

COMPRES  BTFSS   PORTB,2    ;¿COMPRESORA ACTIVADA?
          GOTO   ON_COM     ;NO
          BCF    PORTB,2    ;SI, APAGA COMPRESORA
          GOTO   VOLVER_CO
ON_COM   BSF     PORTB,2    ;ENCIENDE COMPRESORA
VOLVER_CO CLR    VERIFICA
          RETURN            ;REGRESA AL PROGRAMA PRINCIPAL
    
```

=====

;SUBROUTINA PARA ACTIVAR SOLENOIDE Y TOMA DE LECTURAS

```

SOLENOI  BSF     PORTB,1    ;ENCIENDE SOLENOIDE SUJECIÓN
          BTFSS  PORTD,1    ;¿SENSOR 1 ACTIVADO?
          GOTO   $-1        ;NO, ESPERA
          BCF    PORTB,1    ;SI, APAGA SOLENOIDE SUJECIÓN

          BSF    PORTB,4    ;HABILITA TIMER
          BTFSS  PORTD,2    ;¿SENSOR 2 ACTIVADO?
          GOTO   $-1        ;NO, ESPERA
          MOVF   CONT_TIM,W ;SI, REGISTRA TIEMPO
          MOVWF  TIEMPO2
          BTFSS  PORTD,3    ;¿SENSOR 3 ACTIVADO?
          GOTO   $-1        ;NO, ESPERA
          MOVF   CONT_TIM,W ;SI, REGISTRA TIEMPO
          MOVWF  TIEMPO3
          BTFSS  PORTD,4    ;¿SENSOR 4 ACTIVADO?
          GOTO   $-1        ;NO, ESPERA
          MOVF   CONT_TIM,W ;SI, REGISTRA TIEMPO
          MOVWF  TIEMPO4
          BTFSS  PORTD,5    ;¿SENSOR 5 ACTIVADO?
          GOTO   $-1        ;NO, ESPERA
          MOVF   CONT_TIM,W ;SI, REGISTRA TIEMPO
          MOVWF  TIEMPO5
          BCF    PORTB,4    ;DESHABILITA TIMER
          BCF    PORTB,2    ;DESACTIVAR COMPRESORA

TIEMPOS  MOVLW  0X6A        ;TRANSMITE LA LECTURA DE LOS TIEMPOS
          CALL  TRANS
          MOVLW  0X4A
          CALL  TRANS
          MOVLW  0X40
          CALL  TRANS
          MOVF  TIEMPO2,W
          CALL  TRANS
          MOVF  TIEMPO3,W
          CALL  TRANS
          MOVF  TIEMPO4,W
    
```

```

CALL      TRANS
MOVF     TIEMPO5,W
CALL      TRANS
MOVLW    0X61
CALL      TRANS

VOLVER_SO CLRF      VERIFICA
RETURN    ;REGRESA AL PROGRAMA PRINCIPAL

```

=====

;SUBROUTINA PARA EL PARO GENERAL

```

PARO_GE  CLRF      CCPR1L ;PARA EL MOTOR
          BCF      PORTB,1 ;DESACTIVA SOLENOIDE
          BCF      PORTB,2 ;APAGA COMPRESORA
          CLRF     VERIFICA
          RETURN    ;REGRESA AL PROGRAMA PRINCIPAL

```

=====

;SUBROUTINA COMUNICACION PC-MICRO

```

PC_MIC   BTFSS    PORTC,3 ;¿REGISTRO ACTIVADO?
          GOTO    VOLVER_PC ;NO
          CLRF    CCPR1L ;SI, PARA EL MOTOR
          BCF     PORTC,3
VOLVER_PC CLRF     VERIFICA
          RETURN  ;REGRESA AL PROGRAMA PRINCIPAL

```

=====

;SUBROUTINA PARA EL TIMER

```

TIMER    INCF     ;CONT_TIM,F ;INCREMENTE LA CUENTA DEL TIMER
          RETURN  ;REGRESA

```

=====

;SUBROUTINA PARA ALMACENAR DATOS HASTA TENER UNA TRAMA DE 5 BYTES

```

DATOS
COMP_1   MOVF     CONT_BYT,W
          XORLW   .1
          BTFSS  STATUS,Z ;¿CONTADOR = 1?
          GOTO   COMP_2   ;NO
          MOVF   TEMP_INT,W ;SI
          MOVWF  ORIGEN
          CLRF   BIT_IND   ;LIMPIA REGISTRO INDICADOR
          GOTO   VOLVER_D

COMP_2   MOVF     CONT_BYT,W ;¿CONTADOR = 2?
          XORLW   .2
          BTFSS  STATUS,Z
          GOTO   COMP_3   ;NO
          MOVF   TEMP_INT,W ;SI
          MOVWF  DESTINO
          CLRF   BIT_IND   ;LIMPIA REGISTRO INDICADOR
          GOTO   VOLVER_D

```

```

COMP_3    MOVF    CONT_BYT,W ;CONTADOR = 3?
          XORLW  .3
          BTFSS  STATUS,Z
          GOTO   COMP_4      ;NO
          MOVF  TEMP_INT,W  ;SI
          MOVWF  COMANDO
          CLRF  BIT_IND      ;LIMPIA REGISTRO INDICADOR
          GOTO  VOLVER_D

COMP_4    MOVF    CONT_BYT,W ;CONTADOR = 4?
          XORLW  .4
          BTFSS  STATUS,Z
          GOTO   COMP_5      ;NO
          MOVF  TEMP_INT,W  ;SI
          MOVWF  DATO
          CLRF  BIT_IND      ;LIMPIA REGISTRO INDICADOR
          GOTO  VOLVER_D

COMP_5    MOVF    CONT_BYT,W ;CONTADOR = 5?
          XORLW  .5
          BTFSS  STATUS,Z
          GOTO   COMP_1      ;NO
          MOVF  TEMP_INT,W  ;SI
          MOVWF  CHK
          BSF   BIT_IND,0    ;ACTIVA REGISTRO INDICADOR
VOLVER_D  RETURN           ;REGRESA

```

=====

;**SUBROUTINA PARA EL CHECK_SUM MEDIANTE LA FUNCION XOR**

```

CHECK     MOVLW  B'00000001' ;REALIZA EL CHK_SUM DE TRAMA RECIBIDA
          XORWF  ORIGEN,W
          XORWF  DESTINO,W
          XORWF  COMANDO,W
          XORWF  DATO,W
          MOVWF  XOR_DATA
          MOVF  XOR_DATA,W
          XORWF  CHK,W
          BTFSS  STATUS,Z
          GOTO  ERROR_CHK
          GOTO  EXITO_CHK

ERROR_CHK MOVF  CONT_TAB,W ;CHK_SUM NO COINCIDE
          CALL  TABLA_ERR
          MOVWF TEMP_TCH
          MOVF  TEMP_TCH,W
          XORLW A#
          BTFSC STATUS,Z
          RETURN ;REGRESA
          MOVF  TEMP_TCH,W
          CALL  TRANS
          INCF  CONT_TAB,F
          GOTO  ERROR_CHK

```

```
EXITO_CHK BSF VERIFICA,0 ;CHK_SUM COINCIDE
           MOVF CONT_TAB,W
           CALL TABLA_EX
           MOVWF TEMP_TCH
           MOVF TEMP_TCH,W
           XORLW A'#'
           BTFSC STATUS,Z
           RETURN ;REGRESA
           MOVF TEMP_TCH,W
           CALL TRANS
           INCF CONT_TAB,F
           GOTO EXITO_CHK
```

=====

;SUBROUTINA PARA SALVAR DATOS CUANDO SE ENTRA A UNA INTERRUPCIÓN

```
SAVE_DATA MOVWF W_TEMP
           MOVF STATUS,W
           MOVWF ST_TEMP
           RETURN
```

=====

;SUBROUTINA PARA RESTAURAR DATOS CUANDO SE SALE DE UNA INTERRUPCIÓN

```
REST_DATA MOVF ST_TEMP,W
           MOVWF STATUS
           SWAPF W_TEMP,F
           SWAPF W_TEMP,W
           RETURN
```

=====

;SUBROUTINA PARA CONTROLAR EL MÓDULO ADC

```
ADC MOVLW B'10000001' ;CONFIGURACIÓN DEL MÓDULO ADC
     MOVWF ADCON0
     CALL DELAYADC
     BSF ADCON0,2 ;INICIA CONVERSIÓN A/D
     BTFSC ADCON0,2 ;¿CONVERSIÓN TERMINADA?
     GOTO $-1 ;NO, ESPERA
     MOVF ADRESH,W ;SI
     MOVWF REG_POT ;CARGA EL VALOR A REGISTRO TEMPORAL
     CALL DELAYADC
     CALL DELAYADC
     RETURN ;REGRESA
```

=====

;TIEMPO DE ADQUISICIÓN PARA EL ADC

```
DELAYADC MOVLW .5
           MOVWF TMP0
DEL0 MOVLW .5
           MOVWF TMP1
DEL1 DECFSZ TMP1,F
           GOTO DEL1
```

```
DECFSZ    TMP0,F  
GOTO      DELO  
RETURN                                ;REGRESA
```

=====

;SUBROUTINA PARA LA TRANSMISIÓN DE DATOS

```
TRANS     BCF          PIR1,TXIF  
          MOVWF       TXREG  
          BSF         STATUS,RP0  
TX_DAT_W  BTFSS       TXSTA,TRMT ;¿TRANSMISIÓN FINALIZADA?  
          GOTO        TX_DAT_W   ;NO, ESPERA  
          BCF         STATUS,RP0 ;SI  
          RETURN      ;REGRESA  
  
          END
```