

25
2y



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO**

FACULTAD DE INGENIERIA

**REDISEÑO DEL CONTROL PARA LA
IMPRESORA DE CODIGO BRAILLE.**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO EN COMPUTACION
P R E S E N T A N :
FABIOLA CAAMAÑO ROSAS
MARIO SANTANA FABIAN

DIRECTOR: DR. MARCELO LOPEZ PARRA



MEXICO, D.F.

1996

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

AGRADECIMIENTOS

A la Facultad de Ingeniería por habernos proporcionado los medios para tener una visión más amplia del mundo, desde los puntos de vista académico, tecnológico y social. La mejor enseñanza que se puede obtener en esta Facultad, es la certeza de que no existen retos tan difíciles, que no se puedan realizar con constancia, empeño e ingenio.

A las personas del Centro de Diseño y Manufactura que colaboraron en el proyecto de la impresora, a las que nos auxiliaron y asesoraron cuando lo necesitamos, y a las que nos brindaron su amistad, haciendo nuestro trabajo más fácil y agradable. Especialmente hacemos mención a:

Ing. Alberto Vargas Soto por dirigir nuestro trabajo durante el proyecto de la impresora de código Braille, prestando su apoyo en todo momento.

Ing. Jaime Villegas Blanco por su disposición en la integración del sistema mecánico y de control de la impresora.

Dr. Marcelo López Parra por participar en la elaboración de esta tesis.

A la gente con discapacidad visual, deseando que este trabajo sea un avance importante en su afán por conseguir mayor cantidad de bibliografía y que ayude a incrementar el interés que la sociedad presta a su situación.

Fabiola y Mario

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de tesis a mis amigos que siempre han estado conmigo y a mis maestros por haberme dejado parte de su formación y conocimientos.

Y con especial atención a mi mamá Imelda Fabián Pulido, dedico este trabajo y aprovecho para agradecerle el haberme dado la oportunidad de hacer una carrera universitaria.

Mario

ÍNDICE

TEMA	PÁG.
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN.	1
CAPÍTULO 2. ANTECEDENTES.	5
2.1.Descripción del problema.	6
2.2.Beneficios esperados.	7
2.3.Búsqueda de información.	9
2.4.Generación, análisis y evaluación de alternativas de solución.	20
2.5.Desarrollo de la alternativa elegida.	24
2.5.1.Sistema mecánico.	26
2.5.2.Sistema de control.	28
CAPÍTULO 3. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.	29
3.1.Sistemas que integran la impresora de código Braille.	30
3.2.Objetivo general.	32
3.3.Objetivos específicos.	33
3.4.Análisis del problema.	34
3.4.1.Sistema de control.	34
3.4.2.Sistema de energía.	37
3.5.Criterios y restricciones.	38
3.5.1.Sistema de control.	38
3.5.2.Sistema de energía.	46

5.4.1.5.Comunicación con las etapas de potencia de solenoides.	97
5.4.1.6.Comunicación con las etapas de potencia de motores.	97
5.4.1.7.Integración de la etapa electrónico digital.	98
5.4.2.Dispositivos electromecánicos y sensores.	101
5.4.2.1.Sensores.	101
5.4.2.2.Solenoides.	102
5.4.2.3.Motor de pasos.	103
5.4.3.Etapas de potencia para motores de pasos.	107
5.4.3.1.Amplificador de señal pequeña.	107
5.4.3.2.Optoaislador.	110
5.4.3.3.Amplificador de señal grande.	111
5.4.3.4.Funcionamiento de la etapa de potencia.	112
5.4.4.Etapas de potencia para solenoides.	113
5.4.4.1.MOC3011.	114
5.4.4.2.TIC116C.	115
5.4.5.Programa de control del hardware.	117
5.4.5.1.Inicializaciones.	118
5.4.5.2.Recepción de archivo.	119
5.4.5.3.Impresión de archivo.	122
5.4.5.4.Subrutinas.	127
5.Especificaciones.	129
6. CONCLUSIONES.	132
GRAFÍA	137

ABREVIATURAS

En la siguiente lista se incluyen las abreviaturas de uso frecuente durante el presente documento.

μ c	Microcontrolador.
μ p	Microprocesador.
Ω	Ohms.
A	Amperes, medida de corriente eléctrica.
ACK/	Acknowledge, señal de reconocimiento enviada
ACKNLQ	por la impresora en la transferencia handshake.
ALE	Adress Latch Enable – Habilitador para latch de dirección.
ALU	Unidad aritmético lógica.
ANSI	American National Standards Institute – Instituto de estándares nacionales americanos.
ASCII	American Standar Code International Interchange – Código estándar americano para intercambio de información.
B	Byte que equivale a 8 bits.
BIOS	Basic Input/Output System – Sistema básico de entrada-salida.
CA	Corriente alterna.
CD	Corriente directa.
CH-GND	Tierra física del chasis.
CI	Circuito integrado.
CS	Chip Selected – Circuito integrado seleccionado.

DPTR	Data pointer - Apuntador de datos del microcontrolador 8031 de 16 bits.
E/S	Entrada-salida, aplicable para líneas de puerto de comunicación.
EPROM	Erase Programmable Read Only Memory - Memoria especial para leerse, solo borrable y programable por métodos eléctricos especiales. Será equivalente a utilizar memoria de programa.
FET	Field Effect Transistor - Transistor de efecto de campo.
QAP	Tipo de encapsulo para sensor óptico.
QND	Ground - Tierra física, nivel de voltaje de referencia.
QTO	Gate Thristor Off - Tiristor de compuerta de apagado.
ISO	International Standards Organization - Organización de estándares internacionales.
I_b	Corriente de base del transistor.
IBM	International Bussines Machine, empresa que se meciona por los estándares dentro de la computación.
I_c	Corriente de colector del transistor.
I_e	Corriente de emisor del transistor.
IGBT	Isolated Gate Bipolar Transistor - Transistor bipolar de compuerta aislada.
IE	Interrupt Enable - Habilitador de interrupciones.
IP	Interrupt Priority - Prioridad de interrupciones.

KB	1024 bytes = 8192 bits.
MCMOS	Maxim Complementary Metal Oxide Semi-
MOC	conductor - Tipo de tecnología de construcción de semiconductor metal óxido.
MOSFET	Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor - Transistor de efecto de campo construido con tecnología de semiconductor metal óxido.
NC	No conectado.
OE	Output Enable - Habilitador de salidas de las memorias.
PC	Program Counter - Contador de programa del microcontrolador.
PE	Paper End - Falta de papel.
PPI	Programmable Parallel Interface - Interface paralela programable.
PSEN	Program Store Enable - Habilitador de memoria para almacenamiento de programa.
P0	Puerto 0 del microcontrolador.
P1	Puerto 1 del microcontrolador.
P2	Puerto 2 del microcontrolador.
P3	Puerto 3 del microcontrolador.
RAM	Random Access Memory - Memoria de acceso aleatorio.
R _b	Resistencia para la base del transistor.
R _c	Resistencia para el colector del transistor.

RD	Read, hace referencia a operaciones de lectura en los dispositivos externos al microcontrolador.
ROM	Read Only Memory - Memoria para leerse únicamente.
SLCT	Selected, señal de la norma centronics que indica que la impresora esta seleccionada.
SRAM	Static Random Access Memory - Memoria de acceso aleatorio de tipo estático. Será equivalente a utilizar memoria de datos.
STB	Strobe, señal de la norma centronics para señalar que la computadora envió un dato.
SW	Switch - Interruptor, son esta abreviatura se designa a los dos opto interruptores que sensan la posición del papel y cabeza de impresión.
TBJ	Transistor Bipolar Junction - Transistor de unión bipolar.
TRIAC	Tiristor bidireccional de tres terminales.
TTL	Transistor Transistor Logic, tecnología de construcción de circuitos lógicos utilizando únicamente transistores.
V	Volts, medida de diferencia de potencial.
V _{BE}	Voltaje entre la base y el emisor del transistor.
V _{CA}	Voltaje de corriente alterna.
V _{CD}	Voltaje de corriente directa.
V _{CE}	Voltaje entre el colector y el emisor del transistor.
W	Watts, medida de potencia.

WR
XTAL

Write, hace referencia a operaciones de escritura en los dispositivos externos al microcontrolador.
Abreviatura de cristal oscilador y también nombre con que se designan las terminales del microcontrolador en donde debe conectarse un cristal.

PRÓLOGO

En este texto presentamos el proceso de diseño y construcción del sistema de control para la impresora de código Braille. Inicialmente, estudiamos la información técnica pertinente y los avances en el resto de los sistemas de la impresora. Enseguida, establecimos los objetivos, criterios y restricciones que perfilaron minuciosamente el sistema de control. Con estas bases, investigamos soluciones que cumplieran con los objetivos, para analizarlas y elegir las que más se adecuarán al perfil establecido. A continuación, estudiamos exhaustivamente las soluciones elegidas, para poder diseñar el sistema de control que se implementó en un prototipo.

El diseño contempló la interacción con los demás sistemas de la impresora, el control de los mismos, comunicación estándar con la computadora y lineamientos convencionales en la arquitectura y funcionamiento de la impresora. Del diseño pasamos a la construcción del sistema de control en circuitos físicos, en programas para la computadora y el controlador del circuito electrónico, y en información escrita que detalla su funcionamiento.

Fabiola Caamaño Rosas.

Mario Santana Fabián.

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

Esta parte además de introducir al tema, proporciona al lector un panorama general de la organización del texto dando el contenido de cada capítulo.

1. INTRODUCCIÓN

Actualmente México pasa por un mal momento económico, político y social, en el que se necesita de personas con deseos de superarse y prepararse para cambiar la situación que se vive. Si el contar con personas altamente preparadas que gocen del sentido de la vista resulta difícil, es aún más difícil encontrar personas preparadas que no poseen este sentido. El principal obstáculo que tienen los ciegos en cuanto a elementos de aprendizaje, es el de conseguir escritos que puedan entender, porque éstos son escasos y muy costosos.

Con el uso de las computadoras se han editado infinidad de libros en procesadores de texto, no obstante, la información que se ha publicado va dirigida a la gente que goza del sentido de la vista. El lenguaje escrito que las personas invidentes comprenden es el código Braille, que consiste en realizar relieves en una hoja de papel, utilizando el sentido del tacto para palpar los relieves que interpretarán como números o letras.

La forma de solucionar este problema es contar con impresoras para código Braille. Debido a que en México no se fabrican impresoras de este tipo y solo existen de importación a un costo elevado, se ha decidido diseñar y construir un prototipo de una impresora de código Braille.

Esta tesis está enfocada a explicar las actividades realizadas en la producción de la impresora dentro de la Ingeniería en Computación, que comprenden áreas electrónicas, de software y de sistemas digitales. Específicamente se trata el rediseño del control de la impresora, su integración con el sistema mecánico y la implementación de un prototipo.

Se habla de un rediseño porque anteriormente a esta fase, se diseñó un control para la impresora, que no se llevó a la construcción, porque implicaba un diseño mecánico poco factible. Al rediseñar se retomó la investigación realizada para el diseño anterior, hasta el punto en que se selecciona una solución de entre varias alternativas. De esta forma, el rediseño del control, quedó supeditado a todos los requerimientos establecidos por la nueva solución del diseño mecánico.

Este libro está organizado por capítulos basados en las etapas de la metodología del diseño, que se adecuó a las necesidades para este proyecto en particular.

En el capítulo uno correspondiente a la *introducción*, se proporciona al lector un panorama general del contenido del presente texto.

Los *antecedentes* exponen los trabajos de investigación y diseño previos al rediseño del control para la impresora de código Braille, así como las actividades de otras disciplinas necesarias para construir una impresora, tales como la ingeniería mecánica, diseño industrial y administración. Lo anterior se presenta en el capítulo dos.

En el capítulo tres se establece el perfil que deberá tener el control una vez concluido. Se plantean objetivos generales y específicos, se proporcionan una serie de restricciones y criterios que permitirán elegir soluciones para cada componente del control, todo esto se engloba en la *descripción del problema*.

Una vez que se tienen los lineamientos con que deberá cumplir cada componente del control, se hace una evaluación de las opciones que se

proponen, para finalmente elegir la más conveniente. Esta información se encuentra en el capítulo cuatro de *búsqueda de soluciones*.

Enseguida se procedió a realizar el *desarrollo de la alternativa seleccionada*, contenido en el capítulo cinco. Este capítulo incluye una explicación detallada de todos los componentes del control, la relación que entre ellos existe y su funcionamiento individual como parte de un propósito común, formando así, un sistema íntegro.

Para finalizar, en el capítulo seis se expresan las *conclusiones* a las que se llegó después de haber escrito esta tesis y haber participado en el proyecto.

CAPITULO II

ANTECEDENTES

En este capítulo se tratarán los antecedentes al rediseño del control de la impresora de código Braille, referentes a las etapas iniciales del proceso de producción de la impresora, las etapas que comprenden la descripción e investigación de la situación de los invidentes, los beneficios esperados, la búsqueda de información, la generación, análisis y evaluación de las alternativas seleccionadas y el desarrollo de la alternativa seleccionada para el sistema mecánico de impresión.

2.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.

El problema que se presenta es el de cubrir una necesidad en el área de las publicaciones impresas en código Braille, que ayude a elevar la producción de bibliografía para los invidentes. El Centro de Diseño y manufactura busca darle solución a este problema, pretendiendo aprovechar los recursos de cómputo existentes en el mercado, proponiendo diseñar y fabricar una impresora de código Braille con la ayuda de un equipo multidisciplinario que involucra a ingenieros mecánicos, ingenieros en computación, diseñadores industriales y administradores. En donde los ingenieros mecánicos diseñarán y desarrollarán el sistema de impresión, los ingenieros en computación diseñarán y desarrollarán el sistema de control, los diseñadores industriales diseñarán la estructura que soportará a los demás sistemas y los administradores realizarán el estudio de mercado.

Una vez que se concluya con la fabricación de la impresora, se esperan obtener resultados benéficos en distintas áreas del quehacer humano, los cuales se mencionan a continuación.

2.2. BENEFICIOS ESPERADOS.

1. Humanitarios.

- Promover la enseñanza del Código Braille.
- Facilitar a los invidentes el acceso a la lectura en Braille.
- Fomentar el estudio del Código Braille.
- Poner al alcance de los invidentes esta impresora.

2. Tecnológicos.

- Diseñar y construir con tecnología nacional una impresora de código Braille.
- Fomentar el desarrollo de la tecnología nacional entre los alumnos de la Facultad de Ingeniería y áreas afines.
- Proporcionar herramientas actuales y modernas para la impresión en Braille.
- Eliminar la dependencia tecnológica del extranjero.

3. Económicos.

- Debido a que se trata de tecnología nacional, el precio de la adquisición será menor al de las impresoras importadas.
- Los costos de mantenimiento y soporte serán menores a los existentes con las impresoras extranjeras.
- Los costos de fabricación se reducirán debido a que se está contemplando utilizar elementos de fabricación nacional.

4. Académicos.

- Propiciar que entre profesores y alumnos se pueda crear una verdadera vinculación de conceptos teóricos con prácticos, al resolver problemas reales.
- Difundir la vinculación de trabajos multidisciplinarios, que compagine la participación de las disciplinas necesarias en la solución de problemas específicos relativos al proyecto.
- Integrar a la vida productiva a los alumnos que estén realizando el servicio social y/o su tesis.

2.3. BÚSQUEDA DE INFORMACIÓN.

Esta etapa del proyecto resultó muy importante, debido a que en ella se delinearon los alcances del proyecto, primero se tuvo que dar respuesta a las siguientes preguntas: ¿se requiere una impresora para este fin!, ¿existen impresoras en el mercado!, ¿cuánto cuestan!, ¿qué características tienen!, ¿cómo funcionan!, ¿cuál es la demanda real! y ¿este producto contribuirá en algo en satisfacer la demanda!, para darle respuesta a estas cuestiones se decidió trabajar en dos frentes.

- Primero, desde el punto de vista administrativo, para saber qué organismos existen en México dedicados a la producción de este tipo de bibliografía, qué tipo de maquinaria utilizan, cuánto cuesta el producir un libro en Braille, qué requerimientos demandan, así como ver cuál es la demanda por parte de los interesados finales (invidentes). Para dar respuesta a estas cuestiones se realizó un estudio de mercado a nivel local.
- Segundo, desde el punto de vista técnico para saber cuantos tipos de impresoras existen, como funcionan las impresoras convencionales y cuales son las reglas de escritura de código Braille. Para ello se recurrió a libros, revistas y consultas de patentes, ya que se pretende construir algo innovador que satisfaga el objetivo.

El resultado obtenido desde el punto de vista administrativo fue el siguiente:

1. Se realizó un cuestionario que fue contestado por seis escuelas del área metropolitana, siendo éstas las que a continuación se presentan:
 1. Instituto Nacional para la Rehabilitación de niños y débiles visuales.
 2. Hospital Conde de Valenciana (CRECIDEVI).
 3. Comité Internacional Pro-Ciegos (CIPC).
 4. Secundaria Antonio Vicente Mosquete (IAP).
 5. Escuela de Educación Especial No. 50 (EEE).
 6. Escuela Nacional para Ciegos (ENC).

2. Después de haber realizado la encuesta, se obtuvieron los resultados mostrados en la tabla 2.1. El muestreo se realizó con instituciones del área metropolitana, debido a que no se contaba con los recursos necesarios para realizarlo en todo el país, sin embargo, existe una relación de diferentes instituciones del país que están interesadas en una impresora de código Braille.

Características \ No. de Institución	1	2	3	4	5	6	Total
No. de alumnos	372	65	200	17	43	125	822
% equivalente del Total	45.25	7.9	24.33	2.06	5.23	15.23	100
Nivel económico	M. B.	M.B.	BAJO.	BAJO.	M.B.	BAJO	.....
No. de computadoras	4	1	4	2	0	1	12
Finés de uso del equipo de comp.	Admón	Gral	Educ	Admón	.....	Gral	.....
No. de alumnos dominan Braille	261	55	200	17	25	123	681
% equivalente de alumnos Braille	70	85	100	100	58	99	82.84
% de bibliografía en escritura normal	30	40	20	.....	60	40	38
% de bibliografía en escritura Braille	70	60	80	.....	20	60	58
% de bibliografía OTRAS	.....	.....	.....	.....	20	.....	4

M.B. = Muy bueno.

Tabla 2.1. Resultado de la encuesta.

3. Se recibieron algunas recomendaciones por parte de las instituciones visitadas, éstas se mencionan a continuación:

- Que la impresora sea ligera y fácil de trasladar.
- Que utilice el papel adecuado y sea fácil de conseguir.
- Que el relieve de la impresión sea altamente sensible al tacto y permanente.
- Que el costo sea accesible y con facilidades para el pago.
- Que se otorgue una garantía de servicio y mantenimiento después de adquirir el equipo.

El resultado obtenido desde el punto de vista técnico fue el siguiente:

- a) Existen comercialmente impresoras de código Braille y su producción es extranjera.
- b) Se consultaron libros técnicos y patentes de impresoras de código Braille, para delinear con objetividad el proyecto, buscando los elementos necesarios para considerar al prototipo como una innovación tecnológica.

Con la información obtenida se puede decir que existen diferentes tipos de impresoras, si se clasifican según el principio de funcionamiento de las mismas, se pueden identificar las siguientes: impresoras de matriz de puntos, impresoras de impacto, impresoras de chorro de tinta, impresoras térmicas, impresoras láser.

Para el prototipo de impresora de código Braille se consideraron 3 principios de funcionamiento: impresora de impacto, de matriz de puntos y láser. De las dos primeras se tomó la idea conceptual de su sistema de impresión debido a que se ajustaban más a los requerimientos del proyecto, mientras que para el mecanismo de alimentación de hojas se utilizaron los fundamentos de la impresora láser. A continuación se describen los tipos de impresoras seleccionadas:

- **Impresora de impacto.** Es la clase más antigua de las impresoras, ésta trabaja en forma semejante a una máquina de escribir, pues una pieza de metal o plástico que contiene el carácter de relieve golpea una cinta entintada contra una hoja de papel. Algunas otras impresoras de este tipo utilizan el principio de la margarita, llamado así porque contiene una rueda con pétalos como una margarita y en cada pétalo tiene grabado en relieve el carácter deseado. Para realizar la impresión del carácter, gira la margarita colocando el carácter frente a un martillo, mismo que se activará por la acción de un electroimán, provocando el golpeteo del pétalo por el martillo y realizando la impresión en negro de la letra.
- **Impresora de matriz de puntos.** Este tipo de impresoras cuenta con una cabeza de impresión, que se desplaza a lo largo de cada línea de impresión. Esta cabeza está formada por una cantidad fija de agujas, mismas que serán activadas por pequeños electroimanes. Cada letra está formada por una matriz de puntos, los cuales se activan o no de acuerdo al avance de la cabeza. Además, como se está haciendo referencia a una impresión de tinta no se requiere mucha fuerza para provocar el grabado en el papel, por lo que la cabeza de impresión es de pequeñas dimensiones.
- **Impresora láser.** Este tipo de impresora utiliza energía térmica para impregnar el toner sobre el papel, pero el punto de interés para este proyecto es su sistema de alimentación de hojas, ya que se necesita colocar hojas independientes en una charola. Este sistema utiliza una leva engomada controlada por un motor que provoca el giro y ocasiona que se jale una hoja únicamente.

c) La forma de escribir el código Braille depende del tipo de instrumental que utilice, ya sea una tableta con punzón, una máquina perkins o impresoras de código Braille. La descripción de estos procedimientos se presenta a continuación:

- **Tableta con punzón.** En esta tableta se coloca papel de tamaño carta, el carácter está formado por seis hendiduras fijas, por lo que en la tableta existe un número fijo tanto a lo largo como a lo ancho formando una matriz, de manera que el invidente va marcando en forma manual letra por letra de acuerdo a la posición del carácter que desea escribir. La consideración más importante que se debe hacer al aplicar este método, es que se debe escribir al revés el carácter y de derecha a izquierda, para que una vez que se da vuelta a la hoja se pueda leer correctamente de izquierda a derecha, palpando el carácter adecuadamente.
- **Máquina perkins.** Esta máquina pesa aproximadamente 30 Kg., está formada por una estructura metálica con seis teclas principales, una para cada punzón del carácter, además de contar con una tecla para regresar, una tecla de barra espaciadora y una tecla de borrado. Utiliza mecanismos de cuatro barras en el sistema de impresión, la forma de colocar la hoja para su impresión es muy peculiar, puesto que se enrolla primero y poco a poco va saliendo de acuerdo como se van imprimiendo los renglones. Este tipo de impresión es de impacto, lo importante en esta máquina es la sincronización que debe tener el escribano a la hora de oprimir las teclas, porque si no lo hace simultáneamente, escribirá una letra no deseada.

- **Las impresoras de código Braille.** Son de configuración robusta, en cuanto a sus principios funcionales utilizan elementos electromecánicos para el grabado en Braille, además son muy ruidosas y el costo puede variar desde los \$3,500.00 a \$10,000.00 dólares. Aparte, si llega a descomponerse, el servicio de mantenimiento es tardado ya que no hay personal especializado en México para brindarlo. Finalmente, utilizan papel continuo y algunos modelos pueden realizar grabado de imágenes en relieve, la velocidad de impresión varía de dos a cuatro hojas por minuto.

d) Se investigó la forma en que debe escribirse el código Braille y el resultado de esta investigación es el siguiente:

El sistema Braille está compuesto de 63 signos. De los cuales el alfabeto latino en Braille ocupa 26 caracteres, más 10 caracteres que sirven internacionalmente como signos de puntuación y los 27 restantes se usan diversamente para satisfacer las necesidades especiales de cada lengua o bien para las abreviaturas. El código Braille que se usará es el latino de América. En algunas lenguas existen dos o tres grados de Braille, que son:

1. **Primer grado.** Es el que se codifica letra por letra, tal cual se realiza en la escritura visual.
2. **Segundo grado.** En este que existe un número más o menos grande de signos abreviados para la expresión de conjuntos, preposiciones, pronombres, prefijos, sufijos, etc., su propósito fundamental consiste en reducir el volumen de los libros de Braille. Ahorrando al braillista algunos esfuerzos en la lectura y la escritura.

3. Tercer grado. Lo constituye una especie de laquigrafía, la cual se conoce como estenografía, ésta resulta demasiado complicada para los lectores que no reúnan las siguientes tres condiciones: amplio dominio del idioma, buena memoria y un sentido del tacto muy desarrollado. El código Braille de tercer grado no es muy utilizado debido a que las abreviaturas varían de idioma a idioma e inclusive, cada invidente puede definir su propio sistema estenográfico.

Los seis puntos que componen cada carácter del sistema Braille se hallan distribuidos en dos columnas y tres líneas. En base a mediciones de diferentes sistemas de impresión, la separación más común entre cada punto es de 2.5 mm entre sí, la separación entre cada carácter es de 4 mm y entre cada renglón es de 6 mm, estas mediciones son referenciadas a partir del centro de los puntos. El diámetro de cada punto es de 1 mm y la altura del relieve es de 1 mm. En la figura 2.1 se presentan las separaciones de los puntos.

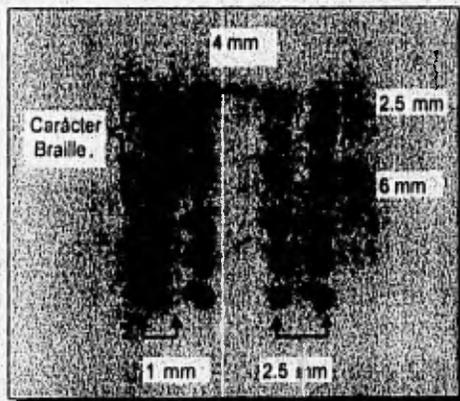


Figura 2.1. Separación entre los puntos de los caracteres Braille.

Los caracteres que componen el Código Braille, el signo de tinta correspondiente para el alfabeto latino y su significado se muestran a continuación en la tabla 2.2.

· · · · ·	Comando
· · · · ·	Inicio
· · · · ·	Fin
· · · · ·	Guion corto
· · · · ·	Barra
· · · · ·	Acento
· · · · ·	Apostrofo
· · · · ·	Signo de suma "mas"
· · · · ·	Signo de resta "menos"
· · · · ·	Signo de división
· · · · ·	= Igualdad "igual a"
· · · · ·	% Tanto por ciento

Tabla 2.2. Equivalencia del Código Braille con el alfabeto latino.

Las reglas de escritura más relevantes se describen a continuación:

1. Palabras con todas las letras minúsculas. Se escriben sin signo auxiliar, cada letra que la conforma se escribe tal como es. Por ejemplo:

t e s i s
⠠⠠ ⠠⠠ ⠠⠠ ⠠⠠ ⠠⠠
⠠⠠ ⠠⠠ ⠠⠠ ⠠⠠ ⠠⠠
⠠⠠ ⠠⠠ ⠠⠠ ⠠⠠ ⠠⠠

2. Palabras escritas con todas las letras mayúsculas. Se escriben con todas las letras minúsculas correspondientes y se le antepone a la palabra dos signos de mayúscula. El invidente entiende que la palabra es mayúscula con los dos signos que se lo indican al inicio y entiende que termina la palabra en mayúscula con el espacio en blanco. Por ejemplo:

⠠⠠ ⠠⠠ t e s i s
⠠⠠ ⠠⠠ ⠠⠠ ⠠⠠ ⠠⠠ ⠠⠠ ⠠⠠ ⠠⠠
⠠⠠ ⠠⠠ ⠠⠠ ⠠⠠ ⠠⠠ ⠠⠠ ⠠⠠ ⠠⠠

TESIS

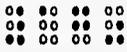
3. Palabras escritas con mayúsculas y minúsculas. A cada letra mayúscula se le antepone un solo signo de mayúscula y a las minúsculas no se les antepone este signo. Por ejemplo:

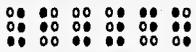
t e s i s
⠠⠠ ⠠⠠ ⠠⠠ ⠠⠠ ⠠⠠ ⠠⠠ ⠠⠠
⠠⠠ ⠠⠠ ⠠⠠ ⠠⠠ ⠠⠠ ⠠⠠ ⠠⠠

TesiS

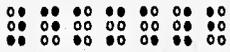
4. Para escribir números. Como ya se indicó, los números son las primeras letras del abecedario Braille y para escribir un número se le antepone un signo que indica que lo siguiente es un número, el invidente entiende que finaliza un número cuando encuentra un espacio en blanco.

Ejemplos de medidas de uso frecuente:

17°  Diecisiete grados (angulares o de temperatura).

2°4'  Dos grados, cuatro minutos(angulares).

12m  Doce metros.

4Km²  Cuatro kilómetros cuadrados.

- e) Se realizaron pruebas estáticas de acuerdo a las normas ASTM¹ y se determinó que la fuerza necesaria para lograr la deformación en el papel, requerida por las normas de escritura Braille, es de 10 Newtons que equivale aproximadamente a un kilogramo-fuerza.

¹ ASTM. American Society of Testing Materials.

2.4. GENERACIÓN, ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN.

Entendiendo el funcionamiento de toda impresora, se procedió a dividir el proyecto de la impresora Braille en sistemas que a continuación se mencionan:

1. **Sistema de Control.** Es el encargado de generar las señales necesarias para establecer la comunicación del sistema de impresión con la computadora a través de una interface paralela. Controla la recepción de los datos para que sean traducidos y activen a las agujas correspondientes en la impresión, sin dejar de revisar el estado de los detectores, como del panel de control del usuario.
2. **Sistema mecánico.** Está formado por los siguientes subsistemas:
 - Subsistema de alimentación de hojas. El subsistema de alimentación contempla el avance de línea y de hoja cuando se realiza la impresión.
 - Subsistema de impresión. El subsistema de impresión contempla la marca en relieve de los caracteres Braille en papel, teniendo una relación directa con el sistema de alimentación de hojas.
3. **Sistema de soporte.** Está formado por una estructura sólida y una serie de elementos cuyo fin principal es el de sostener a los demás componentes de la impresora.
4. **Sistema de Energía.** Los elementos electrónicos y eléctricos del sistema son alimentados por el sistema de energía, el cual se constituirá de una fuente de voltaje regulada.

5. Sistema de Interacción con el Usuario. Servirá para indicar el momento en el cual ha ocurrido un error, y sea necesario la intervención del usuario para su corrección. Este sistema quedará constituido por un panel de control, propio para invidentes y videntes.

De los sistemas mencionados, el primero que debe ser analizado es el subsistema de impresión del sistema mecánico, ya que en éste se encuentra la definición del tipo de cabeza de impresión a utilizar, misma que se investigó para generar varias alternativas de solución que a continuación se describen:

- 1. Cabeza de impresión de margarita de 7 pétalos.** Este tipo de impresión consiste de una margarita con siete pétalos, donde cada pétalo tendrá grabado cada uno de los relieves de posición en una letra en Braille. Para poder imprimir una letra en Braille se tendrán identificadas cuáles marcas serán necesarias, y las mismas se verán activadas una en cada tiempo diferente por un martillo, para que posteriormente se realice el cambio de posición del carácter. El caso crítico será cuando se tengan que imprimir los seis puntos de la letra, ya que se requerirán seis tiempos de impresión, e inmediatamente se realizará el cambio de carácter.
- 2. Cabeza de impresión de margarita de 64 pétalos.** Esta otra opción consiste en utilizar sesenta y cuatro pétalos, en donde cada pétalo tendrá marcado en relieve cada una de las 64 combinaciones posibles de estas seis opciones de impresión. Esta opción será más rápida que la anterior, porque ahorra tiempo de impresión, ya que solamente se requiere de un tiempo de impresión para marcar el relieve en Braille del carácter.

3. **Cabeza de impresión de 3 agujas.** Siguiendo la forma convencional de las impresoras de matriz de puntos que cuentan con una sola columna de agujas, para este proyecto serían tres agujas, por lo que en el peor de los casos, se tendrían que accionar dos veces en tiempos diferentes los tres punzones para marcar los seis puntos del carácter en Braille. Este procedimiento facilita identificar los punzones de impresión por líneas verticales.
4. **Cabeza de impresión de 6 agujas.** Es una variante de la opción anterior, solamente que en vez de contar con una columna, serán dos columnas de tres agujas cada una, logrando así, imprimir un solo carácter por cada tiempo de impresión, por lo que se podrá imprimir con una velocidad del doble de la opción anterior.
5. **Dos cabezas de impresión de 3 agujas cada una.** En esta opción se realizará una variante a la opción (3), que consiste en tener dos cabezas de impresión, una cabeza situada en un extremo del carro de impresión, y la otra a la mitad del carro. Se utilizará el mismo eje de soporte para ambas cabezas y el mismo avance de la cabeza, logrando una velocidad de impresión similar al de la opción (4).
6. **Dos cabezas de impresión con 6 agujas cada una.** Es una combinación de la opción (4) y (5), logrando así poder imprimir dos letras al mismo tiempo.
7. **Hilera de 64 agujas.** Consiste en alinear 64 agujas que serán activadas simultáneamente, según corresponda en un tercio de toda una línea de la hoja impresa, enseguida se accionará una plancha que provocará que se marque la parte correspondiente del texto. Como se puede observar, solo se requiere activar tres veces el proceso para que se imprima un solo renglón.

En la tabla 2.3 se muestra la matriz de decisión para elegir la mejor opción del subsistema de impresión.

Sistema de impresión Dificultad de (peso)	1	2	3	4	5	6
Costo (9)	(7) 63	(8) 72	(9.5) 85.5	(10) 90	(7) 63	(7) 63
Fabricación (8)	(7) 56	(7.5) 60	(9.5) 76	(10) 80	(8) 64	(7.5) 60
Diseño (8)	(7) 56	(7) 56	(9) 72	(9) 72	(8) 64	(6) 48
Disponibilidad (8)	(7) 56	(7) 56	(10) 80	(10) 80	(7) 56	(7) 56
Control (5)	(7) 35	(8) 40	(8.5) 42.5	(9) 45	(5) 25	(5) 25
Mantenimiento (7)	(6) 42	(6) 42	(8) 56	(8) 56	(7) 49	(7) 49
Confiabilidad (10)	(8) 80	(8.5) 85	(10) 100	(10) 100	(7) 70	(7) 70
Materiales (5)	(8) 40	(8) 40	(10) 50	(10) 50	(8) 40	(8) 40
TOTAL	428	451	562	573	431	411

Tabla 2.3. Matriz de decisión para elegir el sistema de impresión.

2.5. DESARROLLO DE LA ALTERNATIVA ELEGIDA.

Considerando la información obtenida, se decidió que la impresora Braille se construyera como una combinación de los principios de funcionamiento de las impresoras de matriz de puntos y de impacto. Decidiendo que el sistema de impresión se construyera con una rueda similar a la de una prensa, que tuviera 64 solenoides en línea. Este sistema activa una serie de 64 solenoides, y a su vez, cada solenoide levanta una aguja metálica. Una vez que todas las agujas correspondientes a los caracteres de la línea a imprimir han sido activadas, un rodillo se desplaza de un extremo de la impresora hacia el otro, ejerciendo presión sobre el papel y las agujas, de tal forma, que se deja marcado en relieve un punto.

Cuando el rodillo ha llegado al otro extremo, el sistema realiza un avance de papel de 2.5 mm para imprimir la segunda línea del renglón, repitiendo el proceso anteriormente descrito, también para la tercer línea del renglón. Una vez que el sistema ha terminado de imprimir las tres líneas del renglón, se realiza un avance de papel de 6 mm para imprimir otro renglón y se continua con el proceso sucesivamente.

En cuanto se concibió la forma que presentaría el sistema mecánico de la impresora de código Braille, se procedió directamente a empezar a investigar la arquitectura de electrónica de las impresoras, obteniendo el modelo convencional del sistema de control y esbozando la programación requerida para imprimir código Braille con una línea de 64 agujas que imprimiría un renglón.

Este proceso fue interrumpido y no llegó a su culminación, porque simultáneamente se comenzó a recolectar el material para el diseño mecánico previsto, el cual aumentaba considerablemente los costos a causa de la compra de 64 solenoides, necesarios para activar las agujas de relieve. Por tal motivo, se tuvo la necesidad de volver a considerar las opciones del sistema de impresión, dándole mayor peso al rubro de costo y restándoselo al de velocidad.

En base a estos criterios, se escogió la impresora de seis agujas para el sistema de impresión, respetando el sistema de alimentación de hojas que se había elegido previamente.

Con el cambio realizado en la forma de impresión, se consideró pertinente comenzar a diseñar y a construir el sistema mecánico, antes que cualquier otra parte de la impresora, y supeditar a los demás subsistemas de la impresora a este diseño.

2.5.1. SISTEMA MECÁNICO.

El sistema mecánico que se estableció definitivamente para la impresora, está conformado por los subsistemas que a continuación se describen:

1. El subsistema de alimentación de hojas. Es el encargado de proporcionar la hoja a la impresora, esto se logra por medio de mecanismos que tienen la función de abastecer de hojas cuando la impresora así lo requiera, y de dar movimiento a la misma durante todo su trayecto de impresión. El subsistema de alimentación está constituido por las siguientes partes:

- a) **Una charola.** Tiene la función de soportar la hojas de alimentación, ésta se encuentra en posición horizontal y tiene una articulación en un extremo de la misma para que pueda tener un movimiento ascendente y descendente.
- b) **Rodillo de tracción.** Tiene la función de jalar la hoja y alimentar a la impresora. Al momento de que la charola asciende, la hoja que se encuentra en la parte superior de ésta, roza con el rodillo de tracción y por fricción es jalada en el mismo sentido de giro del rodillo, para ser alimentada al subsistema de impresión.
- c) **Rodillo de arrastre.** Una vez que el rodillo de tracción alimentó la hoja, ésta es conducida por todo el recorrido de impresión por medio de otro rodillo al que se le llamó rodillo de arrastre.
- d) **Motor de pasos.** Todo el sistema de alimentación de papel, es accionado por un motor de pasos conectado por medio de engranes para proporcionar la relación de velocidad/desplazamiento adecuada para los rodillos.

2. El subsistema de impresión. Es el encargado de deformar el papel con los respectivos caracteres Braille, en este subsistema se empleó un novedoso mecanismo que permite un libre movimiento de la cabeza de impresión, empleando unas barras guía para soportar el recorrido de la cabeza a lo largo de la hoja. Este subsistema está conformado por las siguientes partes:

- a) **Punzones.** Son los encargados de la deformación del papel, forman un grupo de seis punzones de un diámetro de 1.0 mm.
- b) **Contramatriz.** Son cavidades para proporcionar un mejor soporte al papel en el momento de su deformación, estas cavidades de 1.5 mm.
- c) **Chicotes.** La técnica empleada para la activación de los punzones localizados en la cabeza de impresión, fue por medio de chicotes contenidos en sus respectivas fundas, debido a que los chicotes empleados tienen flexibilidad, la cabeza de impresión tiene un movimiento libre a lo largo de todo su recorrido. La cabeza de impresión al ser de poco peso no requiere de un sistema robusto para su movimiento y control.
- d) **Barras guía.** En estas barras se desliza libremente la cabeza de impresión para imprimir carácter a carácter, además de que estas barras sirven de soporte a la cabeza de impresión.
- e) **Tornillo sin fin.** Proporciona el movimiento lateral de la cabeza. Este tornillo sin fin proporciona un movimiento milimétricamente preciso a la cabeza de impresión.

Todas las partes de los subsistemas mecánicos anteriormente descritos están sujetos en unas placas laterales, que forman parte del sistema de soporte.

2.5.2. SISTEMA DE CONTROL.

Debido a que antes de realizar el diseño mecánico ya se habían concebido la estructura y la programación del sistema de control para la primera alternativa del sistema mecánico, se aprovecharon las investigaciones realizadas. En otras palabras, se realizará un rediseño del sistema de control, que cubrirá las necesidades del nuevo sistema mecánico. El rediseño del sistema de control es el tema principal del presente texto y se desarrollará en los siguientes capítulos, habiendo considerado hasta el momento las situaciones que rodearon el propósito de su realización.

CAPITULO III

DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

En este capítulo se definirán los componentes de la impresora de código Braille para ubicar el problema a resolver, se planteará el objetivo de trabajo, se analizará a detalle el problema a resolver y se establecerán los criterios y las restricciones que deben tomarse en cuenta para la solución del problema .

3.1. SISTEMAS QUE INTEGRAN LA IMPRESORA DE CÓDIGO BRAILLE.

Para tener una visión clara del problema que nos ocupa, es necesario conocer el funcionamiento de la impresora de código Braille. Las actividades que realizará serán las que a continuación se mencionan:

- Esta impresora debe ser capaz de recibir datos desde una computadora.
- Almacenarlos en una memoria temporal.
- Procesar los datos de tal forma que puedan producir los relieves de código Braille sobre papel.
- Debe ser capaz de detener la impresión en el momento en que el usuario lo desee.
- Indicar cuando se haya agotado el papel para seguir imprimiendo.
- Avanzar una página o una línea, según las necesidades del usuario y de la impresión.
- Dar a la computadora señales que le indiquen que ha ocurrido un error o proporcionar el estado actual de la impresora.

Ahora bien, para poder realizar las acciones mencionadas, esta impresora se constituye de una serie de sistemas que a continuación se listan, explicando a detalle los que no se han descrito.

1. **Sistema de Control.** Los componentes que lo integran se describen más adelante y su trabajo será el siguiente:
 - Recibir los datos de la computadora, procesarlos y enviarlos al sistema mecánico para que realice la impresión.
 - Controlar al sistema mecánico e interactuar con el usuario por medio del panel de control, utilizando señales de sensores e interruptores.
 - Interactuar con un software de control, contenido en la computadora, este software se encargará de transferir los archivos escritos en caracteres ASCII a la impresora.

2. **Sistema mecánico.** Es el encargado de realizar la impresión físicamente y está compuesto por los subsistemas ya descritos en el anterior capítulo, los cuales son: el subsistema de alimentación de papel y el subsistema de Impresión.

3. **Sistema de soporte.** Esta compuesto por un chasis sólido que sostiene a los demás sistemas de la impresora.

4. **Sistema de energía.** Proporciona energía eléctrica a los sistemas de la impresora que la requieran para su funcionamiento.

5. **Sistema de interacción con el usuario.** El diseño y construcción de este sistema y del sistema de soporte, quedarán a cargo de un diseñador industrial.

3.2. OBJETIVO GENERAL.

- 1. Participar en el grupo multidisciplinario para el diseño y desarrollo de la impresora de código Braille.**

Es oportuno mencionar que para fines de este trabajo, solo se buscará cumplir los objetivos específicos, entendiéndose que éstos contribuirán al cumplimiento del objetivo general, el cual será desarrollado por un grupo multidisciplinario, al que se pertenece.

3.3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

I. Rediseñar y construir el sistema de control para la impresora de código Braille.

Para ello se debe cumplir con los siguientes subobjetivos:

- I.I. Rediseñar y desarrollar el control electrónico digital.
- I.II. Diseñar y desarrollar el software controlador de la impresora.
- I.III. Diseñar y desarrollar las etapas de potencia necesarias para los dispositivos electromecánicos como motores de pasos y solenoides, así como los sensores que permitan que el sistema de control interactúe con el mundo exterior.
- I.IV. Definir los procedimientos que realizará cada parte del sistema de control, individual y conjuntamente con otras partes, así como los demás elementos auxiliares que intervienen en el funcionamiento del sistema de control.

II. Implementar el sistema de energía de la impresora de código Braille.

- II.I. Proporcionar un sistema de energía adecuado para los sistemas de la impresora que lo necesiten.

3.4. ANÁLISIS DEL PROBLEMA.

3.4.1. SISTEMA DE CONTROL.

Es un sistema basado en computadora y se definió como un conjunto de elementos organizados para llevar a cabo un método o procedimiento mediante el procesamiento de información. Este sistema está compuesto por los siguientes subsistemas:

1. **Software.** Consiste de programas de computadora que sirven para realizar el método lógico, procedimiento o control requerido para transmitir los datos hacia la impresora. La construcción del software implica considerar el control de comunicación entre la impresora y la computadora, es decir, definir cómo identificar el momento en que la impresora está dispuesta a recibir datos de la computadora, y cuando no lo está.

2. **Hardware.** Se compone de dispositivos electrónicos que proporcionan la capacidad de computación y los dispositivos electromecánicos que proporcionan las funciones del mundo exterior, a continuación se mencionan los componentes necesarios para el subsistema en cuestión.
 - a) **Etapa electrónica digital.** Encargada de todas las operaciones de control y conversiones de código ASCII a Braille, integrada por:

- Una memoria de datos. En ella se almacenan los datos Braille que son enviados desde la computadora.
 - Una memoria de programa. Donde se almacena el microcódigo, para que la unidad de procesamiento y control, realice todas las acciones necesarias.
 - Una unidad central de procesamiento y control. Realiza todas las operaciones y acciones necesarias para el funcionamiento de la etapa electrónica digital.
 - Otros componentes digitales. Los demás componentes digitales son necesarios para el desarrollo las actividades de control como la comunicación con la computadora y los demás componentes del hardware.
- b) **Etapas de potencia para motores de pasos.** Estas serán las encargadas de proporcionar la energía necesaria para que los motores de pasos puedan funcionar de acuerdo a las peticiones del control digital. Cada motor se activa con la combinación de cuatro líneas, por lo que se requieren de 8 etapas de potencia, una para cada línea de cada motor.
- c) **Etapas de potencia para los solenoides.** Es la encargada de proporcionar la potencia necesaria para que los solenoides funcionen de acuerdo a las peticiones del control digital. Para realizar los relieves de cada carácter en código Braille, se utilizarán seis solenoides y uno más para el actuador de la charola, por consiguiente se tienen siete etapas de potencia.

Un solenoide es requerido para levantar la charola de alimentación de papel, para el cual debe construirse su respectiva etapa de potencia.

d) **Dispositivos electromecánicos y sensores.** Son los mecanismos que se encargan de proporcionar el movimiento de los subsistemas mecánicos y proporcionar las funciones del mundo exterior. Están constituidos por dos motores de pasos y siete solenoides, además de dos sensores. Para mover la cabeza de impresión se empleó uno de los motores de pasos, y para el movimiento del rodillo de tracción, se utilizó otro. Se necesita de un sensor que se encargue de avisar al sistema de control si hay papel, si está en posición de ser impreso o si ya se sacó por completo de la impresión. Además se necesita otro sensor para indicar la posición inicial de la cabeza de impresión, porque de otra forma no se sabría en que dirección debe empezar a moverse la cabeza para imprimir.

3. **Elementos auxiliares.** Son elementos que no pertenecen a la estructura física del sistema de control, pero participan en su operación. Estos elementos son los siguientes:

a) **Gente.** Esta constituida por usuarios y técnicos de la impresora, que junto con el sistema de control hacen que la impresora realice correctamente su trabajo. Se puede decir que las personas también forman parte del sistema de control, debido a la importancia de su papel en el buen funcionamiento de la impresora.

b) **Documentación.** Se conforma de manuales impresos y otra información descriptiva que explica el uso y/o la operación del

sistema. Explica el procedimiento para imprimir, desde como enviar el archivo de texto de la computadora, hasta como manipular la impresora para obtener un escrito en código Braille.

- c) **Procedimientos.** Son los pasos que definen el uso específico de cada elemento del sistema, o el contexto procedimental en que reside el sistema. Éstos se describirán ampliamente en la etapa de desarrollo, explicando de cada componente de la impresora.

3.4.2. SISTEMA DE ENERGÍA.

El sistema de energía quedará constituido por una fuente de voltaje, que debe encargarse de proporcionar la energía suficiente para que todos los componentes electrónicos y electromecánicos funcionen correctamente. Para poder proporcionar esta fuente, es necesario conocer los requerimientos de corriente y voltaje que demanden los componentes electrónicos y electromecánicos.

3.5. CRITERIOS Y RESTRICCIONES.

3.5.1. SISTEMA DE CONTROL.

Antes de comenzar a proponer soluciones para cada una de las partes del sistema de control, se deben establecer los criterios para seleccionar la mejor alternativa de cada una de ellas.

1. **Software.** Para elegir el lenguaje de programación con el que se escribirá el software de control se debe tener en cuenta que existen restricciones tales como:

- a) La complejidad algorítmica del software no es muy alta.
- b) El entorno operativo sobre el cual se ejecutará será MS-DOS.
- c) Que la información enviada a la impresora se realizará a través del puerto paralelo de la computadora.

Antes de establecer los criterios a seguir para elegir el lenguaje de programación para software, debe aclararse que el software de control será de tipo de software de sistemas, ya que habrá una interacción con el hardware e interfaces externas. Para el software de tipo sistemas se han empleado con mayor éxito los lenguajes de tercera generación, porque son lenguajes estructurados y de propósito general, los cuales cumplen con las restricciones. A pesar de que los lenguajes para programación orientada a objetos pertenecen a la tercera generación, se crearon para propósitos especializados, por lo que no se considerarán como alternativas de solución para el software de control.

De acuerdo a las restricciones expuestas anteriormente, los criterios que se establecerán para elegir el lenguaje de programación con el que se construya el software de control deben ser las siguientes:

- a) **Facilidad de traducción del diseño al código.** Esto se refiere a que el lenguaje implemente directamente las construcciones estructuradas, que incluya estructuras de datos sofisticadas, entrada y salida especializada, posibilidades de manipulación de bits y manejo de cadenas, permitiendo que la traducción del diseño al código fuente sea mucho más fácil.
- b) **El código fuente debe de ser portable.** Es una característica de los lenguajes de programación que se puede interpretar de tres formas:
- El código fuente puede ser transportado de un procesador a otro y de un compilador a otro, sin ninguna o muy pocas modificaciones.
 - El código fuente permanece inalterado cuando cambia su entorno de funcionamiento (por ejemplo cuando se instala una nueva versión de un sistema operativo).
 - El código fuente puede ser integrado en diferentes paquetes de software sin que prácticamente se requieran modificaciones debidas a las características propias del lenguaje de programación.

De las tres interpretaciones de portabilidad, la primera es con mucho la más frecuente. La estandarización continua siendo el principal esfuerzo para la mejora de la portabilidad de los lenguajes de programación.

Si la portabilidad es un requerimiento crítico, se debe restringir el código fuente al estándar ISO o ANSI, aunque existan otras posibilidades. Por lo anterior, la portabilidad quedará expresada en cuanto a la pertenencia al estándar ISO o ANSI.

- c) **Disponibilidad de herramientas de desarrollo.** Un lenguaje que tenga esta característica, puede acortar el tiempo requerido para la generación del código fuente y puede mejorar la calidad del código. Muchos lenguajes de programación son adquiridos con un conjunto de herramientas que incluyen: compiladores con depuradores, ayudas de formato para el código fuente, facilidades de edición incorporadas, herramientas para control de código fuente, extensas bibliotecas de subprogramas para una gran variedad de áreas de aplicación, compiladores cruzados para desarrollo de microprocesadores y otras. Esta característica se evaluará en cuanto al número de herramientas con que cuente el lenguaje.
- d) **Facilidad de mantenimiento.** El código fuente es críticamente importante para cualquier esfuerzo no trivial de desarrollo de software. El mantenimiento no se puede llevar a cabo hasta que no se entienda el software. La facilidad de traducción del diseño al código es un elemento importante en la facilidad de mantenimiento del código fuente. Esta característica quedará expresada en cuanto a la estructuración del lenguaje.

2. **Hardware.** Desde el diseño previo del sistema de control se propuso construir la etapa electrónico digital y las etapas de potencia en una tarjeta de circuito impreso, para facilitar su escalabilidad, permanencia, fabricación en serie y mantenimiento. Las restricciones para la construcción de la etapa electrónica digital y las etapas de potencia son las propias de su adaptación al sistema mecánico y las que disminuyan su complejidad de funcionamiento, que a continuación se mencionan:

- a) La comunicación con la computadora, será a través del puerto paralelo, siguiendo el estándar IBM.
- b) Debe de controlar dos motores de pasos.
- c) Debe de controlar siete solenoides de corriente alterna.
- d) Debe de recibir información de dos sensores.
- e) Utiliza preferentemente elementos nacionales y de bajo costo, sin afectar con ésto a la calidad del producto.
- f) Poseer una arquitectura de 8 bits, dado que los datos recibidos de la computadora son ocho.
- g) Predominante compatibilidad con niveles lógicos TTL, por ser éste un estándar ampliamente usado.
- h) Garantizar la seguridad personal durante el funcionamiento de las etapas de potencia, protegiendo al usuario de posibles descargas eléctricas.
- i) Para el microcontrolador se requiere lo siguiente: posibilidad de direccionamiento externo de al menos ocho KBytes para seleccionar localidades de la unidad de almacenamiento de datos y de programa, capacidad de memoria volátil interna de al menos 128 bytes y un puerto de entrada/salida por lo menos.

Para el diseño de la etapa electrónico digital, de las etapas de potencia y los dispositivos que las componen, se ha establecido el cumplimiento de los siguientes criterios:

- a) **Consumo de potencia.** Es muy importante considerar esta característica, porque el consumo de potencia total de un sistema afecta directamente al costo. Además, un alto consumo de potencia requiere de una fuente de voltaje grande, mayor enfriamiento y mayor densidad de dispositivos en la tarjeta de circuito impreso. El consumo de potencia depende también de la tecnología con la que se construye el dispositivo.
- b) **Disponibilidad.** Es necesario saber si el dispositivo elegido se encuentra con facilidad en el mercado. Para saber si el dispositivo cumple con esta característica, se visitaron 20 tiendas y se menciona el porcentaje de aquellas en las que se encontró en existencia.
- c) **Adaptación.** En este criterio se pretende expresar la dificultad con que el circuito del nuevo dispositivo afecta el alambrado de la etapa electrónico digital existente, para lo que se busca una alta compatibilidad con el mismo. Cumpliendo esta característica, se facilitarán ampliamente el diseño del nuevo circuito y su mantenimiento cuando alguno de sus componentes falle. En esta característica se mencionarán los componentes que necesitan agregarse para el nuevo circuito.
- d) **Costo.** Cantidad calculada con la suma de los siguientes costos: del dispositivo, de los componentes necesarios para su circuito básico y las herramientas desarrollo que se necesiten para hacerlo funcionar. Esta cantidad se expresará en unidades monetarias.

- e) **Soporte de desarrollo.** Este criterio solo servirá como parámetro en la elección del microcontrolador.

Es indispensable contemplarlo, porque incluye el software de compilación y de ensamble del programa del microcontrolador, así como utilerías de apoyo. Dentro de las utilerías de apoyo se encuentran simuladores, tarjetas de evaluación y dispositivos prototipos. Del soporte de desarrollo se mencionarán los elementos disponibles en el mercado.

- f) **Puertos de comunicación.** Criterio aplicable únicamente para el microcontrolador. Previendo futuras expansiones de funcionamiento de la etapa electrónico digital, es importante considerar las líneas de comunicación al exterior que tenga el microcontrolador a elegir.

- g) **Desempeño.** Este criterio se refiere a qué tan rápido opera el dispositivo y será aplicado para la elección de memorias, circuito de comunicación con la computadora e interruptores controlables. Para las memorias el desempeño se expresa en términos de acceso de tiempo; frecuentemente se mide en los siguientes estados de operación:

1. Direccionamiento.
2. Selección del circuito.
3. Habilitación de salidas.

Para el circuito de comunicación con la computadora se refiere a la razón de tiempo en que se efectúa una transferencia de información con la computadora. Esta razón se expresará en caracteres/segundo. Para los interruptores controlables el desempeño equivale a la rapidez de conmutación y es importante

considerarlo, porque determinará qué tan alta puede ser la frecuencia de operación del dispositivo.

- h) **Tamaño.** Refiriéndose al número de bytes de que es capaz de almacenar un dispositivo de memoria.
- i) **Integridad.** Este criterio se aplica en la elección del circuito de comunicación con la computadora y se refiere a la seguridad con que son transferidos los datos, sin llegar a perder ninguno de ellos. Este criterio se expresará con un porcentaje que indica la cantidad de datos recibidos, con respecto a los que fueron enviados.
- j) **Capacidad de potencia.** Las razones de voltaje y corriente determinan la capacidad de potencia de manipulación del dispositivo.

Dispositivos electromecánicos y sensores. Para la elección de estos componentes, solo se aplicaron dos criterios.

- a) El primer criterio fue, que estos dispositivos proporcionaran eficientemente las operaciones deseadas por el sistema mecánico. Esto significa que los motores proporcionen el suficiente par para movilizar los mecanismos de manipulación del papel a imprimir y de activación de la cabeza de impresión, y los sensores tengan la forma y capacidad adecuadas para detectar presencia de papel y de cabeza de impresión, sin interferir con la operación de ningún componente de la impresora.
- b) El segundo se refiere al costo, en el que se establece conseguir un dispositivo electromecánico que cumpla con el primer criterio implicando el mínimo costo posible.

Las fallas de estos elementos pueden producir errores críticos en la impresora, por ejemplo, puede comenzarse a imprimir sin papel o nunca iniciar la impresión. También se requiere que estos dispositivos sean accesibles económicamente.

1. Elementos auxiliares. A pesar de que los criterios aplicados en los elementos auxiliares no servirán para realizar una estricta selección de los mismos, es prudente establecerlos.

a) **Gente.** No se establecerán criterios, ni restricciones, pues para las acciones que deberán realizar se les proporcionará una documentación con la información pertinente. Para la parte técnica del elemento gente, se requerirá de personas que estén familiarizadas con el funcionamiento de una impresora y sean capaces de comprender las variaciones que se presenten en la impresora de código Braille.

b) **Documentación.** Los criterios que se proponen para redactar la documentación del proceso de impresión, son la claridad del contenido y la sencillez de lectura.

c) **Procedimientos.** Los criterios para redactar los procedimientos son explicar a detalle el funcionamiento de los componentes del sistema de control y su interacción con otros componentes, para llevar a cabo un fin común.

3.5.2. SISTEMA DE ENERGÍA.

En cuanto al sistema de energía, que comprende la fuente de voltaje, los criterios y restricciones para su implementación son los siguientes:

La única restricción que se establece en la elección de una fuente de voltaje, es la de la seguridad personal. En tanto que los criterios propuestos son los siguientes:

- a) **Modular.** Refiriéndose con este criterio, a que la fuente de voltaje consista de un elemento independiente de los demás sistemas de la impresora, esto es debido a que las fallas de corriente externas afectan frecuentemente a la fuente de voltaje, por lo que se debe facilitar su reparación y mantenimiento, sin afectar innecesariamente la integridad de la impresora.
- b) **Costo.** Cantidad que implica sumar el costo de diseño, de sus componentes y de las pruebas que se realicen para ponerla a funcionar.

CAPITULO IV

BÚSQUEDA DE SOLUCIONES

De acuerdo con los objetivos, antecedentes, análisis, criterios y restricciones del problema, se presentará una investigación que muestra las opciones que se tienen para construir una solución y la decisión que se tomó para elegir la óptima.

4.1. SISTEMA DE CONTROL.

De acuerdo con las restricciones y criterios establecidos anteriormente, en este capítulo se elegirá la solución para cada componente del sistema de control y de energía. A cada criterio se le anexó un número que equivale a la ponderación que en orden descendente de importancia se estableció. Así mismo, se asignó una ponderación a las propiedades de cada opción. Enseguida se multiplican dos ponderaciones, para después sumar el resultado de cada alternativa y presentar un total que servirá para seleccionar una solución, dependiendo de la puntuación más alta .

4.1.1. SOFTWARE.

El lenguaje de programación con el que se construya el software de control debe cumplir con los siguientes criterios.

- a) Facilidad de traducción del diseño al código.
- b) El código fuente debe de ser portable.
- c) Disponibilidad de herramientas de desarrollo.
- d) Facilidad de mantenimiento.

A continuación se presenta la tabla 4.1 que muestra una comparación entre los lenguajes de programación candidatos a ser elegibles para codificar el sistema y el valor que cada uno tiene para los cuatro criterios presentados.

Lenguaje	a (3)	b (4)	c (1)	d (2)	Total
C	Soporta estructuras de datos sofisticadas, uso intensivo de punteros y tiene un rico conjunto de operadores para cálculo y manipulación de datos. (5) 15	Pertenece al estándar ANSI. (10) 40	Contiene depuradores, ayudas de formato para el código fuente, extensas bibliotecas de subprogramas. (10) 10	C es un lenguaje altamente estructurado. (10) 20	85
Pascal	Estructuración en bloques, fuerte tipificación de datos, soporte directo de recursividad. (4) 12	Puede ser usado en computadoras de todo tipo. (5) 20	Contiene depuradores, ayudas de formato para el código fuente, compiladores cruzados. (7) 7	Pascal es un lenguaje estructurado. (5) 10	49
Modula-2	Ocultamiento de información, implementación directa al diseño estructuras de datos que soportan la recursividad y concurrencia. (4) 12	Por ser un descendiente de Pascal, también es altamente portable. (5) 20	Proporciona depuradores y ayudas de formato. (4) 4	Modula-2 es un lenguaje estructurado. (5) 10	46
ADA	Incluye multitarea, manejo de interrupciones, sincronización y comunicación entre tareas. Introduce el concepto package. (4) 12	Se recomienda su empleo a un reducido número de computadoras (5) 20	Compiladores operativos ineficientes. (2) 2	El aprendizaje de ADA, requiere de mayor dedicación y tiempo, por su alta complejidad. (2) 4	49

Tabla 4.1. Comparación de lenguajes de programación.

El lenguaje que mayor puntuación presentó fue C, por tener mayor portabilidad y proporcionar mayor cantidad de herramientas de desarrollo con respecto a los demás lenguajes investigados, además contiene un conjunto de librerías que nos permiten migrar de una plataforma otra. Otra ventaja para elegir C es su alta frecuencia de uso en el desarrollo de sistemas y gran número de personas que lo usan y pueden proporcionar asesorías.

4.1.2. HARDWARE.

Enseguida se presenta la evaluación de diversos dispositivos que existen en el mercado, producto de investigación en manuales de referencia, visitas a tiendas de electrónica y pruebas de laboratorio para la información que no se pudo conseguir por escrito. Finalmente se proporciona el nombre del dispositivo seleccionado a través de una tabla comparativa y la justificación de haberlo hecho así.

4.1.2.1. ETAPA ELECTRÓNICA DIGITAL.

1. UNIDAD CENTRAL DE PROCESAMIENTO Y CONTROL. Para cumplir con las funciones aritmético lógicas del sistema, se puede ocupar un microprocesador (μp) o un microcontrolador (μc), ambos realizan operaciones de control digital.

La diferencia entre un μp y un μc , es que el μp no cuenta con periféricos ni circuitos que en sus tareas auxilien, en cambio el μc contiene periféricos, puertos de entrada/salida, memoria temporal y memoria permanente. Desde el diseño previo se prefirió emplear un μc . Debido a que en la actualidad existe una gran variedad de μc 's, para seleccionar el que mejor se adecuaba a las necesidades de la etapa electrónico digital, se evaluó una serie de criterios que a continuación se describen:

- a) Puertos de comunicación externa.
- b) Consumo de potencia.
- c) Soporte de desarrollo.
- d) Disponibilidad en el mercado.
- e) Costo.

En la tabla 4.2 se muestra una comparación de los diversos microcontroladores candidatos a ser elegidos.

Dispositivo	a (1)	b [mw] (5)	c (3)	d [%] (2)	e [\$] (4)	Total
COP884CF National Semiconduc	5 Puertos (7.5) 7.5	350 (9) 45	MOLE- COP8-IBM (compilador y ensamblador) (10) 30	6.67 (0.6) 1.2	55.8 (6) 24	107
68HC11-F1 Motorola	7 Puertos (10) 10	600 (1) 5	IASM11, AVSIM11 (10) 30	46.66 (4.6) 9.2	90.00 (1) 4	58
8031 INTEL	4 Puertos (6) 6	320 (10) 50	CYS8051 AVSIM51 (10) 30	93.33 (9.3) 8	32.2 (10) 40	144
8052AH INTEL	4 Puertos (6) 6	380 (8) 40	CYS8052 AVSIM52 (10) 30	100 (10) 20	57.20 (6) 24	120
8749H INTEL	5 Puertos (7.5) 7.5	350 (9) 45	Ensamblador (5) 15	6.67 (0.6) 1.2	47.00 (8) 32	100
8098 INTEL	5 Puertos (7.5) 7.5	350 (9) 45	Ensamblador (5) 15	13.33 (1.3) 2.6	55.00 (6) 24	94
8096 INTEL	5 Puertos (7.5) 7.5	400 (7.5) 37.5	Ensamblador (5) 15	13.33 (1.3) 2.6	45.00 (8) 32	95
90809	5 Puertos (7.5) .5	510 (3.8) 19	Ensamblador (5) 15	0.00 (0) 0	87.00 (1) 4	45

Tabla 4.2. Comparación de microcontroladores.

El microcontrolador que se empleará será el 8031 por ser el que mayor puntuación presentó, debido a estar construido con tecnología MCMOS que reduce los consumos de potencia, presentar el menor costo y contar con utilerías que facilitan su programación .

2. MEMORIA DE PROGRAMA. La unidad de almacenamiento de programa quedará constituida por un circuito de memoria no volátil, ya que interesa que las instrucciones del microcontrolador no se borren, aún cuando se interrumpa la alimentación de energía eléctrica, a menos que se utilice un procedimiento especial. A este tipo de circuitos se les denomina con las siglas EPROM de su significado en inglés "Erase Programmable Read Only Memory" y solo se puede grabar en ellos por medio de métodos especiales, quedando grabada la información permanentemente, hasta una nueva reprogramación. Las características que se tomaron en cuenta para la selección de una EPROM adecuada fueron las siguientes, mismas que aparecen en la tabla 4.3:

- a) Tamaño.
- b) Consumo de potencia, cuando está:
 - 1. Activada.
 - 2. Desactivada.
- c) Desempeño.
- d) Costo.

Dispositivo	a (bits) (1)	b.1 (4)	b.2 (3)	c (nseg) (2)	d (\$) (5)	Total
2716	2K x 8 (6) 6	100 mA (10) 40	35 mA (10) 30	450 (1) 2	31.00 (9.6) 48	126
2732	4K x 8 (3) 3	100 mA (10) 40	35 mA (10) 30	200 (7.5) 7.5	31.20 (9.6) 48	128.5
2764	8K x 8 (1.6) 1.6	100 mA (10) 40	35 mA (10) 30	180 (8) 16	27.00 (10) 50	127.6
27C64	8K x 8 (1.6) 1.6	100 mA (10) 40	100 mA (1) 3	150 (9) 18	37.00 (9.0) 45	107.6
27128A	16K x 8 (0.8) 8	100 mA (10) 40	40 mA (9.5) 8.5	150 (9) 18	37.50 (8.5) 2	129.3
27C256	32K x 8 (0.4) .4	100 mA (10) 40	50 mA (6.7) 0	120 (10) 20	71.40 (5.6) 27	107.4
68C256	32K x 8 (0.4) .4	100 mA (10) 40	100 mA (1) 3	170 (8.2) 16.4	61.40 (6.5) 32	91.8
27512	64K x 8 (0.2) .2	125 mA (2) 8	40 mA (9.5) 28.5	170 (8.2) 16.4	96.00 (3.1) 5	68.1
27C512	64K x 8 (0.2) .2	130 mA (1) 4	100 mA (1) 3	120 (10) 20	118.00 (0.9) 4	31.2

Tabla 4.3. Comparación de memorias de programa.

Se decidió emplear la memoria EPROM 2764, por tener la mayor puntuación y considerando que esta capacidad será suficiente para contener los programas del microcontrolador y para prevenir posibles expansiones de programación de las rutinas del microcontrolador. La mayor puntuación se debe a que presentó el menor costo y menores consumos de potencia.

3. MEMORIA DE DATOS. La unidad de almacenamiento de datos quedará constituida por un circuito de memoria volátil, ya que es importante que los datos recibidos por la computadora se almacenen temporalmente hasta que sean impresos. A este tipo de circuitos se les denomina con las siglas SRAM de su significado en inglés "Static Random Access Memory", se eligió que fuera estática debido a que estas memorias no necesitan que sus datos sean refrescados. Los criterios que se tomaron en cuenta para la selección de una SRAM adecuada se analizan en la tabla 4.4 y se mencionan en la siguiente lista:

- a) Tamaño.
- b) Consumo de potencia.
- c) Desempeño, para los siguientes estados de operación:
 - 1. Direccionamiento.
 - 2. Selección del circuito.
 - 3. Habilitación de salidas.
- d) Costo.

Dispositivo	a [bits] (3)	b [mA] (4)	c.1 [nseg] (2)	c.2 [nseg] (1)	c.3 [nseg] (5)	d (\$) (6)	Total
62C64	8K x 8 (10) 30	250 (4.7)20	100 (10) 20	100 (10) 10	40 (10) 50	17.80 (10) 60	190
62C64-10	8K x 8 (10) 30	300 (1) 4	100 (10) 20	100 (10) 10	50 (5.5) 27.5	27.00 (8.9)53.4	145
62C64-15	8K x 8 (10) 30	300 (1) 4	100 (10) 20	100 (10) 10	55 (3.2) 16	29.00 (8.6)51.6	131
62256-10	32K x 8 (5) 15	180 (10) 40	120 (1) 2	120 (1) 1	50 (5.5) 27.5	92.00 (1.5) 9	94.5
62256-70	32K x 8 (5) 15	200 (8.7)35	120 (1) 2	120 (1) 1	60 (1) 5	97.00 (1) 6	64
62256-80	32K x 8 (5) 15	200 (8.7)35	120 (1) 2	120 (1) 1	60 (1) 5	80.00 (3.9)23.4	81

Tabla 4.4. Comparación entre memorias de datos.

Se eligió la SRAM 62C64 por tener la mayor puntuación total, con menor costo, consumo de potencia y mejor desempeño. Además que su capacidad de almacenamiento de 8 Kbytes permite uniformar la etapa electrónico digital.

4. DEMÁS COMPONENTES DIGITALES. Hasta este momento se han analizado algunas de las funciones más importantes de la etapa electrónico digital, pero falta especificar qué dispositivos se utilizarán en la construcción del circuito de comunicación con la computadora, con las etapas de potencia de los motores de pasos y las etapas de potencia de los solenoides. A continuación se describen este tipo de dispositivos:

a) Comunicación con la computadora. Para esta etapa se decidió durante el diseño previo, que debía hacerse por medio de la interfaz de comunicación paralela, como convencionalmente se hace en las impresoras para computadoras personales. Estudiando distintas formas de realizar el circuito de comunicación paralela, que operará bajo las condiciones de la interfaz de comunicación paralela, se propusieron las siguientes, las cuales se evalúan en la tabla 4.5:

1. Diseño de un arreglo de circuitos de lógica TTL. Este diseño implica considerar los puertos de entrada/salida necesarios para la interface cetrónicos de comunicación paralela, los dispositivos de lógica booleana y memoria necesarios para responder al código de Handshake con el que opera la interface cetrónicos. Desde el principio se pensó fueran dispositivos TTL, por su bajo costo en el mercado y su amplia compatibilidad con los dispositivos existentes de la etapa electrónico digital.

2. Utilizando lecturas y escrituras con el microcontrolador 8031.

Esta alternativa aprovecha los puertos de entrada/salida del microcontrolador y sus capacidades de procesamiento lógico, evitando realizar costos y modificaciones adicionales.

3. Empleando el circuito 8255A especial para tal propósito.

Existen circuitos integrados capaces de cumplir con los requerimientos de la interface cetrónica, tanto de puertos de entrada/salida, como de implementación de señales para el código Handshake.

Las características que se contemplaron para la elección del tipo de construcción del circuito de comunicación paralela se mencionan a continuación:

- a) Desempeño.
- b) Integridad.
- c) Adaptación.
- d) Costo.

Círculo	a (c/s) (4)	b (%) (3)	c (1)	d (\$) (2)	Total
Arreglo de circuitos TTL.	2,200	100	1 CI 7400, 1 CI 7475, 3 CI 74373, 1 74138, cable para conexión física, programación nula.	30.00	
	(7) 28	(10) 30	(1) 1	(6) 12	71
Microcontrolador.	2,000	87	Reprogramación del microcontrolador.	0.00	
	(1) 4	(1) 3	(10) 10	(10) 20	37
Círculo 8255.	2,500	100	Círculo 8255, cable para conexión, reprogramación del microcontrolador y sus interrupciones.	45.10	
	(10) 40	(10) 30	(6) 6	(3) 6	82

Tabla 4.5. Comparación de procedimientos para comunicarse con la computadora.

Se decidió utilizar el PPI (Interface paralela programable) 8255A por presentar la más alta puntuación, debido a que posee la mayor velocidad de transferencia. A pesar de tener mayor costo que la primera opción, no exige realizar muchas modificaciones al alambrado y ocupa menor espacio.

- b) Comunicación con las etapas de potencia de solenoides.** Por la forma como deben funcionar los solenoides, se requiere de un dispositivo que mantenga señales constantes a las etapas de potencia de los mismos. El dispositivo utilizado se le conoce como "latch". Se procedió a utilizar un puerto del μ c para la comunicación con la etapa de potencia de los solenoides. Pero como el nivel suministrado por el microcontrolador no es suficiente para activar las etapas de potencia, fue necesario emplear un circuito que la amplificara, llamado buffer.
- c) Comunicación con las etapas de potencia de los motores.** Se tiene el mismo principio que los solenoides, pero fue necesario utilizar un latch independiente. Aunque existe una amplia variedad de dispositivos latch, el único que presentó un funcionamiento adecuado fue el 74373 tipo "D".

Por tal razón, para esta comunicación no fue necesario realizar evaluaciones complejas, bastó con seleccionar el latch que tenía un precio más económico del mercado (de \$5.00 por ocho latch's) y cumpliera con las especificaciones planteadas.

4.1.2.2. ETAPAS DE POTENCIA.

Quedarán constituidas por circuitos hechos a base de dispositivos amplificadores de voltaje y/o corriente. Antes de seleccionar el arreglo para cada etapa de potencia, se describirán algunos de los dispositivos amplificadores de potencia utilizados para este fin y algunas de las consideraciones que se deben tomar en cuenta cuando se emplean éstos.

a) Interruptores controlables. A este tipo de dispositivos se les denomina así, porque conforme se aplican señales a una de sus terminales, en la salida del circuito se obtendrá un nivel lógico alto o bajo (cuando no fluye la corriente al través de ellos). A continuación se analizan los tipos de interruptores reales que existen y que se les denomina como dispositivos semiconductores de potencia:

1. Transistor de unión bipolar (TBJ).
2. Transistor de efecto de campo de semiconductor metal-óxido (MOSFET).
3. Thristores de compuerta de apagado (GTOs).
4. Transistores bipolares de compuerta aislada (IGBTs).

b) Circuitos manejadores y snubber para circuitos controlables. En un interruptor controlable determinado, su rapidez de conmutación y permanencia de estado encendido, dependen de como está siendo controlado. Los circuitos snubber son usados para modificar las formas de onda de conmutación de los interruptores controlables. En general estos circuitos se pueden clasificar en tres categorías:

1. Snubber de encendido, para minimizar los excesos de corriente que fluyen a través del dispositivo que permanece encendido.
2. Snubber de apagado, para minimizar los sobre voltajes que se presentan en el dispositivo que se encuentra apagado.
3. Snubber de reducción de fatiga, que reafirma las formas de onda de conmutación.

En la práctica, se utilizan las combinaciones de circuitos snubber mencionadas, dependiendo del tipo de dispositivo. Solamente algunas de las características de los interruptores pueden ser comparadas simultáneamente, estas observaciones se muestran en la tabla 4.6, considerando las siguientes características:

- a) Capacidad de potencia.
- b) Desempeño.
- c) Costo.

Dispositivo	a	b	c(\$)
BJT	Media	Centenas de ns a pocos ms.	8.30
MOSFET	Baja	Decenas a centenas de ns.	13.88
GTO	Alta	Pocos ms a 25 ms.	20.40
IGBT	Alta	1 ms.	27.80

Tabla 4.6. Comparación entre interruptores controlables.

Para las etapas de potencia no se realizó una comparación numérica de interruptores controlables, pues existe una gran variedad de ello, que depende de su aplicación. El criterio que se empleó para elegir el tipo de dispositivo fue el requerimiento de amplificación, la velocidad de conmutación y el mínimo requerimiento de potencia. Se utilizarán para las etapas de potencia de los motores de pasos MOSFET's y TRIACS para controlar los solenoides.

4.1.2.3. DISPOSITIVOS ELECTROMECAÑICOS Y SENSORES.

Sensores de posición. Debido a la forma en que el sistema mecánico estableció los requerimientos de detección de posición de papel y de cabeza de impresión, se decidió utilizar sensores ópticos de encapsulado QAP, que además de proporcionar una alta fiabilidad de funcionamiento, existe una gran variedad de ellos en el mercado. En estos dispositivos la resistencia a través de la unión en el semiconductor cambia en función de la incidencia de luz y la variedad de encapsulados QAP se muestra en la figura 4.1:

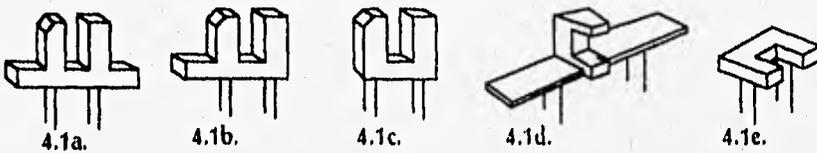


Figura 4.1. Tipos de encapsulado QAP.

Con respecto a los dispositivos electromecánicos, como motores y solenoides, estos ya habían sido elegidos por el grupo multidisciplinario, lo que corresponde a este trabajo es su desarrollo y utilización para lograr su funcionamiento óptimo.

4.2. SISTEMA DE ENERGÍA

4.2.1. FUENTE DE PODER.

Para cubrir los requisitos planteados anteriormente, se propusieron dos soluciones alternativas para este proyecto: construir la fuente de voltaje o conseguirla ya construida.

Las características que se tomaron en cuenta para evaluar las dos alternativas son las siguientes, mismas que se evalúan en la tabla 4.7:

a) Modular.

b) Costo.

Fuente de voltaje	a[%] (1)	b[\$] (2)	Total
Diseñada y construida especialmente.	95 (10) 10	204.00 (1) 2	19
Conseguirla ya construida	87 (1) 1	155.00 (10) 20	21

Tabla 4.7. Comparación de alternativas para la fuente de voltaje.

Se decidió conseguir una fuente de voltaje ya construida, debido a que presentó una modularidad más alta y el costo mínimo. Esta fuente se comprará de acuerdo a los requerimientos de potencia de cada dispositivo eléctrico y electrónico del sistema de control de la impresora de código Braille.

4.3. MODELO CONCEPTUAL DE LA IMPRESORA.

Con la información hasta el momento presentada, ya se han delineado física y funcionalmente todas las partes componentes de la impresora, por lo que es conveniente recapitular en un diagrama de bloques la estructura de la impresora. Este diagrama se observa en la figura 4.2.

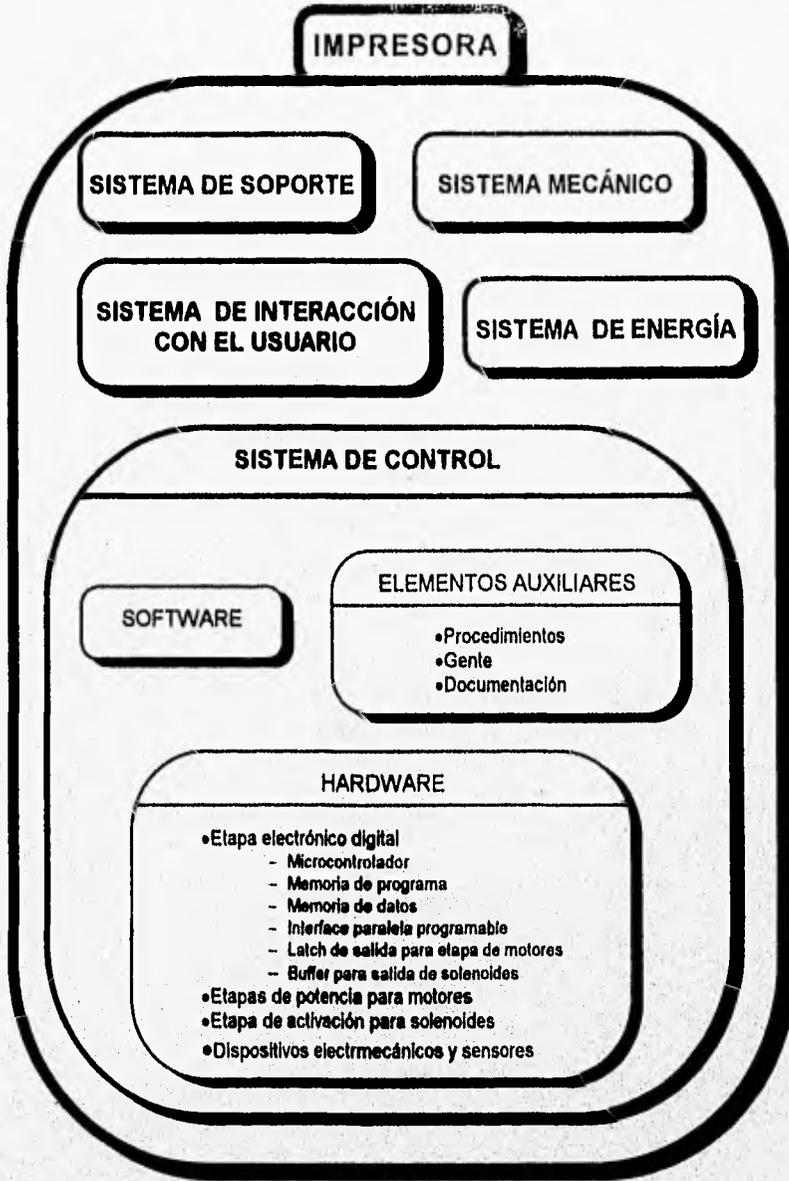


Figura 4.2. Modelo conceptual de la impresora.

CAPITULO V

DESARROLLO DE LA ALTERNATIVA SELECCIONADA

En este capítulo se presentará la información detallada de la solución seleccionada para cada una de las partes que conforman el sistema de control así como la interacción que existe entre dichas partes para funcionar como una unidad.

5.1. INTRODUCCIÓN.

Como ya se mencionó en los capítulos anteriores, el sistema de control está compuesto por software, hardware y elementos auxiliares que influyen directamente en su funcionamiento. En la figura 5.1 se muestra el esquema del sistema de control y enseguida los puntos que se cubrirán en este capítulo.

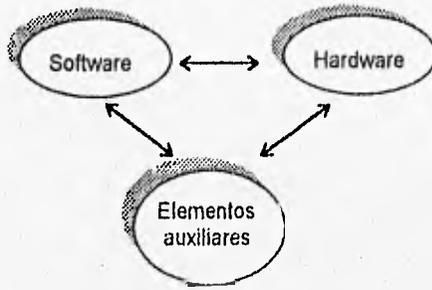


Figura 5.1. Sistema de Control de la Impresora de Código Braille.

- Para proporcionarle al lector una visión clara del funcionamiento de cada uno de los componentes del sistema de control y la relación que entre ellos existe, se desarrollarán los elementos auxiliares excepto su documentación.
- Enseguida se desarrollará la explicación a detalle del Software y del Hardware del sistema de control, tanto de sus componentes individuales, como de la función que llevan a cabo en conjunto.

5.2. ELEMENTOS AUXILIARES.

5.2.1. PROCEDIMIENTOS

Son las acciones que debe ejecutar cada componente del control de la impresora de código Braille, así como la interacción entre cada uno de ellos. Los procedimientos se describen a continuación:

- El usuario de la impresora debe elegir el archivo a ser impreso en código Braille y verificar que éste sea de tipo texto exclusivamente.
- Enseguida el usuario ejecuta el software de control que recibe el archivo en código ASCII y lo envía hacia a la impresora.
- El archivo es enviado a la impresora por medio del puerto paralelo y el sistema electrónico digital de la impresora lo recibe mediante los lineamientos de la interfaz centronics.
- Para poder recibir los datos, la etapa electrónica digital debe estar pendiente de detectar si recibió un archivo o no. Si no se detectan señales de archivo enviado, permanece en un ciclo de espera. Pero si le envían un archivo, se encarga de recibirlo y almacenarlo en la memoria RAM.
- Si el archivo enviado a la etapa electrónico digital es muy grande y no cabe en la memoria RAM, el microprograma le ordenará al microcontrolador comenzar a enviar los datos a impresión para ir liberando memoria.

Si ha llegado el carácter fin de archivo también manda a imprimir, pero al terminar se queda de nuevo en el ciclo de espera inicial de archivo.

- Para mandar a imprimir los datos almacenados, primero se leen en la memoria RAM y se codifican a su equivalente en Braille para su impresión. Solamente al inicio de un archivo o página se ejecuta una rutina encargada de manipular al sistema de alimentación de hoja para preparar la hoja sobre la cual se imprimirá.
- Esta rutina se auxilia de un sensor para saber si la hoja ya está en línea, lo primero que hace es mandar una señal a través de una etapa de potencia, al solenoide encargado de mover la charola, ésta permanecerá pegada por acción del solenoide a un rodillo hasta que el sensor le indique que el papel ya ha sido tomado por el sistema de tracción.
- Esta misma rutina se encarga de mover al motor de pasos que jala la hoja. Una vez que el papel ya está en línea, otra rutina entra en acción, que se encargará de controlar el sistema mecánico de impresión para mandarle los caracteres e imprimirlos.
- El sistema enviará una señal para cada uno de los seis solenoides a través de la etapa de potencia. Y estos solenoides se encargarán de activar unos chicotes que realizarán la deformación del papel.
- Para realizar correctamente la impresión, utilizará dos sensores que le ayudarán a conocer la posición de la cabeza que se mueve a través de una barra guía y del papel a ser impreso.

- Cuando se haya terminado de imprimir, entrará otra pequeña rutina que le ordenará al sistema de tracción sacar la hoja.

Este es el ciclo básico de impresión, que se realizará por completo a menos que ocurra una orden del panel de control que modifique la secuencia.

5.2.2. GENTE.

En un sistema basado en computadora como el sistema de control de la impresora de código Braille, es indispensable el elemento humano. Una persona puede interactuar directamente con el hardware y software, manteniendo un diálogo que conduzca las funciones del sistema, la gente es responsable del desarrollo, soporte o mantenimiento del sistema. Al proponer que la gente interactúe con el software y hardware del sistema se deben establecer reglas de espera y respuestas, mismas que han sido explicadas en los procedimientos y que permitirán que la interacción se logre exitosamente. Al diseñar el software y hardware del sistema de control no debe perderse de vista la funcionalidad, que es la facilidad con que los usuarios y personas encargadas del mantenimiento realizan su trabajo.

5.3. SOFTWARE DE CONTROL.

5.3.1. ASCII Y CÓDIGOS DE CONTROL.

Las computadoras se comunican entre sí y con sus periféricos a través de un código numérico. Este código representa caracteres (números, letras, puntuación, signos de admiración y otros). Afortunadamente, los desarrolladores de computadoras se han puesto de acuerdo en el uso de un código llamado ASCII (Código estándar americano para intercambio de información). El código ASCII en su forma básica, es simplemente un juego de correspondencias entre códigos numéricos y las letras que representa. Los códigos ASCII susceptibles de ser impresos son del 32 al 127, 130, del 160 al 165 y el 168.

Es importante realizar las preguntas: ¿por qué los caracteres empezaron en el 32?. ¿qué pasa con los códigos del 0 al 31?. Estos códigos no le dicen a la impresora que imprima un carácter, le dicen a la impresora que ejecute cierta actividad y se llaman códigos de control. Algunos códigos de control utilizados por las impresoras se listan en la tabla 5.1.

Nombre	Se Abrevia	Código Decimal	Código Hexadecimal
Tab.	HT	19	09
Alimentación de renglón.	LF	10	0A
Alimentación de renglón.	FF	12	0C
Retorno de carro.	CR	13	0D
Escape.	ESC	27	1B

Tabla 5.1. Algunos códigos de control.

5.3.2. CODIFICACIÓN EN LENGUAJE C.

Las actividades a realizar por software de control serán las siguientes:

- Inicializar el sistema.
- Abrir el archivo de código ASCII a ser transmitido.
- Enviar el archivo hacia la impresora y cerrarlo.
- Finalizar el sistema.

En la figura 5.2 se muestra el diagrama de flujo de los pasos a seguir.



Figura 5.2. Diagrama de flujo del software de control.

Una vez que se sabe cuál es el comportamiento a seguir por el software de control, se procede a la codificación del programa en lenguaje de alto nivel. Este programa se presenta en el listado 5.1.



Listado 5.1. Codificación del software de control, con su respectiva explicación.

5.4. HARDWARE.

5.4.1. ETAPA ELECTRÓNICO DIGITAL.

5.4.1.1. UNIDAD CENTRAL DE PROCESAMIENTO Y CONTROL.

Para esta unidad se estableció emplear el microcontrolador 8031. En la figura 5.3 se muestra la arquitectura del microcontrolador 8031, incluyendo algunas de las características mencionadas con anterioridad.

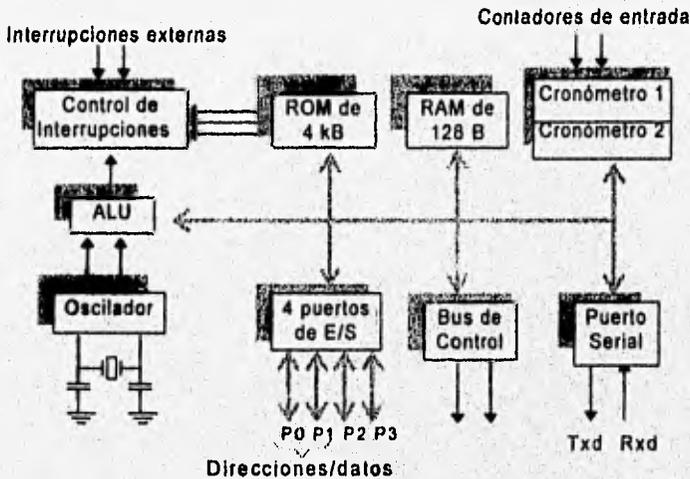


Figura 5.3. Diagrama interno del microcontrolador 8031

Solo se proporcionará lo necesario para construir un programa para el microcontrolador 8031.

1. Modos de direccionamiento.

- **Direccionamiento directo.** En el direccionamiento directo el operando es especificado por un campo de dirección de 8 bits. Solamente los datos de memoria interna pueden ser direccionados de esta forma.
- **Direccionamiento indirecto.** Este modo especifica un registro que contiene la dirección del operando. Tanto la información de la memoria de datos externa como la de la interna puede ser direccionada indirectamente.
- **Direccionamiento de registro.** Este modo utiliza un banco de registros que pueden ser del registro R0 al R7, los cuales son accedidos por ciertas instrucciones que acarrearán un registro de 3 bits y contiene el código de operando de la instrucción.
- **Direccionamiento de registro específico.** Algunas instrucciones solo pueden direccionar ciertos registros.
- **Direccionamiento inmediato.** El valor de una constante puede colocarse a continuación del código del operando.
- **Direccionamiento indexado.** Solamente los datos de la memoria de programa pueden ser accedidos por direccionamiento indexado y únicamente para realizar operaciones de lectura. Por consiguiente, este tipo de direccionamiento solo se utiliza para leer el programa de la ROM.

2. Tipos de instrucciones.

- Aritméticas. En la tabla 5.2 se listan la sintáxis, funcionamiento y modos de direccionamiento para las instrucciones aritméticas.

Sintáxis	Funcionamiento	Modos de direccionamiento			
		Directo	Indirecto	Registro	Inmediato
ADD A,<byte>	$A=A+\langle\text{byte}\rangle$	x	x	x	x
ADDC A,<byte>	$A=A+\langle\text{byte}\rangle+C$	x	x	x	x
SUBB A,<byte>	$A=A-\langle\text{byte}\rangle-C$	x	x	x	x
INC A	$A=A+1$	Solamente para el acumulador			
INC <byte>	$\langle\text{byte}\rangle=\langle\text{byte}\rangle+1$	x	x	x	
INC DPTR	$DPTR=DPTR+1$	Solamente apuntador de datos			
DEC A	$A=A-1$	Solamente para el acumulador			
DEC <byte>	$\langle\text{byte}\rangle=\langle\text{byte}\rangle-1$	x	x	x	
MUL AB	$B:A=B \times A$	Solamente acumulador y registro B			
DIV AB	$A=\text{cociente}(A/B)$ $B=\text{residuo}(A/B)$	Solamente acumulador y registro B			
DA A	Ajuste decimal	Solamente para el acumulador			

Tabla 5.2. Instrucciones aritméticas.

- Lógicas. En la tabla 5.3 se listan la sintáxis, funcionamiento y modos de direccionamiento para las instrucciones lógicas.

Sintáxis	Funcionamiento	Modos de direccionamiento			
		Directo	Indirecto	Registro	Inmediato
ANL A,<byte>	$A=A \text{ y } \langle\text{byte}\rangle$	x	x	x	x
ANL <byte>,A	$\langle\text{byte}\rangle=\langle\text{byte}\rangle \text{ y } A$	x			
ANL <byte>,#dato	$\langle\text{byte}\rangle=\langle\text{byte}\rangle \text{ y } \# \text{dato}$	x			
ORL A,<byte>	$A=A \text{ o } \langle\text{byte}\rangle$	x	x	x	x
ORL <byte>,A	$\langle\text{byte}\rangle=\langle\text{byte}\rangle \text{ o } A$	x			
ORL <byte>,#dato	$\langle\text{byte}\rangle=\langle\text{byte}\rangle \text{ o } \# \text{dato}$	x			
ORL A,<byte>	$A=A \text{ xor } \langle\text{byte}\rangle$	x	x	x	x
ORL <byte>,A	$\langle\text{byte}\rangle=\langle\text{byte}\rangle \text{ xor } A$	x			
ORL <byte>,#dato	$\langle\text{byte}\rangle=\langle\text{byte}\rangle \text{ xor } \# \text{dato}$	x			

Tabla 5.3a. Instrucciones lógicas.

Sintáxis	Funcionamiento	Modos de direccionamiento
CRI Λ	$\Lambda = 00H$	Solamente para el acumulador
CPL Λ	$\Lambda =$ negación de Λ	Solamente para el acumulador
RL Λ	Rotación izquierda en un bit.	Solamente para el acumulador
RLC Λ	Rotación izquierda en un bit, hacia el "carry"	Solamente para el acumulador
RR Λ	Rotación derecha en un bit.	Solamente para el acumulador
RRC Λ	Rotación derecha en un bit, hacia el "carry"	Solamente para el acumulador
SWAP Λ	Intercambio de nibbles.	Solamente para el acumulador

Tabla 5.3b. Instrucciones lógicas.

- Transferencia de datos en memoria interna. Son instrucciones que permiten mover la información contenida en la memoria de datos interna al microcontrolador. En la tabla 5.4 se listan la sintáxis, funcionamiento y modos de direccionamiento para las instrucciones de transferencia de datos en memoria interna.

Sintáxis	Funcionamiento	Modos de direccionamiento			
		Directo	Indirecto	Registro	Inmediato
MOV Λ , <scr>	$\Lambda =$ <scr>	x	x	x	x
MOV <dest>, Λ	<dest> = Λ	x	x	x	
		x	x	x	x
MOV DPTR, #dato (de 16 bits)	DPTR=constante inmediata de 16 bits				x
PUSH <scr>	INC SP MOV @SP, <scr>	x			
POP <dest>	MOV <dest>, @SP DEC SP	x			
XCH Λ , <byte>	Intercambio de bytes entre acumulador y <byte>.	x	x	x	
XCHD Λ , @Ri	Intercambio de nibbles bajos entre acumulador y @Ri.		x		

Tabla 5.4. Instrucciones de transferencia de datos en memoria interna.

- Transferencia de datos en memoria externa. Estas instrucciones permiten acceder a la información contenida en memoria de datos externa y se invocan con el mnemónico MOVX, funcionan moviendo al acumulador el contenido de la localidad de memoria externa especificada y viceversa. En la tabla 5.5 se listan la sintáxis y funcionamiento para las instrucciones de transferencia de datos en memoria externa.

Sintáxis	Funcionamiento
MOVX A, @Ri	Guarda en el acumulador el valor del contenido de la dirección (Ri) de la memoria externa de datos.
MOVX @Ri, A	Escribe en el contenido de la dirección (Ri) de la memoria externa el valor del acumulador.
MOVX A, @DPTR	Guarda en el acumulador el valor del contenido de la dirección (DPTR) de la memoria externa de datos.
MOVX @DPTR, A	Escribe en el contenido de la dirección (DPTR) de la memoria externa el valor del acumulador.

Tabla 5.5. Instrucciones de transferencia de datos en memoria externa.

- Transferencia de datos en tablas "lookup". Este tipo de instrucción se utiliza únicamente para leer datos contenidos en tablas "lookup", no para actualizar dichos datos y se invoca con el mnemónico MOVC. El contenido de las tablas "lookup" no puede exceder de 256 localidades. En la tabla 5.6 se listan la sintáxis y funcionamiento para las instrucciones de transferencia de datos en tablas "lookup".

Sintáxis	Funcionamiento
MOVC A, @A+DPTR	Toma el valor del contenido de la dirección (A+DPTR).
MOVC A, @A+PC	Toma el valor del contenido de la dirección (A+PC).

Tabla 5.6 Instrucciones de transferencia de datos en tablas "lookup".

- Booleanas. El microcontrolador cuenta con un procesador booleano completo, para procesar bits independientemente. Todo el contenido de la memoria de datos interna y todas sus líneas de puertos son bits direccionables y dispuestos a ser procesados en forma individual. En la tabla 5.7 se listan la sintáxis y funcionamiento para las instrucciones booleanas.

Sintáxis	Funcionamiento
ANL C,bit	C = C y bit
ANL C,/bit	C = C y..negación bit
ORL C,bit	C = C o bit
ORL C,/bit	C = C o..negación bit
MOV C,bit	C = bit
MOV bit,C	bit = C
CLR C	C = 0
CLR bit	bit = 0
SETB C	C = 1
SETB bit	bit = 1
CPL C	C = negación de C
CPL bit	bit = negación del bit
JC etiqueta	Salta a la dirección de la etiqueta, si C=1.
JNC etiqueta	Salta a la dirección de la etiqueta, si C=0.
JB bit, etiqueta	Salta a la dirección de la etiqueta, si bit=1.
JNB bit, etiqueta	Salta a la dirección de la etiqueta, si bit=0.
JBC bit, etiqueta	Salta a la dirección de la etiqueta, si bit=1 y después realiza CLR bit.

Tabla 5.7. instrucciones booleanas.

- De salto. Este tipo de instrucciones se utiliza para modificar la secuencia del programa, al cambiar el contenido del contador de programa y reemplazarlo por otro valor. En la tabla 5.8 se listan la sintáxis y funcionamiento para las instrucciones de salto.

Sintaxis	Funcionamiento
JMP etiqueta	Salta a la dirección especificada por la etiqueta.
JMP @A+DPTR	Salta a la dirección contenida en (A + DPTR).
CALL etiqueta	Salta a la subrutina cuya dirección se define la etiqueta.
RET	Regresa el contador de programa a la dirección que se tenía antes de haber saltado (con CALL).
RETI	Regresa el contador de programa a la dirección que se tenía antes de haber saltado a la rutina de servicio de interrupción.
NOP	No se realiza ninguna operación, pero se salta a la siguiente dirección de programa.

Tabla 5.8. Instrucciones de salto.

3. Temporizador del microcontrolador.

El microcontrolador 8031 tiene un oscilador integrado que puede utilizarse como la fuente proporcionadora de pulsos de reloj para la unidad de procesamiento, para usar el oscilador integrado se conecta un cristal o un resonador cerámico entre las dos terminales del microcontrolador denominadas XTAL1 y XTAL2, además de un capacitor a tierra en cada terminal. El generador de reloj define los estados que forman los ciclos de máquina. Las diferentes formas de hacer funcionar el oscilador integrado se muestran en la figura 5.4, por medio de cristales, compuertas lógicas y sin elementos.

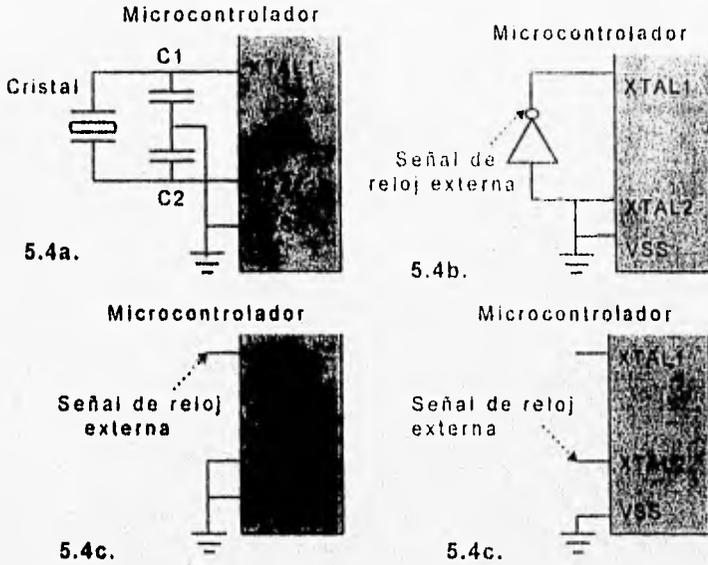


Figura 5.4. Configuraciones para señal de reloj externa.

4. Ciclo de máquina.

Un ciclo de máquina consiste de una secuencia de seis estados enumerados desde s1 hasta s6. Cada estado de tiempo transcurre en dos periodos de oscilación. Si un ciclo de máquina dura 12 periodos de oscilación o 1 μ s, entonces la frecuencia de oscilación es de 12 Mhz. Cada estado está dividido en dos fases de igual duración, p1 y p2. La figura 5.5 muestra las secuencias de "fetch/execute" (recuperación de instrucción/ejecución de instrucción) en estados y fases para la instrucción MOVX. Normalmente dos recuperaciones de instrucción se generan durante cada ciclo de máquina. Si una instrucción está ejecutándose, la unidad de procesamiento del microcontrolador simplemente ignora las recuperaciones de instrucción excedentes, y el contador de programa no se incrementa.

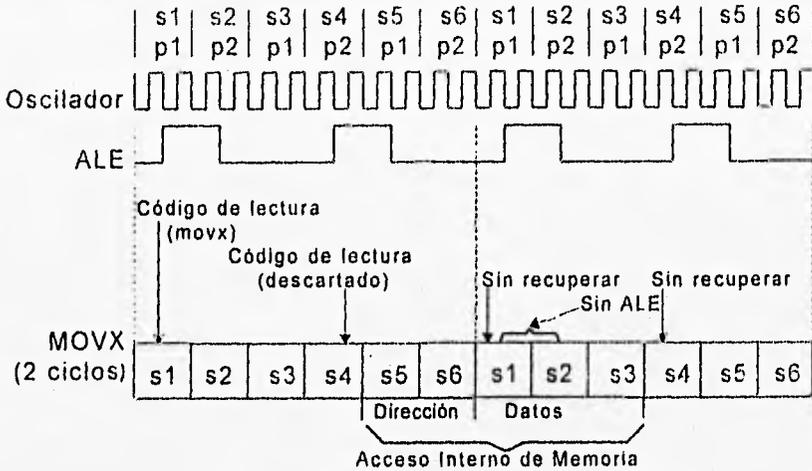
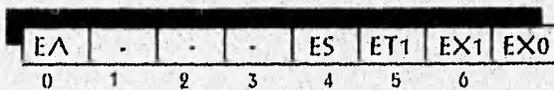


Figura 5.5. Estados y fases de la instrucción MOVX.

5. Estructura de interrupciones.

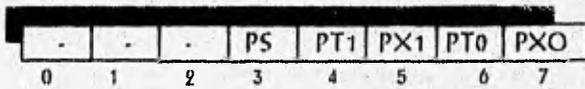
El microcontrolador 8031 proporciona cinco fuentes de interrupción, de las cuales dos son externas, dos son interrupciones de cronómetro y una es del puerto serial. Cada interrupción puede ser habilitada o deshabilitada individualmente, de acuerdo con los valores que se coloquen en el registro IE (Interrupt Enable - Habilitador de interrupción). Este registro también contiene un bit de habilitación global, que sirve para habilitar o deshabilitar todas las interrupciones a la vez. Enseguida se muestra el formato del registro habilitador de interrupción:



donde:

- EA. Deshabilita todas las interrupciones, si equivale a 0 y las habilita cuando su valor es 1.
- ES. Habilita la interrupción de puerto serial cuando su valor es 1.
- ET1. Habilita la interrupción de sobreflujo del cronómetro 1 cuando su valor es 1.
- EX1. Habilita la interrupción externa 1 cuando su valor es 1.
- ET0. Habilita la interrupción de sobreflujo del cronómetro 0 cuando su valor es 1.
- EX0. Habilita la interrupción externa 0 cuando su valor es 1.

Cada fuente de interrupción, puede ser individualmente programada para uno o dos niveles de prioridad, de acuerdo con los valores que se establezcan en registro IP (Interrupt Priority - Prioridad de interrupciones), cuyo formato se muestra a continuación:



donde:

- PS. Es el bit de prioridad alta para la interrupción de puerto serial, si su valor es 1 y de prioridad baja, si su valor es 0.
- PT1. Es el bit de prioridad alta para la interrupción de sobreflujo del cronómetro 1 si su valor es 1 o de prioridad baja, si vale 0.
- PX1. Es el bit de prioridad alta para la interrupción externa 1, si su valor es 1 y de prioridad baja, si su valor es 0.
- PT0. Es el bit de prioridad alta para la interrupción de sobreflujo del cronómetro 0 si su valor es 1 o de prioridad baja si vale 0.

PX0. Es el bit de prioridad alta para la interrupción externa 0, si su valor es 1 y de prioridad baja, si su valor es 0.

6. Organización de la memoria.

El microcontrolador tiene espacios de direcciones separados para memoria de programa y memoria de datos, tal como lo muestra la figura 5.6. Esta separación lógica permite que los datos de memoria sean accedidos por direccionamiento de 8 bits, lo cual aumenta la rapidez de manipulación y almacenamiento.

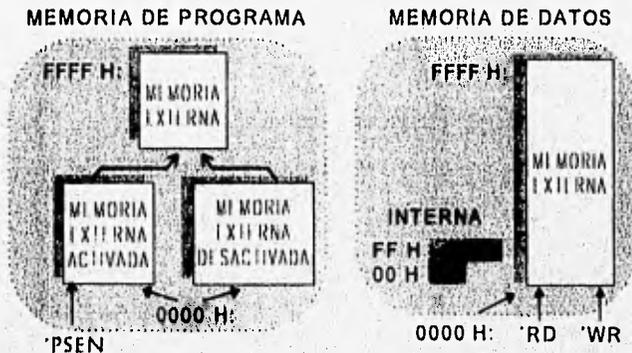


Figura 5.6. Estructura de la memoria.

Adicionalmente, los direccionamientos de 16 bits para la memoria de datos podrán generarse con el registro DPTR. En la tablas 5.9 y 5.10 se listan las direcciones del mapa de memoria de programa y de la memoria de datos interna.

Localidad	Dirección
RESET	0000 H
Interrupción Externa 0	0003 H
Interrupción de cronómetro 0	000B H
Interrupción Externa 1	0013 H
Interrupción de cronómetro 1	001B H
Interrupción de puerto serial	0023 H

Tabla 5.9. Estructura de la memoria de programa.

Localidad	Intervalo
Banco 1 de registros.	00 - 07 H
Banco 2 de registros.	08 - 0F H
Banco 3 de registros.	10 - 17 H
Banco 4 de registros.	18 - 1F H
Espacio direccionable indirectamente.	20 - 2F H
Puerto 0	80 H
Apuntador de pila	81 H
DPL (nibble inferior de DPTR)	82 H
DPL (nibble superior de DPTR)	83 H
Puerto 1	90 H
Puerto 2	A0 H
Puerto 3	B0 H
Acumulador	E0 H

Tabla 5.10. Estructura de la memoria de datos interna.

5.4.1.2. MEMORIA DE PROGRAMA .

Este dispositivo de almacenamiento quedó constituido por una EPROM 2764 de 8 Kbytes, que realiza las funciones de un BIOS, almacenando el programa de actividades que se realizarán en la etapa electrónico digital. El diagrama de conexión que se utilizó para unir la EPROM con el microcontrolador se muestra en la figura 5.7.

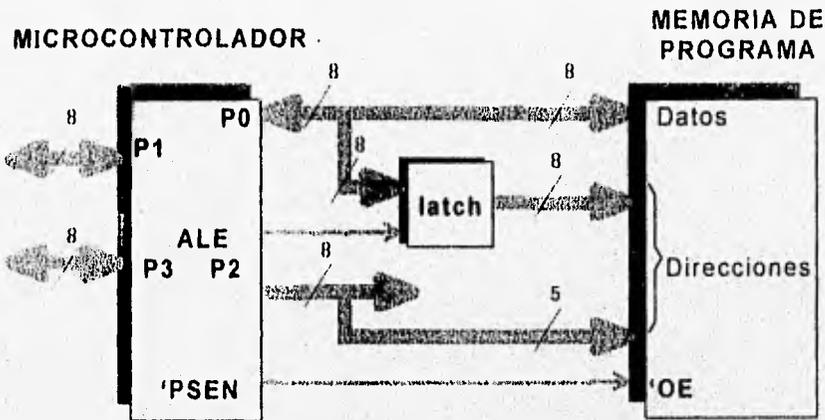


Figura 5.7. Diagrama de conexión entre el microcontrolador y la memoria de programa.

El microcontrolador solo puede leer la EPROM a través de la señal 'PSEN. Como puede apreciarse en la figura 5.7, existen 16 líneas de entrada-salida (puertos 0 y 2) del microcontrolador que están dedicadas a realizar la función de bus, durante los accesos a programa de memoria externa.

El puerto 0 sirve como bus multiplexado de direcciones y datos, éste emite el byte bajo del contador de programa (PC) como una dirección. Durante el tiempo en que el byte bajo del PC es válido para el puerto 0, la señal ALE (habilitador de dirección de latch) almacena este byte dentro del latch, mientras tanto el puerto 2 emite el byte alto del PC. Entonces la señal de 'PSEN detiene a la EPROM y el byte de código es leído dentro del microcontrolador. Resumiendo, para que el microcontrolador accese externamente a la memoria de programa, se requieren de 16 líneas de direccionamiento, por lo que se ocupan dos puertos de 8 bits cada uno, el puerto 0 y el puerto 2.

5.4.1.3. MEMORIA DE DATOS.

La memoria de datos quedó constituida por una RAM 62C64 de 8 Kbytes, que requiere de 13 líneas de direccionamiento. Para realizar lecturas en la memoria de datos, se selecciona el código de dirección de un registro del circuito. A fin de leer el contenido del registro seleccionado 'RD=0, 'WR=1 y CS=0. Para escribir una nueva palabra de 8 bits en el registro seleccionado se requiere que 'RD=1 'WR=0 y CS=0.

Esta combinación activa los circuitos de entrada de manera que la palabra de 8 bits aplicada a las entradas de datos se cargará en el registro seleccionado. También desactiva los circuitos de salida, que están en estado triple, de manera que las salidas de datos se encuentren en estado de alta impedancia durante la operación de escritura. La operación de escritura, desde luego, destruye la palabra que estaba almacenada antes de la dirección. La entrada CS de la memoria de datos se usa para activar o desactivar el circuito en su totalidad. En el modo "desactivado" todas las entradas y salidas de datos se desactivan, se encuentran en estado de alta impedancia para que no puedan realizarse operaciones de lectura ni de escritura sobre ellos. La razón de tener una entrada CS en la memoria, permite combinar varios circuitos de memoria para obtener un bloque de memoria mayor. La conexión del microcontrolador con la memoria de datos externa se observa en la figura 5.8.

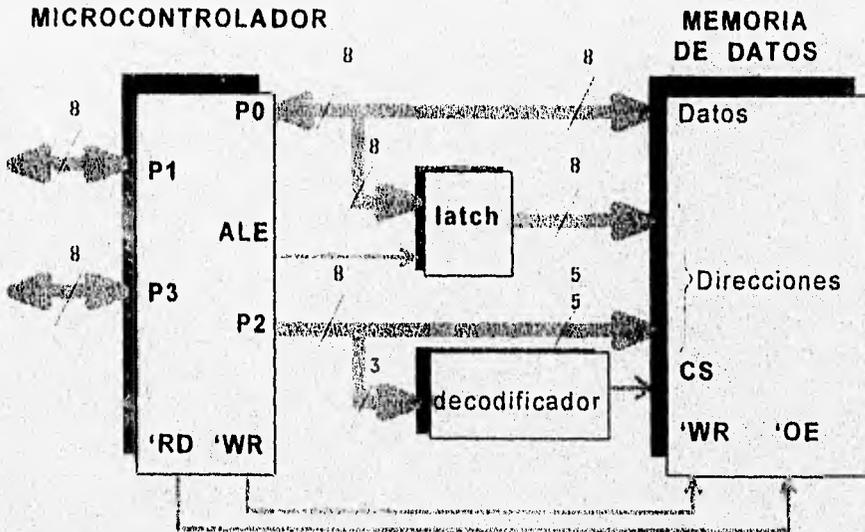


Figura 5.8. Diagrama de conexión del microcontrolador y la RAM.

El puerto 0 sirve como bus multiplexado de direcciones y datos y utiliza tres líneas del puerto 2 para seleccionar uno o más circuitos RAM, en caso de que éstos existan, o bien para seleccionar otro tipo de elementos externos de datos a través de las entradas CS.

5.4.1.4. COMUNICACIÓN CON LA COMPUTADORA

Antes de explicar la forma para resolver la comunicación con la computadora, se mencionarán los lineamientos que ésta debe seguir de acuerdo con la interface centronics de comunicación paralela.

1. Centronics.

Centronics es una norma que establece la forma de comunicación paralela entre una impresora y el puerto paralelo de la computadora, entre sus reglas define que se debe utilizar un conector de treinta y seis terminales. En la tabla 5.11 se muestran los nombres y las características de cada terminal del conector Centronics.

Capítulo 5. Desarrollo de la alternativa seleccionada

Terminal	Señal	Descripción
1	'STROBE	Entrada para indicar que existe un nuevo dato. Su duración es de 0.5 ms y se activa en nivel bajo.
2 - 9	Dato 1 al 9	Entradas que representan los ocho bits de datos.
10	'ACK	Salida que indica la computadora que el dato ha sido recibido. Su duración es de 5 ms y se activa en nivel lógico bajo.
11	BUSY	Salida indicando que la impresora no puede recibir datos. Se activa en nivel bajo cuando se están recibiendo datos, se está imprimiendo, no hay papel o por existen errores de funcionamiento..
12	PE	Salida que indica la falta de papel para imprimir.
13	SLCT	Salida que indica que la impresora está seleccionada.
14	'Autofeed	Entrada que ordena la alimentación automática de papel por la computadora, al terminar la impresión.
17	CH-GND	Terminal de tierra de chasis.
19	GND	Terminal de tierra para 'STROBE.
20 - 27	GND	Terminal de tierra para los dato1 al dato 8.
28	GND	Terminal de tierra para 'ACKNLG.
29	GND	Terminal de tierra para BUSY.
30	GND	Terminal de tierra para PE.
31	'INIT	Entrada que ordena a la impresora que debe ejecutar una secuencia de inicialización interna. Su duración es de 50 ms mínimamente.
32	'ERROR	Salida para indicar que la impresora se encuentra en condiciones problemáticas, impedida para imprimir.
16,33	GND	Terminales de tierra lógica.
15,18,34	NC	Terminales no utilizadas.
36	'SLCT IN	Entrada que indica que la computadora tiene datos listos para ser impresos.

NC = No conectada.

Tabla 5.17. Terminales de la interface centronics.

De acuerdo con la norma Centronics la transferencia de datos se realiza como sigue y su diagrama de tiempos se muestra en la figura 5.9:

- Primero debe asumirse que la impresora ha sido inicializada, enseguida la computadora pregunta por la señal BUSY para comprobar que la impresora está lista para recibir datos.
- Si BUSY se verifica en nivel bajo, la computadora envía paralelamente ocho datos en código ASCII.
- Después de $0.5 \mu\text{s}$ como mínimo, la computadora envía el pulso de 'STROBE en nivel lógico bajo, para indicar a la impresora que ya ha sido enviado un dato.
- El pulso de 'STROBE causa automáticamente la activación de la señal de BUSY en nivel lógico alto para detener momentáneamente la transmisión de los siguientes datos, mientras la impresora almacena el primer dato.
- Cuando la impresora está lista para recibir el siguiente dato, envía a la computadora la señal de 'ACKNLQ durante $5 \mu\text{s}$ para señalar que ya puede enviar un nuevo dato.

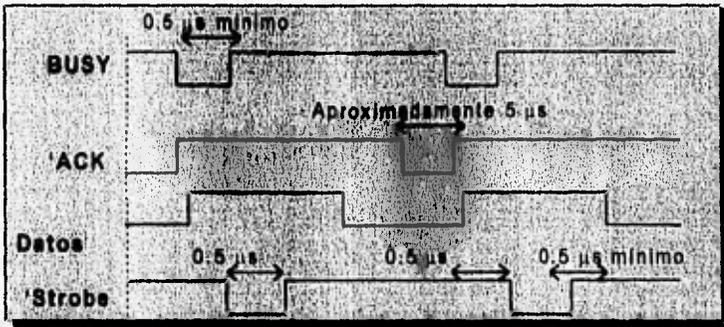


Figura 5.9. Diagrama de tiempos para la interfaz Centronics.

2. Circuito PPI.

Los métodos de transferencia de datos permitidos en el circuito PPI son:

- Entrada y salida simple. Este método de transferencia se ocupa cuando el envío y la recepción de datos no dependen de señales de control para realizarse.
- Entrada y salida de STROBE simple. Este método de transferencia se utiliza cuando los datos a leer se encuentran presentes durante un cierto tiempo, lapso en que debe realizarse la lectura de los mismos. Para identificar en que momento el dispositivo externo envía los datos, adicionalmente envía un pulso llamado STROBE, indicador de que un dato está presente.
- Entrada y salida de handshake simple. Para constituir este método de transferencia se agrega una señal llamada ACKNOWLEDGE al método de entrada y salida de STROBE simple. Esta señal indica que ya se ha recibido el dato presente y que se está en disposición de recibir uno nuevo. El dispositivo no puede continuar la transferencia de un dato siguiente, hasta recibir la constatación del dato anterior.
- Entrada y salida de doble handshake. Para este modo de transferencia se utiliza el filo de subida y bajada de las señales de STROBE y ACKNOWLEDGE.

Para conectar el circuito PPI con los dispositivos existentes de la etapa electrónico digital, se deben considerar las funciones de sus terminales que se explican a continuación y su compatibilidad con niveles lógicos TTL:

- Un canal de datos para comunicación externa, de 8 líneas. En este canal se pueden realizar operaciones de lectura o escritura de datos hacia los puertos o hacia el registro de control.
- Dos terminales que controlan las operaciones de lectura y escritura, llamadas 'RD y 'WR.
- Dos líneas de direccionamiento llamadas A0 y A1, que permiten acceder selectivamente a uno de los tres puertos o al registro de control. Las direcciones internas para los dispositivos de control se muestran en la tabla 5.12.

Dispositivo	Dirección
Puerto A	00 H
Puerto B	01 H
Puerto C	02 H
Registro de control	03H

Tabla 5.12. Direcciones internas de los dispositivos de control del PPI.

- Una terminal de entrada llamada CS, que permite habilitar las lecturas o escrituras hechas al circuito. Esta entrada debe conectarse a la salida del circuito decodificador de dirección de la etapa electrónico digital.
- Una terminal de entrada denominada RESET, que se debe conectar a la línea de RESET del microcontrolador. Cuando se activa esta terminal, todas las líneas de los puertos son inicializadas como líneas de entrada, para prevenir la destrucción del dispositivo al que se le estén enviando señales.

Para establecer el método de transferencia de datos en el circuito PPI, se eligió uno de los tres modos de inicialización de cada uno de los puertos, los cuales son:

Modo 0. La programación de algún puerto en este modo indica entrada y salida simple sin handshake. Si los puertos A y B se inicializan en modo 0, las dos mitades del puerto C pueden utilizarse conjuntamente como un puerto adicional de 8 bits o bien usarse individualmente como dos puertos de 4 bits.

Modo 1. Este modo indica la programación de modo handshake de los puertos A y/o B, que adquieren la función de entrada-salida handshake. Cuando los puertos A y B se inicializan como entradas en modo 1, las terminales del 0 al 2 y del 3 al 5 del puerto C serán líneas de handshake para los puertos B y A respectivamente, mientras que las terminales 6 y 7 del puerto C quedarán como líneas de entrada-salida. Observar figura 5.10a.

Modo 2. Este modo indica la programación del método de handshake bidireccional de transferencia de datos. Solamente el puerto A puede programarse en modo 2, y en este caso las terminales 3 a la 7 del puerto C se usan como líneas de handshake. Cuando el puerto A se programa en modo 2, las terminales 0 a la 2 se pueden usar como señales de handshake si el puerto B se inicializó en modo en modo 0 para salida/entrada simple. Observar figura 5.10b.

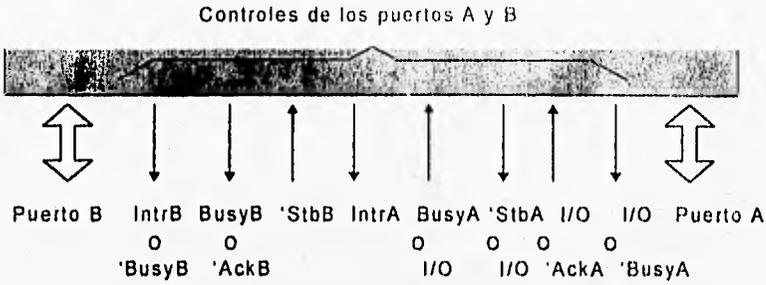


Figura 5.10a. Modos de operación del circuito PPI.

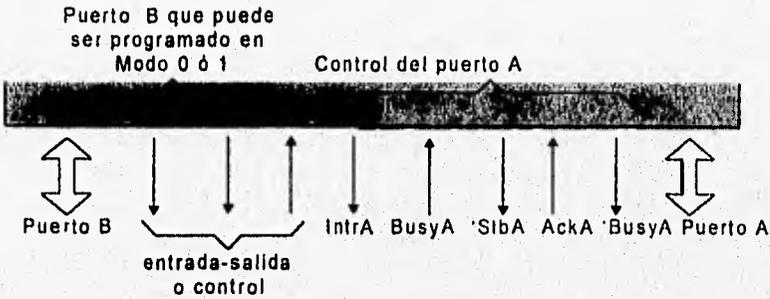


Figura 5.10b. Modos de operación del circuito PPI.

La forma de programación de los puertos consiste en escribir una palabra que contenga las inicializaciones hacia el registro de control. El formato que debe tener dicha palabra se muestra en la figura 5.11.

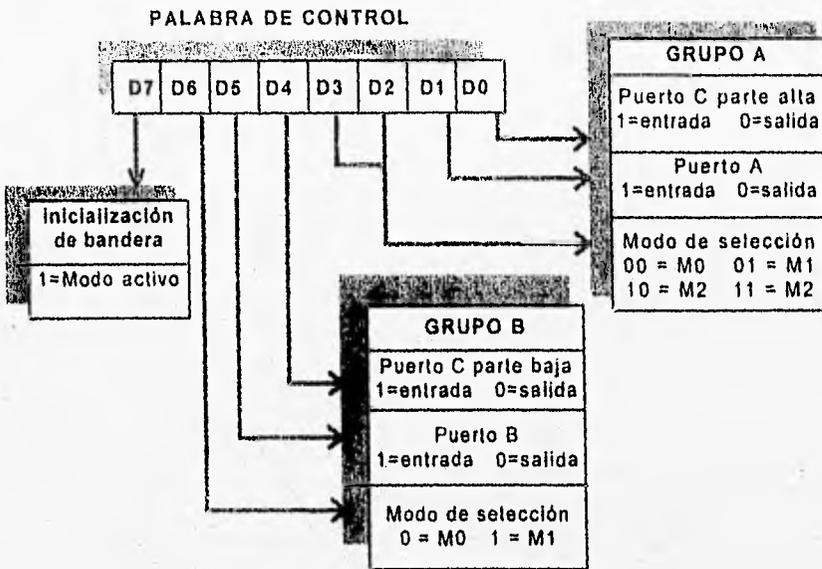


Figura 5.11. Formato de la palabra de control.

Con la información hasta entonces presentada, es posible explicar el funcionamiento del circuito PPI dentro de la etapa electrónico digital:

- El primer paso es la inicialización de los puertos, para lo cual deben identificarse las funciones que se requieren. Haciendo referencia a la interface Centronics se listan las señales indispensables para la comunicación con la computadora:

- 8 Líneas de entrada al circuito PPI.
- Señal 'STB, entrada para el PPI.
- Señal 'INIT, entrada para el PPI.
- 2 líneas de entrada para el PPI, denominadas SW1 y SW2 para los sensores de posición de papel.

- e) Señal 'ACK, salida del PPI.
- f) Señal BUSY, salida del PPI.
- g) Señal SLCT, salida del PPI.
- h) Señal PE, salida del PPI.
- i) Señal 'ERROR, salida del PPI.

Con estos datos se procederá a la programación de la palabra de control, inicializando al puerto A como entrada de handshake, al puerto B como salida simple, a la parte baja del puerto C como entradas simples y a la parte alta del puerto C como señales de handshake. A la terminal ó del puerto C se dará el uso de ACK. De esta forma, la palabra de control será 10110001=91h.

- El segundo paso consiste en leer los bits 0, 1 y 2 del puerto C para checar si la computadora está lista para operar. Entonces el circuito PPI genera el comando bit llamado set/reset, cuya palabra de control es 00001100h. Cuando la computadora recibe la orden de empezar, comenzará la transferencia de datos handshake.
- Durante el tercer paso, la computadora comienza el proceso enviando hacia afuera un byte de datos por el puerto A sobre sus 8 líneas. Entonces la computadora mantiene su línea 'STB en bajo, para decirle al PPI que un nuevo dato ha sido enviado. En respuesta el PPI levanta su entrada de IBF (entrada de buffer lleno) en alto a través del bit 5 del puerto C, para avisarle a la computadora que el dato está listo.

- En el cuarto paso, la computadora detecta la señal de BUSY en nivel alto, levanta su señal de 'STB en alto nuevamente. El filo de subida de la señal 'STB tiene dos efectos en el PPI:
 1. Mantener el byte de datos en la entrada del PPI. Una vez que el dato se mantiene, la computadora puede remover el byte de datos para enviar el siguiente byte de datos.
 2. Si la señal de Interrupción de salida ha sido habilitada, el filo de subida de 'STB causará una petición de interrupción que saldrá por el bit 3 del puerto C hacia el microcontrolador.

El microcontrolador responde a la petición de interrupción con una rutina de servicio de interrupción que se encarga de leer el dato retenido en el puerto A.

Cuando la señal 'RD del microcontrolador se coloca en bajo significa que está leyendo el dato del puerto A, el PPI automáticamente deshabilita su señal de petición de interrupción del bit 3 del puerto C. Se debe prevenir que una segunda interrupción no sea causada por la misma transferencia de dato. Cuando el microcontrolador levanta su señal de 'RD en alto nuevamente, concluye la transferencia de datos y el PPI automáticamente coloca su señal BUSY en bajo a través del bit 5 del puerto C. La señal BUSY se coloca en bajo para indicarle a la computadora que la transferencia se ha completado y que puede enviar el siguiente byte de datos. El ciclo de transferencia se repite para el siguiente dato.

5.4.1.5. COMUNICACIÓN CON LAS ETAPAS DE POTENCIA DE SOLENOIDES.

Para este circuito se empleó un puerto del microcontrolador y un buffer para cada línea de éste. Al tipo de dispositivos latch, se les llama más comúnmente como biestables D o Flip-flop D, donde la D proviene de "delay" (retardo en inglés). El puerto del microcontrolador que se utilizó para la comunicación con las etapas de potencia de solenoides, fue el puerto número 1. El buffer que se utilizó para amplificar la corriente de salida de los biestables del puerto del microcontrolador es un adaptador no inversor de tres estados (74126), que contiene cuatro adaptadores, por lo que fue necesario emplear dos de estos circuitos para cumplir con el número de siete solenoides.

5.4.1.6. COMUNICACIÓN CON LAS ETAPAS DE POTENCIA DE MOTORES.

El circuito latch que se utilizó para esta comunicación, fue el 74373, que tiene 8 biestables D con habilitador común, número que cubre con las cuatro etapas de potencia para cada uno de los motores de pasos. Al tener un habilitador común que se activa cuando se realiza una lectura hacia este dispositivo, queda implícito que cuando se envía cierta información a alguno de los motores no se debe modificar el estado de los datos enviados al otro motor, aún cuando la información se les envíe a través de 8 líneas paralelas provenientes del microcontrolador.

5.4.1.7. INTEGRACIÓN DE LA ETAPA ELECTRÓNICO DIGITAL.

Una vez que ya se ha descrito el funcionamiento de cada uno de los componentes de la etapa electrónico digital, es el momento de presentar su arquitectura por medio del diagrama de bloques presentado en la figura 5.12. En esta figura se observan unas líneas etiquetadas como *bus*, a las que también suele llamarseles canales y son un conjunto de conexiones eléctricas compartidas, a través de las cuales se comunican los componentes de la etapa electrónico digital. En este caso existen dos canales, uno para comunicar datos y otro para comunicar direcciones.

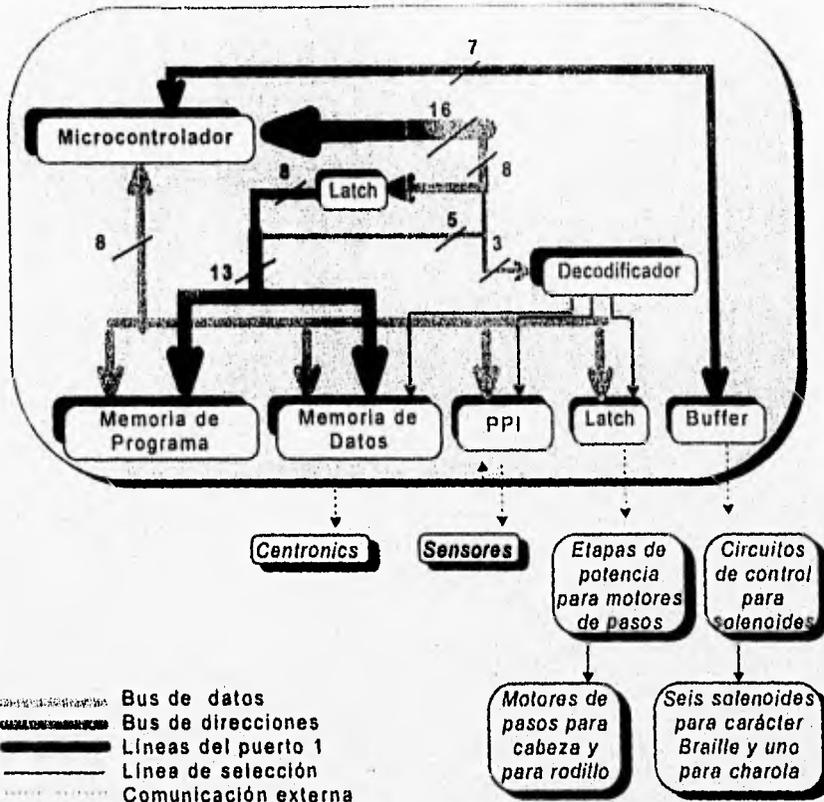


Figura 5.12. Diagrama a bloques de la arquitectura de la etapa electrónico digital.

Para que el microcontrolador pueda establecer comunicación con elementos de datos externos, tales como el latch para la etapa de potencia de motores, que no tienen en diseño una terminal para las señales de lectura o escritura, se utiliza la señal 'RD o 'WR generadas por el microcontrolador y la salida de un decodificador cuyas entradas provienen del bus de direcciones y se introducen como entradas para

una compuertas lógica NOR, para sincronizar la transferencia de información.

Como se puede observar en la figura 5.12. se tiene un decodificador que selecciona la activación de la memoria de datos, el circuito PPI y el latch de comunicación externa, a través de tres líneas de direcciones enviadas por el microcontrolador. De lo anterior se pueden establecer los rangos de direcciones para seleccionar cada circuito, mediante un mapa de direccionamiento externo al microcontrolador, que se muestra en la tabla 5.13.

A15	A14	A13	A12- A2	A1	A0	Rango de direcciones	Circuito a seleccionar
0	0	0	x	x	x	0000-1FFFh	Memoria de datos
0	0	1	x	0	0	2000h	Puerto A del circuito PPI
0	0	1	x	0	1	2001h	Puerto B del circuito PPI
0	0	1	x	1	0	2002h	Puerto C del circuito PPI
0	0	1	x	1	1	2003h	Palabra de control del circuito PPI
0	1	0	x	x	x	4000-5FFFh	Latch de comunicación externa

x - No es relevante el valor.

Tabla 5.13. Direccionamiento de elementos externos al microcontrolador.

5.4.2. DISPOSITIVOS ELECTROMECAÑICOS Y SENSORES.

5.4.2.1. SENSORES.

Son dispositivos que permiten conocer la posición de un objeto determinado para poder controlarlo. En el caso de la impresora de código Braille, se hizo necesario un tipo de sensor de posición que no necesita de contacto físico, llamado optointerruptor.

Existen muchos tipos de optointerruptores que hacen uso de técnicas fotoeléctricas para la detección de la posición. Unos funcionan interrumpiendo un haz de luz directo, mientras que otros lo hacen con un haz de luz reflejado, pero el modo de funcionamiento es el mismo. El emisor de luz, bien la luz directa o reflejada, suele ser un diodo LED. En la figura 5.13 se muestra una aplicación de un interruptor de este tipo para la detección de hojas.

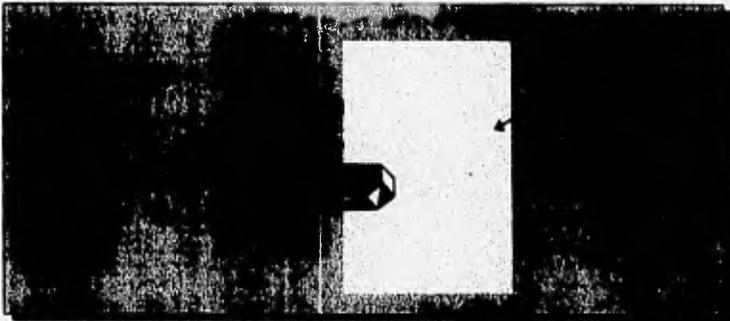


Figura 5.13. Optointerruptor de haz de luz.

1. Arreglo electrónico para los sensores.

El arreglo que hará funcionar a cada sensor estará en función del espesor de las hojas y del plástico que detectará. Mientras más grueso sea el material que interrumpe el paso de la luz, con menor cantidad de sensibilidad debe configurarse. El arreglo sensor se muestra en la figura 5.14.

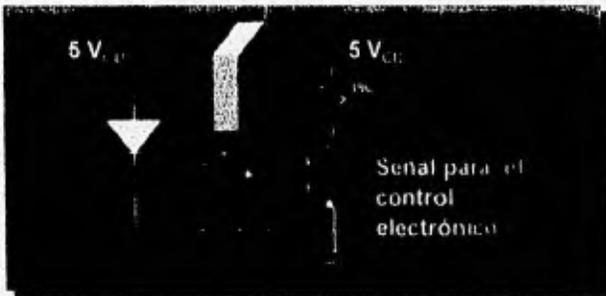


Figura 5.14. Arreglo para cada sensor.

5.4.2.2. SOLENOIDES.

Los dispositivos de actuación o actuadores son los elementos encargados de transformar la energía en trabajo. En el caso de la impresora, los actuadores son elementos que realizan la conversión de señales eléctricas en acciones de tipo mecánico, y están constituidos por solenoides y motores de pasos.

El solenoide es un dispositivo electromecánico que produce una fuerza mecánica en una dirección fija, que puede utilizarse para mover objetos en esa misma dirección.

5.4.2.3. MOTOR DE PASOS.

Un motor de pasos es de construcción similar a un motor síncrono de corriente alterna. Los arrollamientos de campo no son movidos por una onda senoidal continua, como sucede con un motor de CA síncrono, sino por una secuencia discreta de niveles de voltaje, los cuales se van haciendo rotar alrededor del arrollamiento de campo, paso a paso, de ahí el nombre del motor. Por ser un elemento esencial en la operación de la impresora, es pertinente describir su funcionamiento en las próximas líneas.

En la figura 5.15 se ilustra el método de funcionamiento. Existen dos juegos de embobinados para las fases A y B, cada embobinado se convierte en un polo norte (N) al energizarse. En la figura 5.15a atraen al polo sur (S) del imán permanente acoplado al rotor las bobinas A1 y B1 que están encendidas o activadas. Al apagarse B1 y encenderse B2 el polo sur es atraído a una nueva posición a 90° en el sentido del movimiento de las manecillas del reloj, como se muestra en la figura 5.15b.

La continuación de esta secuencia de encendido y apagado hace que el rotor avance 90° en el sentido del movimiento de las manecillas del reloj cada vez que se activa la conmutación, y la inversión de la secuencia produce un movimiento contrario al de las

manecillas del reloj. Para lograr pasos muy pequeños es necesario incrementar el número de polos.

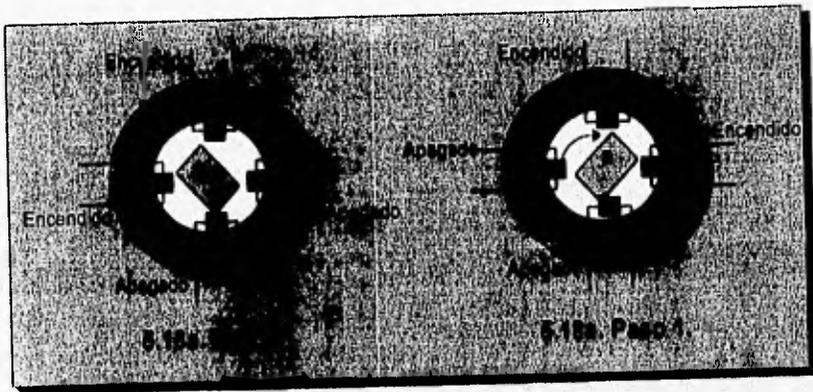


Figura 5.15. Motor de pasos unipolar:

A continuación se listan las características más importantes de un motor de pasos:

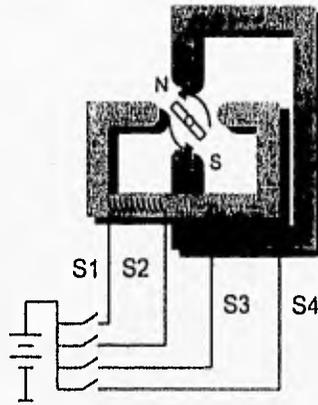
- El motor de pasos es común entre los sistemas controlados por microcomputadoras, esto se debe a que su uso elimina la necesidad de monitorear señales de retroalimentación.
- Una característica inherente de los motores de pasos es su habilidad para mantener un par giratorio estático al ser energizados.
- Los motores de pasos de reluctancia variable pueden aumentar en gran medida el número de posiciones estables, es decir, reducir el tamaño del paso.

- La velocidad de rotación depende de la rapidez con que se incrementa el campo magnético.
- Una de las limitaciones del motor de pasos es que el par de fuerza disponible es inversamente proporcionan a la velocidad.
- La velocidad de rotación de un motor de pasos debe ir incrementándose lentamente desde cero hasta su valor final.
- La mayor parte de los motores prácticos, poseen un punto de resonancia a una velocidad relativamente baja, en la cual, el par de fuerzas se ve reducido drásticamente. Si el motor se mantiene en este punto durante un tiempo excesivo, también se detendrá.
- Para hacer funcionar este tipo de motores se necesitan circuitos digitales externos.

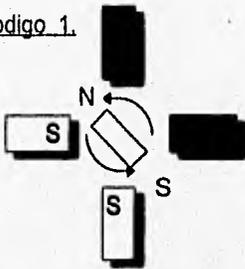
En la figura 5.16 se muestra la estructura básica de un motor de pasos de CC. También pueden verse representadas en la figura las posiciones de los polos magnéticos en función de las señales digitales de los circuitos que las hacen funcionar.

Código	S1	S2	S3	S4
1	0	0	1	1
2	1	0	0	1
3	1	1	0	0
4	0	1	1	0

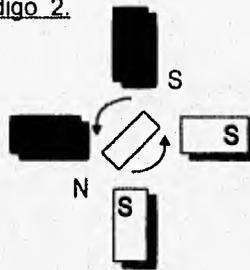
1 Indica interruptor cerrado.
0 Indica interruptor abierto.



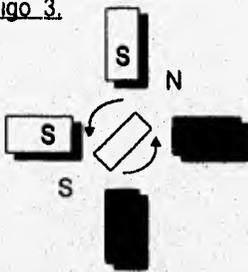
Código 1.



Código 2.



Código 3.



Código 4.

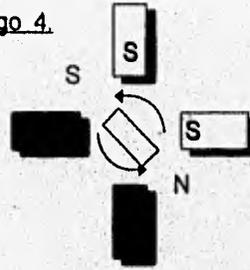


Figura 5.16. Estructura básica de un motor de pasos y representaciones de los campos magnéticos en función de las señales eléctricas.

5.4.3. ETAPAS DE POTENCIA PARA MOTORES DE PASOS

Un sistema amplificador de potencia consiste de un amplificador de señal pequeña y un amplificador de señal grande. Las señales manejadas por los microcontroladores son pequeñas y se deben amplificar para poder operar dispositivos de mayor potencia que son los que alimentarán a los motores con la energía necesaria para que funcionen. Los amplificadores de voltaje proporcionan una señal de voltaje lo bastante grande para las etapas de amplificadores de señal grande a fin de operar dispositivos de salida como altavoces y motores. Un amplificador de señal grande debe operar en forma eficiente y ser capaz de manejar grandes cantidades de potencia (por lo común de unos cuantos watts a cientos de watts).

5.4.3.1. AMPLIFICADOR DE SEÑAL PEQUEÑA.

En este proyecto se utilizó como amplificador de señal pequeña un transistor de unión bipolar (BJT) (dispositivo de unión bipolar controlado por corriente) el cual tuvo como objetivo subir el voltaje del optoaislador y proporcionárselo al amplificador de señal grande. Para utilizar este dispositivo en la amplificación de voltaje o corriente o como elemento de control (encendido o apagado), se requiere primero polarizar el dispositivo. La acción usual de polarizar, es encender el dispositivo y en particular, ponerlo a operar en la región que funcione con mayor linealidad.

Las regiones de operación necesarias para este sistema de control son las de corte y saturación, por lo tanto el circuito de polarización será diseñado para tal fin. El corte es la condición en la cual, el dispositivo ya no conduce. La saturación es la condición en la que el voltaje en el dispositivo es el más pequeño posible.

La configuración que se utilizará es la de colector-emisor que se muestra en la figura 5.17, se compone de una batería de alimentación, el resistor del colector y la unión del colector-emisor del transistor. Las corrientes a través del colector y el emisor son aproximadamente iguales puesto que I_B es pequeña en comparación con cualquier otra.

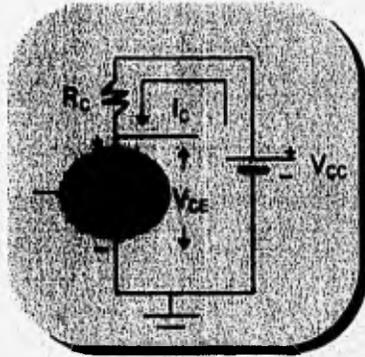


Figura 5.17. Circuito de polarización colector-emisor.

Es necesario polarizar el dispositivo para que pueda cambiar sus valores de corriente y voltaje, cuando se le aplique una señal de entrada por la base. El circuito de polarización fija utilizado en este proyecto es el mostrado en la figura 5.17. Para poder determinar las corrientes y voltajes de polarización de cd en la base y el colector del transistor se hace lo siguiente:

1. Cuando existe un resistor en la base, la corriente será:

$$I_B = (V_{CC} - V_{BE}) / R_B$$

2. Se puede despreciar la caída de voltaje entre la base y el emisor, obteniendo la siguiente aproximación:

$$I_B = V_{CC} / R_B$$

3. La corriente de colector se obtiene de la siguiente manera:

$$I_C = \beta I_B$$

donde β es la ganancia de corriente del transistor.

4. La caída de voltaje cd colector a emisor es:

$$V_{CC} - I_C R_C - V_{CE} = 0 \quad \therefore V_{CE} = V_{CC} - I_C R_C$$

El transistor que se utilizó fue el BC547¹, mostrado en la figura 5.18.

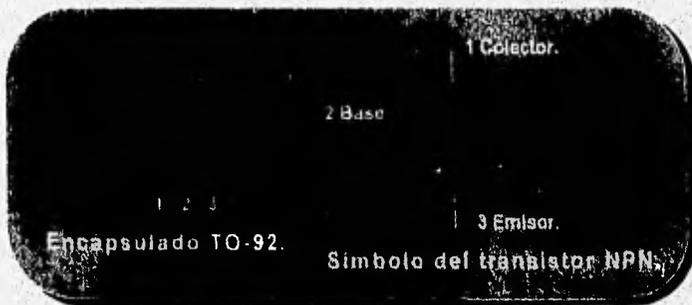


Figura 5.18. Transistor BC547..

¹ Para conocer sus especificaciones, consulte el manual de Motorola "Small-Signal Transistors FETs and Diodes Device Data".

5.4.3.2. OPTOAISLADOR.

Es un dispositivo que se compone de un paquete que contiene un led infrarrojo y un fototransistor detector, en la figura 5.19 se muestra un esquema de un optoaislador. Hay una capa aislante transparente entre cada dispositivo para permitir el paso de la luz. Se diseñan con tiempos de respuesta tan pequeños que pueden emplearse para transmitir en el rango de megahertz. La razón por la cual se utiliza un dispositivo de este tipo, es para aislar la conexión eléctrica entre la etapa electrónica digital y las etapas de potencia.



Figura 5.19. Optoaislador.

² Para obtener mayor información del 4N25, consultar el manual de Motorola "Tmos Power Mosfet Data".

5.4.3.3. AMPLIFICADOR DE SEÑAL GRANDE.

Como amplificadores de señal grande se utilizarón MOSFETs. El MOSFET tiene aislada la compuerta del canal. Una de sus ventajas es que para que conduzca se requiere muy poca corriente en la compuerta, ahorrando consumo en la etapa de amplificación de señal pequeña.

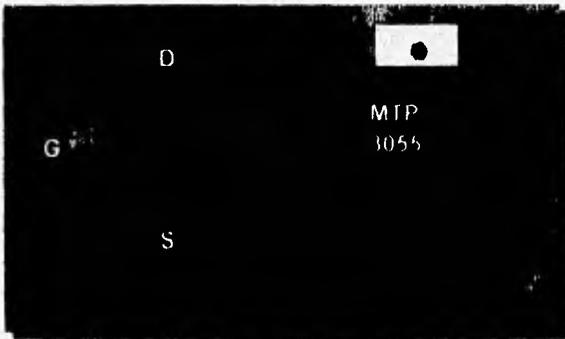


Figura 5.20. Diagrama del encapsulado y símbolo del MOSFET MTP3055E.

El dispositivo utilizado es el MTP3055E³, su diagrama se muestra en la figura 5.20 y algunas de sus características se mencionan a continuación:

- Es un transistor de poder de efecto de campo con canal n mejorado.
- Esta diseñado para resistir una alta energía, soporta hasta 4 amp.
- También ofrece un diodo conectado entre el drenaje y la fuente con tiempos rápidos de recuperación, desarrollado para reemplazar a un diodo zener externo supresor de transitorios.

³ Para mayor información del MTP3055E consultar el manual de Motorola "Tmos Power Mosfet Data".

- Está desarrollado para bajos voltajes, conmutaciones de alta velocidad y para controlar motores de pasos

5.4.3.4. FUNCIONAMIENTO DE LA ETAPA DE POTENCIA.

La etapa electrónica digital manda una señal para cada línea de cada motor, esta señal es recibida por el optoacoplador 4N25 aislando las dos etapas. El 4N25 proporciona la señal a un transistor BC547 el cual invertirá la señal. Si el transistor recibe un nivel de voltaje para el corte, por el colector estará mandando una señal alta pero con la corriente suficiente para activar el mosfet, si por el contrario, recibe una señal para la saturación, mandará por el colector una señal baja para el mosfet.

El mosfet actuará proporcionando la corriente suficiente para cada línea del motor. Si la señal es alta, el mosfet no conduce y el motor de pasos tiene una señal baja, si la señal de la compuerta es baja, el mosfet conduce, y presenta una corriente entre el drenador y la fuente, en consecuencia el motor recibe una señal alta.

La figura 5.21 muestra el arreglo de potencia utilizado para cada línea de cada motor, en este caso ejemplificado para el motor del rodillo, para el motor de la cabeza se procede en forma similar. El motor que moverá al rodillo de tracción consume aproximadamente 0.54 amp y el motor de la cabeza aproximadamente 0.15 amp.

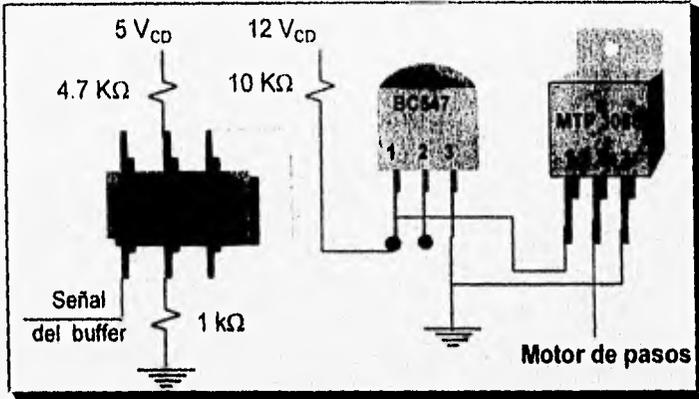


Figura 5.27. Etapa de potencia para cada línea de motor.

5.4.4. ETAPA DE POTENCIA PARA SOLENOIDES.

Las agujas utilizadas para deformar el papel así como el mecanismo para levantar la charola, son impulsados por solenoides de corriente alterna de 127 volts consumiendo cada uno 0.3 Amp, en total se tienen 7 solenoides a controlar. Se necesita utilizar una etapa que controle a cada solenoide, ésta usará la señal pequeña del control electrónico digital para controlar el paso de la corriente alterna para cada solenoide. El arreglo electrónico utilizado se compone de un MOC3011 y un TIC116C. A continuación se expone la explicación de funcionamiento de cada dispositivo.

5.4.4.1. MOC3011.

El MOC3011 se muestra en la figura 5.22. Consiste de un led infrarrojo de arseniuro de galio (GaAs), utilizado para excitar a un dispositivo detector especialmente diseñado para controlar triacs que conmutan líneas de corriente alterna de 127 V. El MOC3011 necesita de baja potencia para ser excitado. El led de GaAs funciona con 1.3 V_{CD} a 10 mA, soporta una corriente máxima de 50 mA. El dispositivo detector es un pequeño optotriac que puede bloquear 250 V_{AC} cuando está apagado.

Cuando está prendido el detector puede dejar pasar 100 mA en cualquier dirección. El detector puede ser activado por los fotones del led, excediendo el voltaje de bloqueo. En la figura 5.26 se muestra el diagrama del MOC3011.

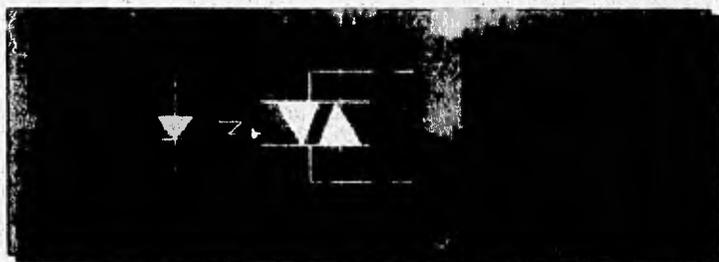


Figura 5.22. Diagrama del MOC3011⁴.

⁴ Para mayor información sobre el MOC3011 y el TIC116C consultar el manual Thyristor device data.

5.4.4.2. TIC116C.

Es un triac de silicón controlador y rectificador, diseñado principalmente para controlar medias ondas de ac, tal como controles para motores y controles de temperatura. El símbolo de este dispositivo se muestra en la figura 5.23.



Figura 5.23. Símbolo y encapsulado del triac TIC116C⁴.

El circuito utilizado en este proyecto es el mostrado en la figura 5.24, para cada solenoide se desarrollará un arreglo similar, es decir, habrá siete etapas, pero en la figura solo aparece un arreglo desarrollado.

La máxima corriente soportada por el MOC3011, determina el mínimo valor de R a través de la ecuación:

$$R(\text{min}) = V_{\text{in(pk)}} / 1.2 \text{ Amp}$$

Si se está operando a 115 V_{ac} nominal, $V_{\text{in(pk)}} = 180 \text{ V}$, entonces:

$$R = 180/1.2 = 150 \Omega.$$

En la práctica la resistencia puede variar. El led se alimenta con un mínimo de 1.3 V y 10 mA y 3 V máximo a 50 mA y el pequeño triac entrega 3 V a 100 mA que controla el disparo del triac por medio de la compuerta.

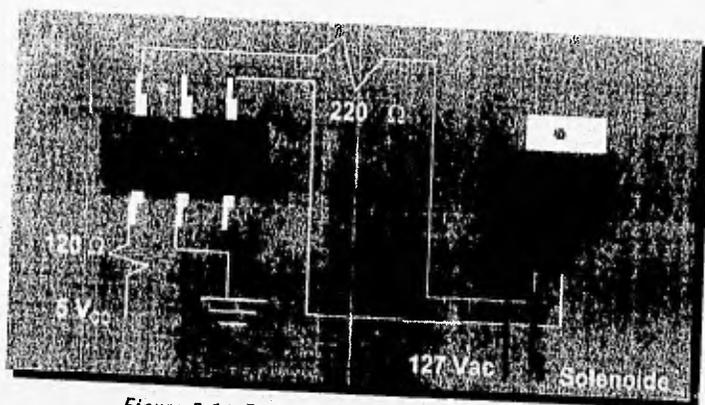


Figura 5.24. Etapas para controlar cada solenoide.

5.4.5. PROGRAMA DE CONTROL DEL HARDWARE.

Conjuntando las acciones que debe realizar la impresora expresadas en *Elementos auxiliares* y describiendo el funcionamiento específico de los componentes dentro de *Hardware*, *Dispositivos electromecánicos* y *Sensores*, se puede definir el microprograma que deberá ejecutar el microcontrolador al momento de su energización. Para comprender dicho programa, primero se presentará un diagrama de flujo general en la figura 5.24, posteriormente se explicarán a detalle cada una de sus subrutinas, incluyendo la codificación, de acuerdo al lenguaje de programación del microcontrolador.

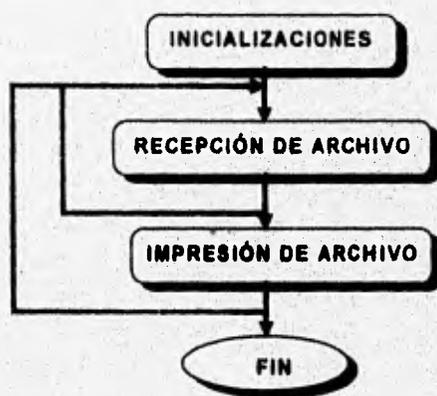


Figura 5.24. Diagrama de flujo general del microprograma.

En la figura 5.25 se observan las tres subrutinas principales que ejecutará la impresora, que son inicializaciones, recepción de archivo e impresión de archivo.

5.4.5.1. INICIALIZACIONES.

En esta rutina se llevan a cabo las siguientes actividades:

1. Se le proporcionan al microcontrolador los valores de las constantes utilizadas a lo largo del programa. Estas constantes se listan en la tabla 5.14 con sus respectivas equivalencias.

CONSTANTES	VALOR	DESCRIPCIÓN
LIM_INF	255	Límite de 32 bloques de memoria de datos.
LIM_SUP	32	Límite de 255 datos contenidos en cada bloque de la memoria de datos.
EOF	255	Valor ASCII de fin de archivo.
PUERTO_A	2000H	Dirección del puerto A del circuito PPI.
PUERTO_B	2001H	Dirección del puerto B del circuito PPI.
PUERTO_C	2002H	Dirección del puerto C del circuito PPI.
CONTROL	2003H	Dirección de la palabra de control del circuito PPI.
MOTORES	4000H	Dirección del latch de comunicación externa con las etapas de potencia de motores.

Tabla 5.14. Valores de las constantes del microprograma.

2. Se envían señales de despolarización a los solenoides y a los motores, para asegurar su inactividad.
3. Se programa el circuito PPI conforme al modo de operación que se desee emplear para cada puerto.
4. Se incluye la tabla lookup que contiene los valores de la secuencia de pasos de motores.

La codificación de la rutina de inicializaciones se presenta en el listado 5.2.

```
:Inicializaciones
LIM_INF EQU 255
LIM     EQU 32
EQ      EQU 255
        EQU 2000H
        EQU 2001H
        EQU 2002H
        EQU 2003H
        EQU 200DH
```

Listado 5.2. Codificación de la rutina de inicializaciones.

5.4.5.2. RECEPCIÓN DE ARCHIVO.

En esta rutina el objetivo es almacenar el archivo de datos que transmite la computadora, o bien la fracción del mismo que pueda caber en la memoria de datos. En esta rutina existe un ciclo que la repite así misma, para enfatizar que una vez que se inicia el programa, la impresora estará en espera de un archivo para almacenar en su memoria

de datos. El diagrama de flujo se presenta en la figura 5.25 y su codificación en el listado 5.3.

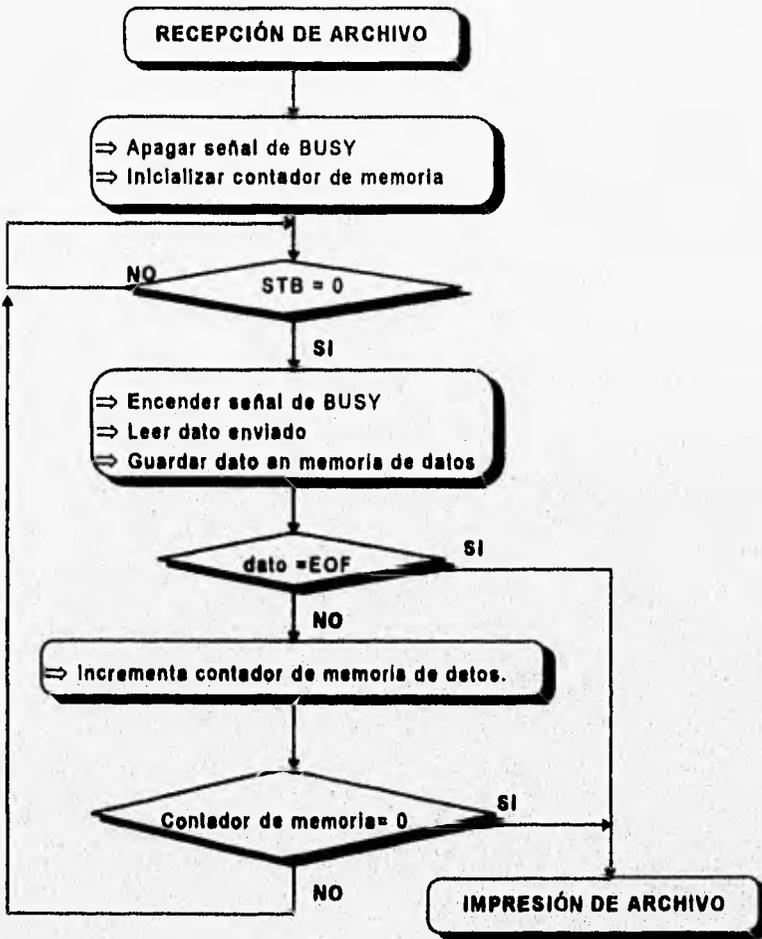


Figura 5.25. Diagrama de flujo de la recepción de archivo.

```

; RECEPCIÓN DE ARCHIVO
BEGIN: MOV DPTR, #TXPC;Direcciona puerto B
      MOV A, #21 ERROR,~PE,SLCT,~BUSY,ACK
      MOVX DPTR, A
      MOV DPTR, #TXPC;Direcciona puerto B
      MOV A, #21 ERROR,~PE,SLCT,BUSY,ACK
      MOVX DPTR, A

LEEPC: MOV R0, #100 Inicializa contador de bytes
      MOV R1, #100 Inicializa contador de bloques
      MOV DPTR, #0000;Limite inferior de buffer
      PUSH DPTR;Guarda contador de buffer
      PUSH DPTR

LEER: MOV DPTR, #TXPC;Direcciona puerto C
      STB MOVX DPTR, A;Guarda DPTR en A
      ANL A, #00;Mascara STROBE
      MOV DPTR, #TXPC;Dirección por puerto A
      MOVX DPTR, A;Guarda DPTR en A
      POP A;Mueve el dato en RA
      POP DPTR;Recupera DPTR en el STACK
      MOVX DPTR, A;Guarda dato en RAM
      INC DPTR;Incrementa dirección de RAM
      PUSH DPTR;Guarda dirección de RAM
      PUSH DPTR;Guarda dirección de RAM
      INC DPTR;Incrementa contador buffer
      MOV DPTR, #00;Guarda contador buffer
      MOVX DPTR, A;Guarda contador buffer en STACK
      MOV DPTR, #00;Guarda contador buffer en STACK
      MOVX DPTR, A;Guarda contador buffer en STACK
      MOVX DPTR, A;Guarda contador buffer en STACK
      CJNE DPTR, #00;Compara contador buffer
      LJMP LEER;Salta a LEER

SIGLE: CJNE DPTR, #00;Compara contador buffer
      INC DPTR;Incrementa cuenta bloque
      MOV DPTR, #TXPC;Dirección por puerto A
      CJNE DPTR, #TXPC;Compara dirección por puerto A
      MOV A, #20;Mascara de dirección por puerto A
      POP DPTR;Recupera dirección por puerto A
      POP DPL;Recupera dirección por puerto A
  
```

Lista 5.3. Codificación de recepción de archivo.

5.4.5.3. IMPRESIÓN DE ARCHIVO.

Esta rutina tiene el objetivo de imprimir el archivo que se almacenó en la memoria de datos, hasta encontrar fin de archivo o llegar al límite de la memoria, para después regresar a la recepción de archivo nuevamente. En esta rutina se presenta un ciclo de espera hacia la recepción de la información, porque si únicamente se ha impreso una parte del archivo por sobrepasar el buffer, será necesario continuar la recepción y repetir el proceso hasta que se detecte el fin de archivo.

Básicamente, esta rutina hace lo siguiente:

1. Inicializar contador de memoria de datos.
2. Preparar la ubicación física de la hoja a imprimir y establecer los contadores que la controlarán.
3. Leer el dato de la memoria temporal, codificarlo a Braille e imprimirlo.
4. Terminar con la impresión si el último dato fue fin de archivo o si se agotó la memoria temporal, de otra forma se continua imprimiendo.

Cada carácter ASCII que es leído de la memoria temporal, sirve de desplazamiento para una instrucción de tabla lookup que contiene el código Braille correspondiente. Para ello cada carácter ASCII tiene su equivalente en Braille dentro de la tabla lookup, que es el número binario representante de los puntos en relieve de acuerdo a la convención mostrada en la figura 5.26.

Así, cuando se hace referencia a la dirección correspondiente de la tabla, se envía el código leído al puerto 1 del microcontrolador, que activa los solenoides cuyo bit enviado es uno y no activa a los que envía un cero. El bit menos significativo es el punto que tiene el número 1 y el más significativo es el que tiene el 6.

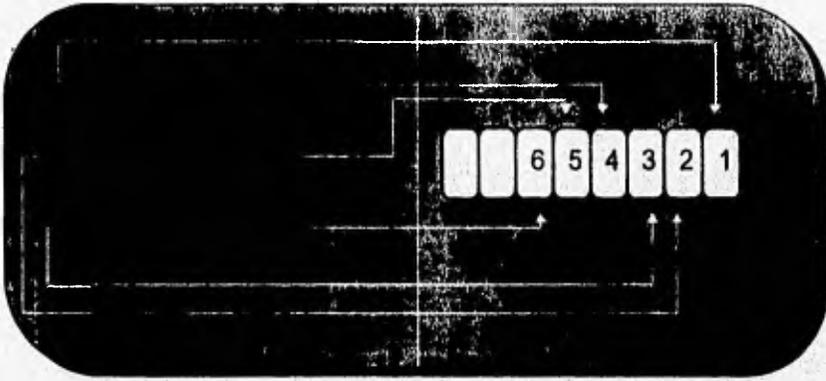


Figura 5.26. Relación entre la posición de los puntos de un carácter Braille y un byte enviado por el puerto del microcontrolador.

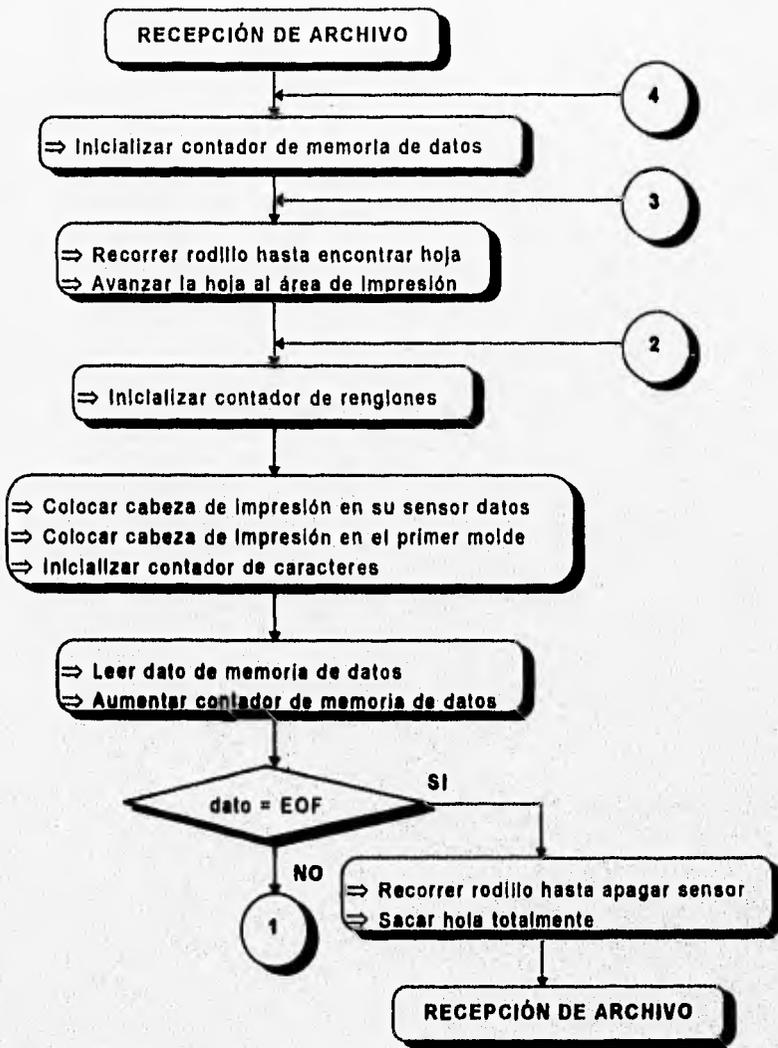


Figura 5.27a. Diagrama de flujo de la impresión de archivo.

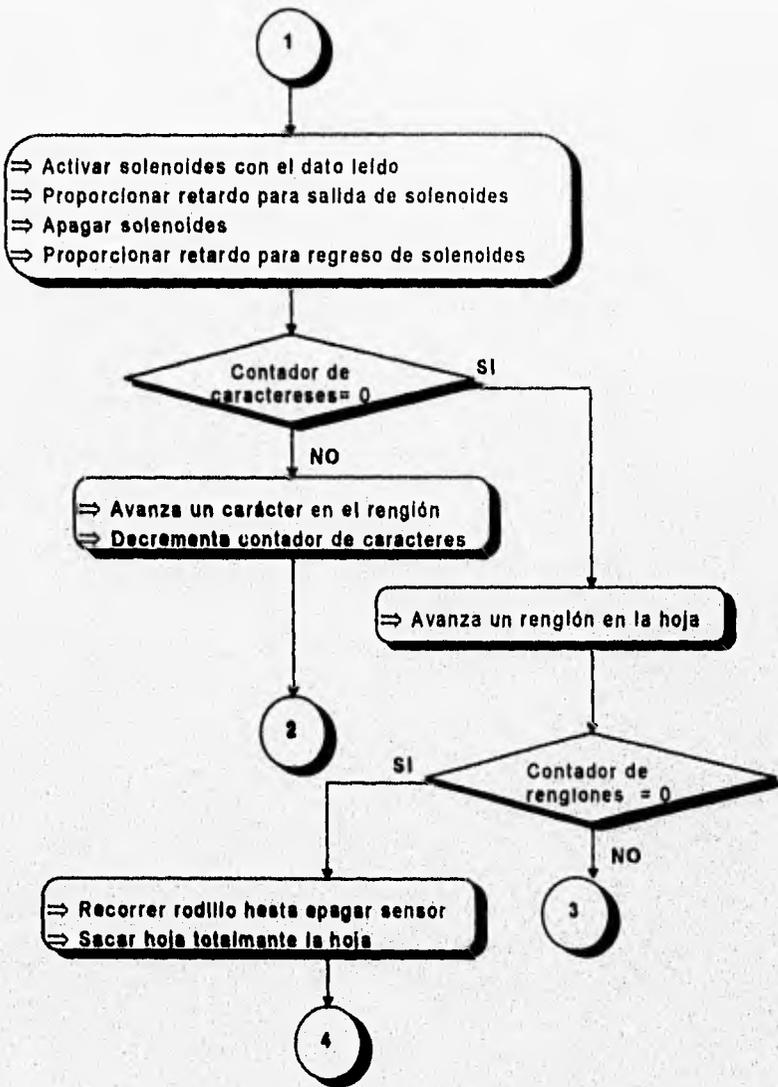


Figura 5.27b. Diagrama de flujo de la impresión de archivo.



Listado 5.4. Codificación de la rutina de la impresión de archivo.

5.4.5.4. SUBRUTINAS.

Para la ejecución de las rutinas principales se requiere de otras subrutinas que quedan agrupadas en:

- A) Rutinas de movimiento de motores de pasos por detección.
- B) Rutinas de movimiento de motores de pasos por conteo.
- C) Rutinas de retardo.

Para el tipo de rutina del inciso A), el objetivo es dejar activado uno de los motores hasta cambiar el estado del sensor correspondiente y actúa de acuerdo a la siguiente secuencia de pasos.

1. Inicializa polarización de motor.
2. Lee sensor.
3. Si el sensor se encuentra en estado deseado, ir al paso 7.
4. Si el sensor se encuentra en estado no deseado, ir al paso 5.
5. Aumenta una posición en el motor indicado, respetando la polarización del otro motor.
6. Ir al paso 2.
7. Fin de subrutina.

Para el tipo de rutina del inciso B), se pone a funcionar uno de los motores hasta que se termina con un conteo de pasos. Las rutinas de este tipo tienen la siguiente secuencia:

1. Inicializa polarización de motor.
2. Aumenta una posición en el motor indicado, respetando la polarización del otro motor.
3. Aumenta contador de posiciones.
4. Si el contador de posiciones llegó al límite, ir al paso 6.
5. Si el contador de posiciones es diferente del límite, ir al paso 2.
6. Fin de subrutina.

La secuencia de acciones a seguir para el tipo de rutina del inciso C) es la siguiente:

1. Inicializa contador de tiempo.
2. Decrementa contador de tiempo.
3. Si el contador de tiempo equivale a cero, ir al paso 5.
4. Si el contador de tiempo es diferente de cero, ir al paso 2.
5. Fin de subrutina.

5.5. ESPECIFICACIONES.

1. Método de impresión.

Matriz de 6 punzones.

2. Velocidad de impresión.

Acción	Tiempo [seg]
Alimentar hoja	6.14
Inicializar cabeza de impresión	12.69
Impresión de 20 renglones con avance de hoja	507.62
Impresión de un renglón sin avance de hoja	3.69
Expulsión de hoja	4.1
Impresión completa de una hoja	534.24 8.904 min

Tabla 5.15. Tabla de tiempos de impresión.

De la tabla anterior se deducen las siguientes velocidades de impresión:

- 3,679 caracteres/hora
- 61 caracteres/minuto

3. Buffer.

8 Kbytes.

4. Área imprimible.

Tamaño de hoja:	21.5 x 29.5 cm
Margenes izquierdo y derecho:	2.5 cm
Margenes inferior y superior:	2.5 cm
Cantidad de caracteres por renglón:	26
Cantidad de renglones por hoja:	21
Cantidad de caracteres por hoja:	546

En la figura 5.28 se ilustran las dimensiones del área imprimible.

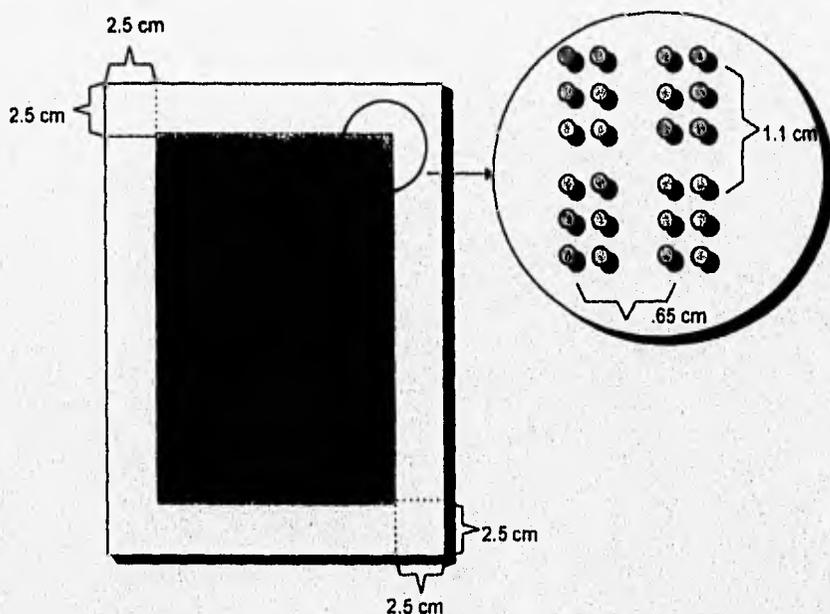


Figura 5.28. Dimensiones del área imprimible.

5. Voltaje.

120 V Δ

6. Características de la fuente de voltaje.

Polarizaciones:	0, 5 y 12 vdc
Consumo de las etapas de potencia:	0.7 Amp
Consumo de etapa electrónica digital:	0.24 Amp
Consumo de solenoide de charola:	0.43 Amp
Consumo de solenoide de de punzón:	0.1 Amp

Sumando los requerimientos de corriente (no se considerarán los requerimientos de solenoide, porque los provee la corriente de línea), da un total de 1.47 Amp, por lo que se requiere una fuente que proporcione 1.5 Amp o más.

CAPITULO VI

CONCLUSIONES

Este último capítulo presenta las conclusiones a las que se han llegado al rediseñar el control de la impresora de código Braille, dando un panorama académico, técnico y personal.

El desarrollo de este trabajo nos dejó enormes satisfacciones tanto académicas como personales, que no son fáciles de obtener.

En cuanto al área académica, nos dimos cuenta de que la ingeniería en computación necesita involucrarse con otras ramas de la ingeniería para que se puedan crear proyectos de mayor impacto social y tecnológico. Y a la vez ayudar a que nuestra formación como ingenieros sea más amplia.

Aplicamos lo aprendido en la escuela como:

- Investigar información específica.
- Utilizar lo aprendido de materias como: Dispositivos Electrónicos, Análisis de Circuitos electrónicos, Electrónica Analógica, Robótica, Ingeniería de Programación, Programación de Sistemas, Diseño Lógico, Diseño de Sistemas Digitales, Programación Estructurada, Memorias y Periféricos, Arquitectura de Computadoras, Recursos y necesidades de México, Calidad y Técnicas de Evaluación Económica.
- Hacer uso de una metodología para el mejor aprovechamiento de los recursos y conocimiento en la solución de problemas.
- La Facultad de Ingeniería no solo nos proporcionó conocimientos sólidos tanto en las áreas de sistemas de programación y sistemas electrónicos digitales, sino nos aportó una formación que nos permite enfrentar problemas con el carácter necesario para resolverlos de la mejor manera.

- Por otra parte, nos da gusto compartir nuestro conocimiento y experiencias en la dirección de gente para ayudar a la formación de estudiantes en el desarrollo de proyectos del Centro de Diseño y Manufactura.

Este proyecto además de permitirnos pertenecer a una organización como el Centro de Diseño y Manufactura, nos dió la oportunidad de participar en el concurso "Expo-Inventiva" a nivel nacional y gracias a esta experiencia observamos con gran satisfacción el liderazgo que representa la Facultad de Ingeniería de la UNAM a nivel nacional.

Todo este trabajo nos ha dado muchas satisfacciones, las cuales a continuación mencionamos:

- Una de las más importantes es saber que las personas invidentes tendrán la posibilidad de acercarse a la información con el desarrollo de un producto que nos hizo sentir útiles.
- Tuvimos la oportunidad de conocer personas invidentes y encargados de Centros de rehabilitación, que nos transmitieron su actitud de esfuerzo y perseverancia ante la vida, es sorprendente la habilidad que han desarrollado para leer a través del tacto.
- Nunca dejamos de sentir el respaldo del Centro de Diseño y Manufactura, así como de compañeros de otras áreas y del mismo Gobierno, con concursos que motivan la creatividad y difunden el conocimiento en la juventud.

- Son incomparables los beneficios que se obtienen al trabajar en proyectos como éste, se aprende a trabajar con personas de especialidades distintas a la propia, se forma parte de un equipo multidisciplinario de investigación y se está capacitado para lograr adelantos tecnológicos aprovechando los conocimientos existentes.

En la Facultad de Ingeniería se nos enseñó a que no existe una solución única para un problema y además, siempre queda la posibilidad de realizar mejoras a una solución elegida. Deseamos que exista gente interesada en continuar con este proyecto y para ella, incluimos las siguientes sugerencias:

- Cambiar el objetivo del software de control, haciendo que éste envíe los datos hacia la impresora ya traducidos a código Braille.
- También es posible, que con algunas modificaciones al software de control y a la forma de la contramatriz del sistema de impresión, se logren imprimir archivos gráficos.
- Aún se puede reducir el tamaño de la EPROM de acuerdo con el programa existente.

Como integrantes del equipo de desarrollo, nos tomamos la libertad de hacer algunas sugerencias para mejorar el funcionamiento del sistema mecánico:

- Cambiar el sistema de transmisión de esfuerzo por chicotes, a otro que implique menos pérdidas de esfuerzo y desajustes.
- Se puede aumentar la velocidad de impresión, al construir una barra guía para la cabeza de impresión y un arreglo de engranes, que reduzca la cantidad de pasos de motor, para el avance de la cabeza.

- Se puede optimizar la capacidad de potencia de los motores y cambiarlos por otros de menor requerimiento de potencia.

BIBLIOGRAFÍA

Ronald J. Tocci, *Sistemas Digitales, Principios y aplicaciones*, 1987, edit. Prentice Hall.

Duglas V. Hall, *Microprocessors and Interfacing Programing and Hardware*, 1986, Edit. McGraw Hill.

8 bit Embedded Controllers, 1990, Ed. Intel Corp.

Robert Boylestad, Louis Nashelsky, *Electrónica teoría de circuitos*, 1989, Edit. Prentice Hall.

Rogert S. Pressman, *Ingeniería de Software, un enfoque práctico*, 1988, Edit. McGraw Hill.

Brian W. Kernighan, Dennis M. Ritchie. *El lenguaje de programación C*, 1991, Edit. Prentice Hall.

Juan José de Ila Barca, Ma. de los Angeles Ortiz, Francisco Rodrigo Dominguez, Carmen Roig, *Código matemático unificado para la lengua castellana*, 1987, Aprobado por la reunión de imprentas Braille.

Manual de usuario de la impresora EPSON FX-850/1050, 1989, De. Epson America, Inc.