



Universidad de Pinar del Río

Facultad de Informática y Telecomunicaciones

Dpto. de Telecomunicaciones y Electrónica

Trabajo De Diploma.

**Título: “Diseño de un PLC con Microcontrolador PIC
16F873.”**

Tesis en opción al título de “Ingeniero en
Electromecánica”

Autores: Luis Felipe Palma Pozo

Stalin Eduardo Sangopanta Ardila

Pinar del Río, 2011



Universidad de Pinar del Río

Facultad de Informática y Telecomunicaciones

Dpto. de Telecomunicaciones y Electrónica

Trabajo De Diploma.

**Título: “Diseño de un PLC con Microcontrolador PIC
16F873.”**

Tesis en opción al título de “Ingeniero en
Electromecánica”

Autores: Luis Felipe Palma Pozo

Stalin E. Sangopanta Ardila

Tutor: Ing. Omar Fuentes Lorenzo

Pinar del Río, 2011

PENSAMIENTO

“En la tierra hace falta personas que trabajen más y critiquen menos, que construyan más y destruyan menos, que prometan menos y resuelvan más, que esperen recibir menos y dar más, que digan mejor ahora que mañana”

Ernesto Che Guevara.

DECLARACION DE AUTORIDAD

Declaramos que somos autores de este Trabajo de Diploma y que autorizamos a la Universidad de Pinar del Río, a hacer uso del mismo, con la finalidad que estime conveniente.

Firma: _____

Luis Felipe Palma Pozo.

felipe@postgrado.upr.edu.cu

Firma: _____

Stalin Eduardo Sangopanta Ardila

sedsar@postgrado.upr.edu.cu

Luis Felipe Palma Pozo y Stalin Eduardo Sangopanta Ardila autorizan la divulgación del presente trabajo de diploma bajo licencia Creative Commons de tipo **Reconocimiento No Comercial Sin Obra Derivada**, se permite su copia y distribución por cualquier medio siempre que mantenga el reconocimiento de sus autores, no haga uso comercial de las obras y no realice ninguna modificación de ellas. La licencia completa puede consultarse en: <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/2.5/ar/legalcode>

Luis Felipe Palma Pozo y Stalin Eduardo Sangopanta Ardila autorizan al Departamento de Telecomunicaciones y Electrónica adscrito a la Universidad de Pinar del Río a distribuir el presente trabajo de diploma en formato digital bajo la licencia Creative Commons descrita anteriormente y a conservarlo por tiempo indefinido, según los requerimientos de la institución, en el repositorio de materiales didácticos disponible en: "[Inserte URL del repositorio]"

Luis Felipe Palma Pozo y Stalin Eduardo Sangopanta Ardila autorizan al Departamento de Telecomunicaciones y Electrónica adscrito a la Universidad de Pinar del Río a distribuir el presente trabajo de diploma en formato digital bajo la licencia Creative Commons descrita anteriormente y a conservarlo por tiempo indefinido, según los requerimientos de la institución, en el repositorio de tesis disponible en: <http://revistas.mes.edu.cu>

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Técnica De Cotopaxi, sus autoridades y personal docente de la Unidad Académica de Ciencias de la Ingeniería Y Aplicadas, por permitirnos ingresar en sus aulas e incidir en nuestra formación personal y profesional.

Al Ing. Omar, Director de Tesis. Con sus vastos conocimientos, orientaciones oportunas y adecuadas, condujo este trabajo de investigación, ofreciéndonos las pautas para su elaboración de manera pedagógica y didáctica.

A mis padres que con todo el esfuerzo y sacrificio me supieron guiar y apoyar por el camino del bien y me aconsejaron de la mejor manera para ser una excelente persona.

A toda mi familia por apoyarme hasta el final de mi culminación de carrera profesional.

A mi hermano Fernando Palma por apoyarme en lo que necesitaba para terminar mi trabajo de Tesis

A todas las personas que estuvieron conmigo hasta el final aconsejándome y dándome valor para la culminación de mi trabajo de Diplomado

A Dios y a la Santísima Virgen de la Caridad por protegerme en todo lugar y en cada momento.

Luis F. Palma

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo de Diploma no hubiese sido posible sin el apoyo, afecto y cariño de muchas personas que de una u otra manera han sido base fundamental en mi vida es por ello que agradezco a:

- Dios todopoderoso que ha bendecido día a día con buena salud y guiado por el camino del bien.
- A toda mi familia en especial a mis padres y mi hermana que siempre están pendientes por mí este donde este y han sido mis guías muy importantes en mi vida.
- A mi tutor Ing. Omar Fuentes Lorenzo por la paciencia, apoyo y conocimiento que me ha brindado.
- A mis amigos que de una u otra manera me han apoyado.
- A la Universidad Técnica de Cotopaxi y a la Universidad Pinar del Río que me dio la oportunidad de participar en este convenio.

Stalin Sangopanta

DEDICATORIA

A mis padres quienes con entero sacrificio y dedicación nos brindaron su apoyo y han contribuido a nuestra formación humana.

Porque solamente su esfuerzo y apoyo, hicieron posible la culminación de nuestra carrera profesional.

A mi Familia que con todo el cariño y amor me dieron las fuerzas para llegar a culminar mi carrera profesional.

Luis F. Palma

DEDICATORIA

Con mucho cariño y respeto este trabajo está dedicado a todas las personas que han contribuido a la realización del mismo y han dado su apoyo para ver hecho mis sueños realidad y en especial a:

- A Dios Todopoderoso que siempre me ha bendecido y me ha dado fuerzas en los momentos más difíciles para seguir adelante.
- A mis padres y mi hermana que siempre me han impulsado su ejemplo de responsabilidad, amor, bondad y enseñarme a luchar que todo es posible.

Stalin Sangopanta

RESUMEN

En la actualidad un Programmable Logic Controller (PLC), es el elemento principal de los Sistemas Automáticos en las Industrias, Empresas y Fábricas que por medio del cual ha sido base fundamental en el desarrollo y avance de la producción, brindando las mayores ventajas con las mejores remuneraciones.

Debido a esto y a la falta de empresas ecuatorianas fabricantes de autómatas, nace la idea de diseñar un PLC con un microcontrolador PIC 16F873 que cumpla las funciones básicas y necesarias, complementando el bajo costo con excelentes ventajas técnicas.

Por lo tanto, este trabajo presenta el diseño de un autómata basado en el PIC 16F873 como elemento principal y utilizando los programas de simulación Proteus 7.7 en el cual se realizaron los circuitos de cada módulo del PLC.

Los cuales son:

- Un módulo de 8 entradas digitales.
- Un módulo de 8 salidas digitales.
- Un módulo de 8 entradas analógicas (0 – 5V y 0 – 10V).
- Un módulo de 8 salidas analógicas (0 – 5V y 0 – 10V).
- Un transmisor de 4 a 20mA con un rango de entrada de 0 a 5V.
- Un receptor de 4 a 20mA con un rango de salida de 0 a 5V.
- Un puerto serie RS-232.
- Un puerto serie RS-485.

PALABRAS CLAVES:

Microcontrolador, PLC, PIC.

SUMMARY

Currently, a Programmable Logic Controller (PLC), is the main element of automatic systems in industries, companies and factories through the base which has been instrumental in the development and progress of production, providing the greatest benefits to better pay.

Because of this and the lack of Ecuadorian companies manufacturers of robots, the idea to design a PLC with a PIC 16F873 microcontroller that meets basic and necessary functions, complementing the low cost with excellent technical advantages. Therefore, this paper presents the design of a controller based on PIC 16F873 as its parent and simulation programs using Proteus 7.7 in which the circuits were made of each module of PLC In addition, different types of modules designed as One module with 8 digital inputs.

These are:

One module with 8 digital inputs.

One module with 8 digital outputs.

One module with 8 analog inputs (0 - 5V and 0 - 10V).

One module with 8 analog outputs (0 - 5V and 0 - 10V).

A transmitter 4 to 20mA with an input range of 0 to 5V.

A receiver with a 4 to 20mA output range of 0 to 5V.

An RS-232 serial port.

An RS-485 serial port.

KEY WORDS:

Microcontroller, PLC, PIC.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1. ANTECEDENTES Y ESTADO ACTUAL DE LA TEMÁTICA	5
1.1 La Automatización	5
1.1.1 Parte Operativa	5
1.1.2 Parte de Mando	6
1.2 Objetivos de la automatización	6
1.3 Comienzos de la automatización.....	6
1.4 La Automatización Industrial	8
1.5 El PLC	9
1.5.1 Descripción y Funcionamiento de un PLC.....	9
1.5.2 Campos de aplicación de un PLC	11
1.5.3 Ventajas e inconvenientes del PLC.....	13
1.5.4 Funciones básicas de un PLC.....	14
1.6 Características de las CPUs de PLCs de diferentes Empresas Automatas	15
1.6.1 Siemens.....	16
1.6.2 Omron.....	17
1.6.3 Delta.....	18
1.7 El microcontrolador	19
1.7.1 Diferencia entre un microcontrolador y un microprocesador	20
1.7.2 Arquitectura interna de un microcontrolador	20
1.7.3 Procesador	20
1.7.4 Memoria de programa	21
1.7.5 Memoria de datos	22
1.7.6 Líneas de E/S	22

1.7.7 PICs más comúnmente usados.....	23
1.7.8 Características de los PICs 16F873 Y 16F84.....	24
CAPITULO 2. CIRCUITOS REALIZADOS PARA EL FUNCIONAMIENTO DEL PLC.	26
2.1 Microcontrolador con circuito decodificador de direcciones.....	27
2.1.1 Deducción del Circuito.....	27
2.2 Circuito del módulo de entradas digitales.....	28
2.2.1Deducción del Circuito.....	29
2.3 Circuito del módulo de salidas digitales	30
2.3.1 Deducción del Circuito.....	30
2.4 Circuito del módulo de entradas analógicas.....	31
2.4.1 Deducción del Circuito.....	31
2.5 Circuito del módulo de salidas analógicas.....	33
2.5.1 Deducción del Circuito.....	33
2.6 Cálculos para obtener el transmisor de 4 a 20mA con un rango de entrada de 0 a 5V	34
2.7 Cálculos para obtener el receptor de 4 a 20mA con un rango de salida de 0 a 5V	37
2.8 Circuito del puerto serie RS232.....	39
2.8.1 Deducción del circuito	39
2.9 Circuito del puerto serie RS485.....	40
2.10.1 Deducción del circuito	40
Cápítulo 3. TABLA DE VALORES DE LOS COMPONENTES UTILIZADOS EN EL DISEÑO DEL PLC.	42
CONCLUSIONES	44
RECOMENDACIONES	45

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....46

BIBLIOGRAFÍA47

INTRODUCCIÓN

El término PLC proviene de las siglas en inglés Programmable Logic Controller, que traducido al español se entiende como "Controlador Lógico Programable". Se trata de un equipo electrónico, que, tal como su mismo nombre lo indica, se ha diseñado para programar y controlar procesos secuenciales en tiempo real. Por lo general, es posible encontrar este tipo de equipos en ambientes industriales.

Para que un PLC logre cumplir con su función de controlar, es necesario programarlo con cierta información acerca de los procesos que se quiere secuenciar. Esta información es recibida por captadores, que gracias al programa lógico interno, logran implementarla a través de los accionadores de la instalación.

Los primeros PLCs se usaron solamente como reemplazo de relevadores, es decir, su capacidad se reducía exclusivamente al control On -Off (de dos posiciones) en maquinas y procesos industriales. De hecho todavía se siguen usando en muchos casos como tales. La gran diferencia con los controles por relevador fue su facilidad de instalación, ocupan menor espacio, costo reducido, y proporcionan auto diagnósticos sencillos.

En la década de los 70s con el avance de la electrónica, la tecnología de los microprocesadores agregó facilidad e inteligencia adicional a los PLCs generando un gran avance y permitiendo un notorio incremento en la capacidad de interface de tal manera que se fue poco a poco mejorando la idea inicial de los PLCs convirtiéndose en lo que ahora son, Sistemas Electrónicos Versátiles y Flexibles.

EL PLC es un aparato electrónico operado digitalmente que usa una memoria programable para el almacenamiento interno de instrucciones las cuales implementan funciones específicas tales como lógicas, secuenciales, temporización, conteo y aritméticas, para controlar a través de módulos de entrada /salida digitales y analógicas, varios tipos de maquinas o procesos. Una computadora digital que es usada para ejecutar las funciones de un controlador lógico programable, se puede considerar bajo este rubro. Se excluyen los controles secuenciales mecánicos. De

una manera general podemos definir al controlador lógico programable a toda máquina electrónica, diseñada para controlar en tiempo real y en medio industrial procesos secuenciales de control. Su programación y manejo puede ser realizado por personal con conocimientos electrónicos sin previos conocimientos sobre informática.

En este proyecto se propone el diseño de un Controlador Lógico Programable que cumpla las funciones básicas-necesarias y esté constituido con elementos de características importantes para que brinden mayores ventajas.

Se propone utilizar un microcontrolador PIC, específicamente un 16F873, como elemento central (CPU) del Controlador Lógico Programable. Este dispositivo incluirá las descripciones de las funciones principales del sistema.

En el Ecuador existe una gran variedad de sectores dedicados a la fabricación de diferentes tipos de productos como por ejemplo: en el sector agrícola, maderero, ensamblaje de autos, confección de ropa, de calzado, en fin a muchas actividades más.

Es por eso que en cada una de estas industrias hay mucho la Automatización y la aplicación de PLCs, para su mejor rendimiento y tener mejor calidad en sus productos realizado, se puede decir que los PLCs más utilizados de la marca Siemens son el S7- 200, el S7-300, y el actual es el S7-400.

Teniendo en cuenta esto fue de mucho interés el crear un PLCs con las características básicas para la aplicación en una pequeña industria satisfaciendo las necesidades del cliente. En el Ecuador no existe empresa alguna que se dedique a la manufacturación de PLCs, pero si existen proveedores que los comercializan como: Casa de elementos electrónicos y Sitios de Internet de Venta Libre.

Asumiendo como problemática la necesidad de desarrollar un prototipo de fabricación nacional que se adapte más a las condiciones de Ecuador, es por eso que nos planteamos como objetivo general del trabajo el diseño de un PLC con

microcontrolador PIC y una serie de módulos de E/S. Teniendo como objeto de estudio los PLC, microcontroladores PIC e interfaces.

Los Objetivos específicos a cumplir serian los siguientes:

- Estudiar detalladamente información referente a varios tipos de PLC existentes en el mercado.
- Investigar acerca de los microcontroladores de la familia de microchip.
- Estudiar los datasheet de todos los elementos a utilizar en el proyecto.
- Diseñar en el programa Proteus los circuitos necesarios para la realización del proyecto.

Por lo tanto el desarrollo de esta investigación parte de la hipótesis de que una vez diseñado el Controlador Lógico Programable, se podrá proceder a su implementación y por lo tanto al empleo del mismo.

La herramienta de simulación empleada fue el programa Proteus 7.7. Los métodos teóricos análisis, modelación, hipotético deductivo y abstracción facilitaron la interpretación conceptual de los datos recolectados. Por otro lado la computación y las técnicas de acceso a la información permitieron conocer el estado del arte del tema y la revisión bibliográfica correspondiente.

Como fuente de información se tomaron textos y artículos extranjeros sobre el análisis de PLC de diferentes Empresas Automatas, así como manuales de Sistemas Automáticos.

La tesis está estructurada en Introducción y tres capítulos.

Como primer capítulo está todo acerca de lo que son los Antecedentes y estado actual de la temática como la automatización en la industria, tablas con características técnicas de las CPUs de diferentes familias autómatas de PLCs con sus respectivos campos de aplicación y tablas con las características internas de los microcontroladores.

En el segundo capítulo se encuentran diseños de circuitos de los módulos de entradas y salidas analógicas, entradas y salidas digitales, transmisor y receptor de 4-20mA con entradas y salidas de 0-5V respectivamente, especificando cada uno de sus elementos que los constituye con su deducción de cada circuito para el funcionamiento del PLC.

Y por último el tercer capítulo está constituido por los costos de los elementos que serán utilizados en el diseño del PLC en comparación de un autómata de empresas extranjeras.

CAPÍTULO 1. ANTECEDENTES Y ESTADO ACTUAL DE LA TEMÁTICA

1.1 La Automatización

El término automatización se refiere a una amplia variedad de sistemas y procesos que operan con mínima o sin intervención del ser humano y proviene del griego antiguo auto que significa guiado por uno mismo.[1]

Las primeras máquinas simples sustituían una forma de esfuerzo en otra forma que fueran manejadas por el ser humano, tal como levantar un peso pesado con sistema de poleas o con una palanca. Posteriormente las máquinas fueron capaces de sustituir formas naturales de energía, tales como el viento, mareas, o un flujo de agua por energía humana.

En comunicaciones y aviación dispositivos como los equipos automáticos de conmutación telefónica, los pilotos automáticos y los sistemas automatizados de guía y control se utilizan para efectuar diversas tareas con más rapidez o mejor de lo que podría hacerlo un ser humano en el mismo tiempo.

La automatización como una disciplina de la ingeniería es más amplia que un mero sistema de control, abarca la instrumentación industrial, que incluye los sensores y transmisores de campo, los sistemas de control y supervisión, los sistemas de transmisión y recolección de datos y las aplicaciones de software en tiempo real para supervisar y controlar las operaciones de plantas o procesos industriales.

Un sistema automatizado consta de dos partes principales:

- Parte Operativa
- Parte de Mando

1.1.1 Parte Operativa

Es la parte que actúa directamente sobre la máquina. Son los elementos que hacen que este se mueva y realice la operación deseada. Los elementos que forman la

parte operativa son los accionadores de las máquinas como motores, cilindros, compresores y los captadores como fotodiodos, finales de carrera.

1.1.2 Parte de Mando

Suele ser un autómata programable (tecnología programada), aunque hasta hace bien poco se utilizaban relés electromagnéticos, tarjetas electrónicas o módulos lógicos neumáticos (tecnología cableada). En un sistema de fabricación automatizado el autómata programable está en el centro del sistema. Este debe ser capaz de comunicarse con todos los constituyentes de sistema automatizado.

1.2 Objetivos de la automatización

Entre los diferentes objetivos que puede tener la automatización encontramos las siguientes: [2]

- Mejorar la productividad de la empresa, reduciendo los costes de la producción y mejorando la calidad de la misma.
- Mejorar las condiciones de trabajo del personal, suprimiendo los trabajos peligrosos e incrementando la seguridad.
- Realizar las operaciones imposibles de controlar intelectual o manualmente.
- Mejorar la disponibilidad de los productos, pudiendo proveer las cantidades necesarias en el momento preciso.
- Simplificar el mantenimiento de forma que el operario no requiera grandes conocimientos para la manipulación del proceso productivo.
- Integrar la gestión y producción.

1.3 Comienzos de la automatización

La fabricación automatizada surgió de la íntima relación entre fuerzas económicas e innovaciones técnicas como la división del trabajo, la transferencia de energía y la mecanización de las fábricas, y el desarrollo de las máquinas de transferencia y sistemas de realimentación, como se explica a continuación.

La división del trabajo (esto es, la reducción de un proceso de fabricación o de prestación de servicios a sus fases independientes más pequeñas) se desarrolló en la segunda mitad del siglo XVIII, y fue analizada por primera vez por el economista británico Adam Smith en su libro Investigación sobre la naturaleza y causas de la riqueza de las naciones (1776). En la fabricación, la división del trabajo permitió incrementar la producción y reducir el nivel de especialización de los obreros.

La mecanización fue la siguiente etapa necesaria para la evolución hacia la automatización. La simplificación del trabajo permitida por la división del trabajo también posibilitó el diseño y construcción de máquinas que reproducían los movimientos del trabajador. A medida que evolucionó la tecnología de transferencia de energía, estas máquinas especializadas se motorizaron, aumentando así su eficacia productiva. El desarrollo de la tecnología energética también dio lugar al surgimiento del sistema fabril de producción, ya que todos los trabajadores y máquinas debían estar situados junto a la fuente de energía.

La máquina de transferencia es un dispositivo utilizado para mover la pieza que se está trabajando desde una máquina herramienta especializada hasta otra, colocándola de forma adecuada para la siguiente operación de maquinado. Los robots industriales, diseñados en un principio para realizar tareas sencillas en entornos peligrosos para los trabajadores, son hoy extremadamente hábiles y se utilizan para trasladar, manipular y situar piezas ligeras y pesadas, realizando así todas las funciones de una máquina de transferencia. En realidad, se trata de varias máquinas separadas que están integradas en lo que a simple vista podría considerarse una sola.

En la década de 1920 la industria del automóvil cambió estos conceptos en un sistema de producción integrado. El objetivo de este sistema de línea de montaje era abaratar los precios. A pesar de los avances más recientes, éste es el sistema de producción con el que la mayoría de la gente asocia el término automatización.

1.4 La Automatización Industrial

Muchas industrias están muy automatizadas, o bien utilizan tecnología de automatización en alguna etapa de sus actividades. En las comunicaciones, y sobre todo en el sector telefónico, la marcación, la transmisión y la facturación se realizan automáticamente.

La parte más visible de la automatización actual puede ser la robótica industrial. Algunas ventajas son repetitividad, control de calidad más estrecho, mayor eficiencia, integración con sistemas empresariales, incremento de productividad y reducción de trabajo. Algunas desventajas son requerimientos de un gran capital, decremento severo en la flexibilidad, y un incremento en la dependencia del mantenimiento y reparación.

Existen muchos trabajos donde no existe riesgo inmediato de la automatización. Ningún dispositivo ha sido inventado que pueda competir contra el ojo humano para la precisión y certeza en muchas tareas; tampoco el oído humano. El más inútil de los seres humanos puede identificar y distinguir mayor cantidad de esencias que cualquier dispositivo automático. Las habilidades para el patrón de reconocimiento humano, reconocimiento de lenguaje y producción de lenguaje se encuentran más allá de cualquier expectativa de los ingenieros de automatización.

Computadoras especializadas, son utilizadas para leer entradas de campo a través de sensores y en base a su programa, generar salidas hacia el campo a través de actuadores. Esto conduce para controlar acciones precisas que permitan un control estrecho de cualquier proceso industrial. (Se temía que estos dispositivos fueran vulnerables al error del año 2000, con consecuencias catastróficas, ya que son tan comunes dentro del mundo de la industria).

Existen dos tipos distintos: DCS o Sistema de Control Distribuido, y PLC o Controlador Lógico Programable. El primero era antiguamente orientado a procesos de tipo análogos, mientras que el segundo se utilizaba en procesos de tipo discreto

(ceros y unos). Actualmente ambos equipos se parecen cada vez más, y cualquiera de los dos puede ser utilizado en todo tipo de procesos.

Otra forma de automatización que involucra computadoras es la prueba de automatización, donde las computadoras controlan un equipo de prueba automático que es programado para simular seres humanos que prueban manualmente una aplicación. Esto es acompañado por lo general de herramientas automáticas para generar instrucciones especiales (escritas como programas de computadora) que direccionan al equipo automático en prueba en la dirección exacta para terminar las pruebas.

1.5 El PLC

1.5.1 Descripción y Funcionamiento de un PLC

Los Controladores Lógicos Programables, (PLCs, Programmable Logic Controller), nacieron esencialmente como tales, a finales de la década de los 60s y principios de los 70s. Las industrias que propiciaron este desarrollo fueron las automotrices. Ellas usaban sistemas industriales basadas en relevadores, en sus sistemas de manufactura. Buscando reducir los costos de los sistemas de control por relevadores, la General Motor preparo en 1968 ciertas especificaciones detallando un "Controlador Lógico Programable", Estas especificaciones definían un sistema de control por relevadores que podían ser asociado no solamente a la industria automotriz, si no prácticamente a cualquier industria de manufactura.

Estas especificaciones interesaron a ciertas compañías tales como GE-Fanuc, Reliance Electric, MODICON, Digital Equipment Co, De tal forma que el resultado de su trabajo se convirtió en lo que hoy se conoce como Controlador Lógico Programable. Los PLCs sustituyeron a los sistemas de control basados en relevadores, que se hacían más complejos y esto arrojaba ciertas dificultades en cuanto a la instalación de los mismos, los altos costos de los equipos. Los altos costos de operación y mantenimiento y la poca Flexibilidad y confiabilidad de los equipos.

En su creación, los requerimientos sobre los cuales se han desarrollado los PLC s, los enumeró la General Motors de la manera siguiente:[3]

1. El dispositivo de control deberá ser fácil y rápidamente programable por el usuario con un mínimo de interrupción.
2. Todos los componentes del sistema deben ser capaces de operar en plantas industriales sin un especial equipo de soporte, de hardware o de ambiente.
3. El sistema debe ser de fácil mantenimiento y reparación. Deberá diseñarse con indicadores de status y modularidad para facilitar las reparaciones y la búsqueda de errores.
4. El sistema deberá ocupar menor espacio que los sistemas de relevador y deberá consumir menor potencia que los sistemas de control por relevadores.
5. El PLC deberá ser capaz de comunicarse con un sistemas central de datos para propósitos de monitoreo.
6. Deberá ser capaz de trabajar con 120 volts de corriente alterna y con elementos estándar de control, con interruptores de presión interruptores de límite, etc.
7. Las señales de salida deberán ser capaces de manejar arranques de motores y válvulas solenoides que operan a 120 volts de C.A.
8. Deberá ser expandible desde su mínima configuración hasta su máxima, con una mínima de alteración y de tiempo perdido.
9. Deberá ser competitivo en costo de venta e instalación, respecto de los sistemas en base a relevadores.
10. La estructura de memoria empleada deberá ser expandible a un mínimo de 4000 palabras o elementos de memoria.

Los PLC actuales no solamente cumplen estos requisitos si no que lo superan. Pueden ser comparados con una computadora de propósito específico que proporciona una alternativa más flexible y funcional para los sistemas de control industriales.

Debido a la gran aceptación que ha tenido el PLC, se ha dado una definición formal por la NEMA (Nacional Electrical Manufacturers Association), descrita como sigue:[4]

También se le puede definir como una "caja negra" en la que existen unas terminales de entrada a los que se conectarán pulsadores, finales de carrera, foto celdas, detectores, etc. unos terminales de salida a los que se le conectaran bobinas de contactores, electro válvulas, lámparas. De tal forma que la actuación de estos últimos están en función de las señales de entrada que estén activadas en cada momento, según el programa almacenado.

Los elementos auxiliares, relés de encallamiento, temporizadores, contadores, son internos. La tarea del usuario se reduce a realizar el programa que no es más que la relación entre las señales de entrada que se tienen cumplir para activar cada salida.

1.5.2 Campos de aplicación de un PLC

El PLC por sus especiales características de diseño tiene un campo de aplicación muy extenso. La constante evolución del hardware y software amplía constantemente este campo para poder satisfacer las necesidades que se detectan en el espectro de sus posibilidades reales.

Su utilización se da fundamentalmente en aquellas instalaciones en donde es necesario un proceso de maniobra, control, señalización, etc. por tanto, su aplicación abarca desde procesos de fabricación industriales de cualquier tipo a transformaciones industriales, control de instalaciones, etc.

Sus reducidas dimensiones (Figura 1), la extremada facilidad de su montaje, la posibilidad de almacenar los programas para su posterior y rápida utilización, la

modificación o alteración de los mismos, etc., hace que su eficacia se aprecie fundamentalmente en procesos en que se producen necesidades tales como:

- Espacio reducido.
- Procesos de producción periódicamente cambiantes.
- Procesos secuenciales.
- Maquinaria de procesos variables.
- Instalaciones de procesos complejos y amplios.
- Chequeo de programación centralizada de las partes del proceso.



Figura 1. PLC Omron

Entre los ejemplos de aplicaciones generales tenemos:

- Maniobra de máquinas
- Maquinaria industrial de plástico
- Máquinas transfer
- Maquinaria de embalajes
- Maniobra de instalaciones:
Instalación de aire acondicionado, calefacción...
Instalaciones de seguridad
- Señalización y control:
Chequeo de programas
Señalización del estado de procesos

1.5.3 Ventajas e inconvenientes del PLC

No todos los autómatas ofrecen las mismas ventajas sobre la lógica cableada, ello es debido, principalmente, a la variedad de modelos existentes en el mercado y las innovaciones técnicas que surgen constantemente. Tales consideraciones nos obligan e referirnos a las ventajas que proporciona un autómata de gama media.

Ventajas:

- Menor tiempo empleado en la elaboración de proyectos debido a que:
 - Ø No es necesario dibujar el esquema de contactos.
 - Ø No es necesario simplificar las ecuaciones lógicas, ya que, por lo general la capacidad de almacenamiento del módulo de memoria es lo suficientemente grande.
- La lista de materiales queda sensiblemente reducida, y al elaborar el presupuesto correspondiente eliminaremos parte del problema que supone el contar con diferentes proveedores, distintos plazos de entrega.
- Posibilidad de introducir modificaciones sin cambiar el cableado ni añadir aparatos.
- Mínimo espacio de ocupación.
- Menor coste de mano de obra de la instalación.
- Economía de mantenimiento. Además de aumentar la fiabilidad del sistema, al eliminar contactos móviles, los mismos autómatas pueden indicar y detectar averías.
- Posibilidad de gobernar varias máquinas con un mismo autómata.
- Menor tiempo para la puesta en funcionamiento del proceso al quedar reducido el tiempo cableado.
- Si por alguna razón la máquina queda fuera de servicio, el autómata sigue siendo útil para otra máquina o sistema de producción.

Inconvenientes:

- Como inconvenientes podríamos hablar, en primer lugar, de que hace falta un programador, lo que obliga a adiestrar a uno de los técnicos en tal sentido, pero hoy en día ese inconveniente está solucionado porque las universidades ya se encargan de dicho adiestramiento.
- El coste inicial también puede ser un inconveniente.

1.5.4 Funciones básicas de un PLC

- Detección:
Lectura de la señal de los captadores distribuidos por el sistema de fabricación.
- Mando:
Elaborar y enviar las acciones al sistema mediante los accionadores y preaccionadores.
- Dialogo hombre maquina:
Mantener un diálogo con los operarios de producción, obedeciendo sus consignas e informando del estado del proceso.
- Programación:
Para introducir, elaborar y cambiar el programa de aplicación del autómeta. El dialogo de programación debe permitir modificar el programa incluso con el autómeta controlando la maquina.
Nuevas Funciones:
- Redes de comunicación:
Permiten establecer comunicación con otras partes de control. Las redes industriales permiten la comunicación y el intercambio de datos entre autómetas a tiempo real. En unos cuantos milisegundos pueden enviarse telegramas e intercambiar tablas de memoria compartida.
- Sistemas de supervisión:
También los autómetas permiten comunicarse con ordenadores provistos de programas de supervisión industrial. Esta comunicación se realiza por una red industrial o por medio de una simple conexión por el puerto serie del ordenador.

- Control de procesos continuos:
Además de dedicarse al control de sistemas de eventos discretos los autómatas llevan incorporadas funciones que permiten el control de procesos continuos. Disponen de módulos de entrada y salida analógicas y la posibilidad de ejecutar reguladores PID que están programados en el autómata.
- Entradas- Salidas distribuidas:
Los módulos de entrada salida no tienen porqué estar en el armario del autómata. Pueden estar distribuidos por la instalación, se comunican con la unidad central del autómata mediante un cable de red.
- Buses de campo:
Mediante un solo cable de comunicación se pueden conectar al bus captadores y accionadores, reemplazando al cableado tradicional. El autómata consulta cíclicamente el estado de los captadores y actualiza el estado de los accionadores.

1.6 Características de las CPUs de PLCs de diferentes Empresas Autómatas

Para el diseño de nuestro autómata se tomo como referencia las principales características de otros fabricantes en su gama media.

1.6.1 Siemens

Características de las CPUs de la Familia				
CARACTERISTICAS	CPU 221	CPU 222	CPU 224	CPU 226
E/S integradas	6DI/4DO	8DI/6DO	14DI/10DO	24DI/16DO
Max. N° E/S mediante Ems		32/32	80/64	104/104
Max. N° de canales	10	78	168	248
Canales Analógic (E/S/Canales)		8/4/10	28/14/35	28/14/35
Memoria de programas/datos	4KB/2KB	4KB/2KB	8KB/5KB	8KB/5KB
Tiempo de ejecución/instruc.	0,37 μ s	0,37 μ s	0,37 μ s	0,37 μ s
Marcas/Contad./Temporiz.	256/256/256	256/256/256	256/256/256	256/256/256
Contadores rápidos	4x30 kHz	4x30 kHz	6x30 kHz	6x30 kHz
Reloj en tiempo real	Opcional	Opcional		
Salidas de impulsos	2x20 kHz	2x20 kHz	2x20 kHz	2x20 kHz
Puertos de comunicaciones	1xRS 485	1xRS 485	1xRS 485	2xRS 485
Potenciómetros Analógicos	1	1	2	2

Tabla 1. Cuadro de características de autómata Siemens.[5]

1.6.2 Omron

Características de las CPUs de la Familia				
CARACTERISTICAS	CPM2C-10_	CPM2C-S1_	CPM2C-20_	CPM2C-32_
E/S integradas	6DI/4DO	6DI/4DO	12DI/8DO	16DI/16DO
Max. N° E/S mediante Ems	86/84	54/52	92/88	96/96
Max. N° de canales				
Canales Analógic. (E/S/Canales)				
Memoria de programas/datos	4KB/2KB	4KB/2KB	4KB/2KB	4KB/2KB
Tiempo de ejecución/instruc.	0,64 µs	0,64 µs	0,64 µs	0,64 µs
Marcas/Contad./Temporiz.				
Contadores rápidos	1x20 kHz	1x20 kHz	1x20 kHz	1x20 kHz
Reloj en tiempo real				
Salidas de impulsos	2x10 kHz	2x10 kHz	2x10 kHz	2x10 kHz
Puertos de comunicaciones	1xRS 232C	1xRS 232C	1xRS 232C	1xRS 232C
Potenciómetros Analógicos	1	1	1	1

Tabla 2. Cuadro de características de autómata Omron.[6]

1.6.3 Delta

Características de las CPUs de la Familia				
CARACTERISTICAS	DVP-SS	DVP-SA	DVP-SX	DVP-SV
E/S integradas	8DI/6DO	8DI/4DO	4DI/2DO, 2DI/2DO.	16DI/12DO
Max. N° E/S mediante Ems	238	236	230	512
Max. N° de canales				
Canales Analógic.(E/S/Canales)				
Memoria de programas/datos	4KSteps/-	8K Steps/-	8K Steps/ 5000 words	16K Steps/ 10000 words
Tiempo de ejecución/instruc.				
Marcas/Contad./Temporiz.				
Contadores rápidos	4 contadores de alta velocidad	4 contadores de alta velocidad	4 contadores de alta velocidad	4 contadores de alta velocidad.
Reloj en tiempo real	No incluye		No incluye	
Salidas de impulsos	Soporta 2 puntos(Y0,Y1) con 10kHz	Soporta 2 puntos con 50kHz(Y0) y 10kHz(Y1).	Soporta 2 puntos con 50kHz(Y0) y 10kHz(Y1).	Soporta 2 grupos A(Y0,Y1) y B(Y2,Y3) con 200kHz, y otros 2 puntos (Y4, Y6) con 200kHz.

Puertos de comunicaciones	1xRS-232, 1xRS-485.	1xRS-232, 1xRS-485.	1xRS-232, 1xRS-485.	1xRS-232, 1xRS-485.
Potenciómetros Analógicos				

Tabla 3. Cuadro de características de autómata Delta.[7]

1.7 El microcontrolador

En realidad, el nombre completo es PIC micro, aunque generalmente se utiliza como Peripheral Interface Controller (controlador de interfaz periférico).

En 1980 aproximadamente, los fabricantes de circuitos integrados iniciaron la difusión de un nuevo circuito para control, medición e instrumentación al que llamaron microcomputador en un solo chip o de manera más exacta microcontrolador.

Un microcontrolador es un circuito integrado que contiene toda la estructura (arquitectura) de un microcomputador, o sea CPU (Central Program Unit, Unidad Central de Programación), RAM (Random Access Memory, Memoria de Acceso Aleatorio), ROM (Read Only Memory, Memoria de Solo Lectura) y circuitos de entrada y salida. Los resultados de tipo práctico, que pueden lograrse a partir de estos elementos, son sorprendentes.

Algunos microcontroladores más especializados poseen además convertidores análogos digitales, temporizadores, contadores y un sistema para permitir la comunicación en serie y en paralelo.

Se pueden crear muchas aplicaciones con los microcontroladores. Estas aplicaciones de los microcontroladores son ilimitadas (el límite es la imaginación) entre ellas podemos mencionar: sistemas de alarmas, juego de luces, paneles publicitarios. Controles automáticos para la Industria en general, control de motores DC/AC y motores de paso a paso, control de máquinas, control de temperatura, control de tiempo, adquisición de datos mediante sensores, etc.

1.7.1 Diferencia entre un microcontrolador y un microprocesador

Es muy habitual confundir los términos de microcontrolador y microprocesador, cayendo así en un error de cierta magnitud. Un microcontrolador es, como ya se ha comentado previamente, un sistema completo, con unas prestaciones limitadas que no pueden modificarse y que puede llevar a cabo las tareas para las que ha sido programado de forma autónoma. Un microprocesador, en cambio, es simplemente un componente que conforma el microcontrolador, que lleva a cabo ciertas tareas que analizaremos más adelante y que, en conjunto con otros componentes, forman un microcontrolador.

Debe quedar clara por tanto la diferencia entre microcontrolador y microprocesador: a modo de resumen, el primero es un sistema autónomo e independiente, mientras que el segundo es una parte, cabe decir que esencial, que forma parte de un sistema mayor.

1.7.2 Arquitectura interna de un microcontrolador

Como ya hemos visto, un microcontrolador es un dispositivo complejo, formado por otros más sencillos. A continuación se analizan los más importantes.

1.7.3 Procesador

Es la parte encargada del procesamiento de las instrucciones. Debido a la necesidad de conseguir elevados rendimientos en este proceso, se ha desembocado en el empleo generalizado de procesadores de arquitectura Harvard frente a los tradicionales que seguían la arquitectura de von Neumann.

Esta última se caracterizaba porque la CPU se conectaba con una memoria única, donde coexistían datos e instrucciones, a través de un sistema de buses.

En la arquitectura Harvard son independientes la memoria de instrucciones y la memoria de datos y cada una dispone de su propio sistema de buses para el acceso. Esta dualidad, además de propiciar el paralelismo, permite la

adecuación del tamaño de las palabras y los buses a los requerimientos específicos de las instrucciones y de los datos.

El procesador de los modernos microcontroladores responde a la arquitectura RISC (Computadores de Juego de Instrucciones Reducido), que se identifica por poseer un repertorio de instrucciones máquina pequeño y simple, de forma que la mayor parte de las instrucciones se ejecutan en un ciclo de instrucción. Otra aportación frecuente que aumenta el rendimiento del computador es el fomento del paralelismo implícito, que consiste en la segmentación del procesador (pipe-line), descomponiéndolo en etapas para poder procesar una instrucción diferente en cada una de ellas y trabajar con varias a la vez.

1.7.4 Memoria de programa

El microcontrolador está diseñado para que en su memoria de programa se almacenen todas las instrucciones del programa de control. Como éste siempre es el mismo, debe estar grabado de forma permanente.

Existen algunos tipos de memoria adecuados para soportar estas funciones, de las cuales se citan las siguientes:[8]

- ROM con máscara: se graba mediante el uso de máscaras. Sólo es recomendable para series muy grandes debido a su elevado coste.
- EPROM: se graba eléctricamente con un programador controlador por un PC. Disponen de una ventana en la parte superior para someterla a luz ultravioleta, lo que permite su borrado. Puede usarse en fase de diseño, aunque su coste unitario es elevado.
- EEPROM: también se graba eléctricamente, pero su borrado es mucho más sencillo, ya que también es eléctrico. No se pueden conseguir grandes capacidades y su tiempo de escritura y su consumo es elevado.

- FLASH: se trata de una memoria no volátil, de bajo consumo, que se puede escribir y borrar en circuito al igual que las EEPROM (Electrically Erasable Programmable Read Only Memory, Memoria de Solo Lectura Programable Eléctricamente Borrable), pero que suelen disponer de mayor capacidad que estas últimas. Son recomendables aplicaciones en las que es necesario modificar el programa a lo largo de la vida del producto. Por sus mejores prestaciones, está sustituyendo a la memoria EEPROM para contener instrucciones. De esta forma Microchip comercializa dos micro controladores prácticamente iguales que sólo se diferencian en que la memoria de programa de uno de ellos es tipo EEPROM y la del otro tipo Flash. Por ejemplo el PIC16C84 y el PIC16F84, respectivamente.

1.7.5 Memoria de datos

Los datos que manejan los programas varían continuamente, y esto exige que la memoria que los contiene debe ser de lectura y escritura, por lo que la memoria RAM estática (SRAM) es la más adecuada, aunque sea volátil.

Hay microcontroladores que disponen como memoria de datos una de lectura y escritura no volátil, del tipo EEPROM. De esta forma, un corte en el suministro de la alimentación no ocasiona la pérdida de la información, que está disponible al reiniciarse el programa. El PIC16F84 dispone de 64 bytes de memoria EEPROM para contener datos.

1.7.6 Líneas de E/S

A excepción de dos patitas destinadas a recibir la alimentación, otras dos para el cristal de cuarzo, que regula la frecuencia de trabajo, y una más para provocar el Reset, las restantes patitas de un micro controlador sirven para soportar su comunicación con los periféricos externos que controla.

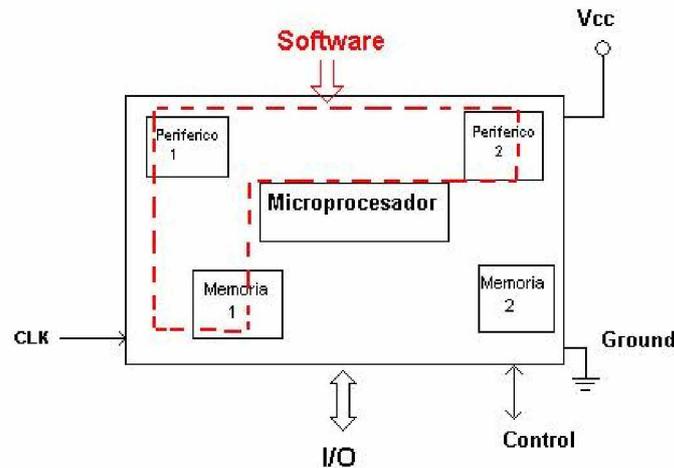


Figura 2. Esquema de un microcontrolador

Las líneas de E/S que se adaptan con los periféricos manejan información en paralelo y se agrupan en conjuntos de ocho, que reciben el nombre de Puertas. Hay modelos con líneas que soportan la comunicación en serie; otros disponen de conjuntos de líneas que implementan puertas de comunicación para diversos protocolos, como el I2C, el USB, RS232.

1.7.7 PICs más comúnmente usados [9]

- PIC12C508/509 (encapsulamiento reducido de 8 pines, oscilador interno, popular en pequeños diseños como el iPod remote).
- PIC16F84 (Considerado obsoleto, pero imposible de descartar y muy popular).
- PIC16F84A (Buena actualización del anterior, algunas versiones funcionan a 20 MHz, compatible 1:1).
- PIC16F628A (Es la opción típica para iniciar una migración o actualización de diseños antiguos hechos con el PIC16F84A. Posee puerto serial, módulos de comparación análoga, PWM, módulo CCP, rango de operación de voltaje aumentado, entre otras).

- PIC16F88 (Nuevo sustituto del PIC16F84A con más memoria, oscilador interno, PWM, etc. que podría convertirse en popular como su hermana).
- La subfamilia PIC16F87X y PIC16F87XA (los hermanos mayores del PIC16F84 y PIC16F84A, con cantidad de mejoras incluidas en hardware. Bastante común en proyectos de aficionados).
- PIC16F886/887 (Nuevo sustituto del 16F876A y 16F877A con la diferencia que el nuevo ya se incluye oscilador interno).
- PIC16F193x (Nueva gama media de PIC optimizado y con mucha RAM, ahora con 49 instrucciones por primera vez frente a las 35 de toda la vida).
- PIC18F2455 y similares con puerto USB 2.0
- PIC18F2550 manejo de puertos USB 2.0 y muy versátil.
- PIC18F4550
- dsPIC30F2010
- dsPIC30F3014
- dsPIC30F3011 (Ideales para control electrónico de motores eléctricos de inducción, control sobre audio, etc.).
- PIC32 (Nueva gama de PIC de 32 bits, los más modernos ya compatible con USB 2.0).

1.7.8 Características de los PICs 16F873 Y 16F84

En nuestro diseño se escogió el 16F873 por ser de gama media y prestar ciertas ventajas con respecto al más conocido 16F84.

Características de los PIC	PIC16F873	PIC 16F84
Frecuencia de Operación	DC - 20 MHz	DC - 20 MHz
RESETS (and Delays)	POR, BOR, WDT (PWRT, OST)	POR, WDT (PWRT, OST)

Memoria de Programa FLASH (14-bit words)	4K	1K
Memoria de Datos (bytes)	192	68
Memoria de Datos EEPROM	128	64
Interrupciones	13	4
Puertos I/O	Puertos A(6),B(8),C(8)	Puertos A(5),B(8)
Timers	3	1
Módulos de Comparación y de Captura	2	-----
Comunicaciones Serie	MSSP, USART	-----
Módulo de Análogo a Digital 10-bit	5 canales de entrada	-----
Instrucciones	35 instrucciones	35 instrucciones

Tabla 4. Cuadro de características de los PICs.

CAPITULO 2. CIRCUITOS REALIZADOS PARA EL FUNCIONAMIENTO DEL PLC.

El diseño del PLC propuesto es básicamente modular donde dichos módulos pueden agregarse en dependencia de los requerimientos del proyecto. La CPU solo está conformada por el Microcontrolador, además de un reloj de tiempo real y una memoria SRAM serie, los cuales no fueron adicionados en este momento y quedan como recomendación.

El resto de los módulos de ampliación: Digitales, Analógicos y de Comunicación, están formados por dos bloques: el Decodificador de Direcciones y el de Aplicación.

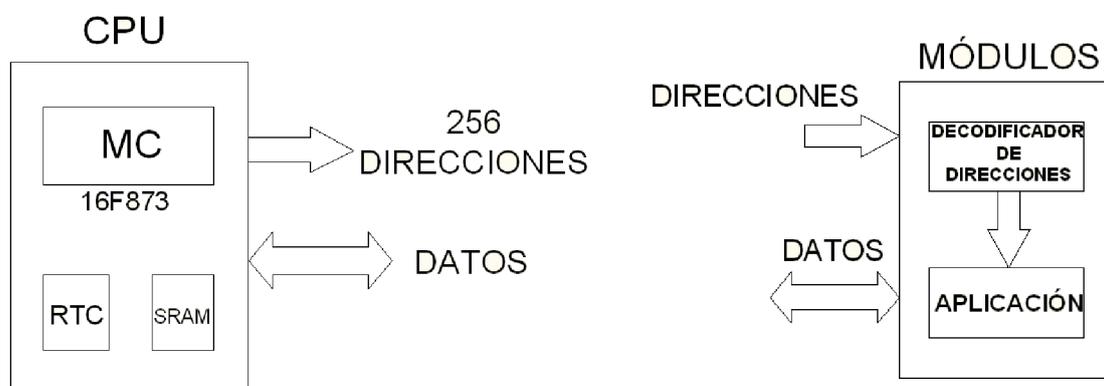


Figura 1. Esquema de la CPU y los módulos de ampliación.

2.1 Microcontrolador con circuito decodificador de direcciones.

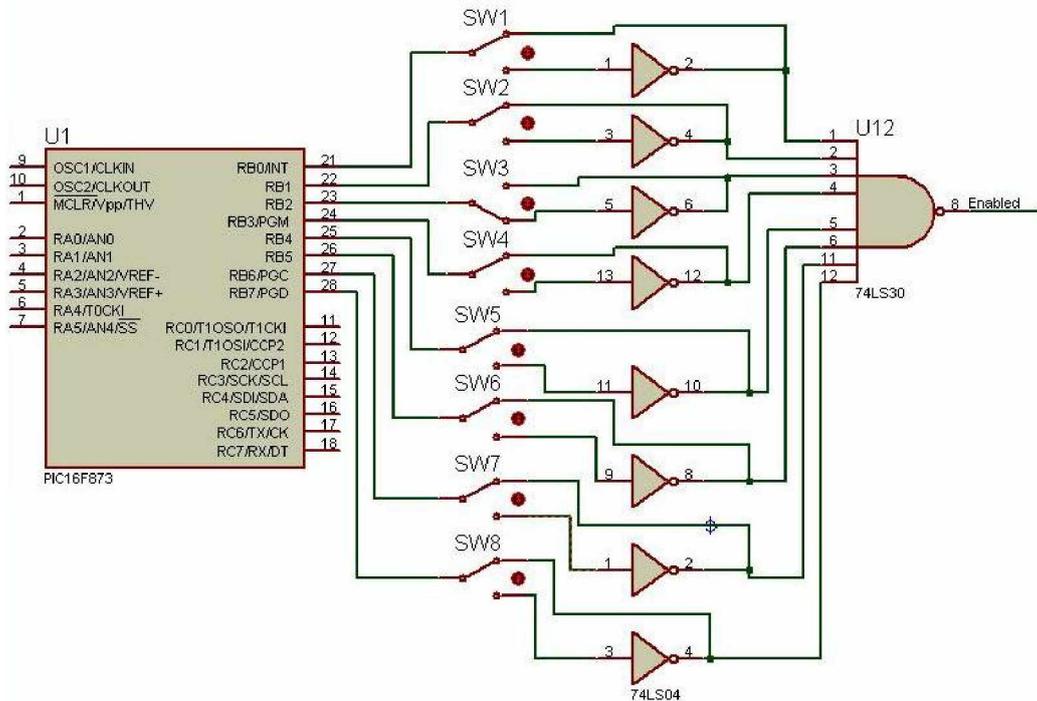


Figura 2. Esquema del circuito del decodificador de direcciones

2.1.1 Deducción del Circuito.

En el circuito (Figura 2) se puede describir el elemento principal como lo es el PIC 16F873, el cual trabaja con una frecuencia de operación de DC – 20 MHz, Resets (and Delays) son por vía POR, BOR (PWRT, OST), posee una Memoria de Programación Flash (14 Bit words) de 4K, una Memoria de datos de 192 Bytes, posee una Memoria de tipo EEPROM de 128 Bytes, la cual graba eléctricamente, pero su borrado es mucho más sencillo, ya que también es eléctrico. No se pueden conseguir grandes capacidades y su tiempo de escritura y su consumo es elevado, el número de Interrupciones existentes son de 13, los puertos de entrada son Tres Puerto A,B y puerto C, tiene 3 timers, sus módulos de Comparación y de Captura son 2, la Comunicación Serial son de tipo MSSP, USART, 10-bit Analog-to-Digital Module 5 input channels, y para finalizar se caracterizar por tener su 35 instrucciones configurables.

Se muestra además el decodificador de direcciones, el cual no se muestra integrado dentro de este módulo, pero se muestra aquí con el objetivo de ganar en claridad en cuanto al funcionamiento. Como se explicó anteriormente este bloque se encuentra ubicado dentro de cada módulo de ampliación.

Cada módulo de ampliación tendrá una dirección seleccionable mediante switch que al tener 28 combinaciones, permite una cantidad de 256 ampliaciones.

2.2 Circuito del módulo de entradas digitales

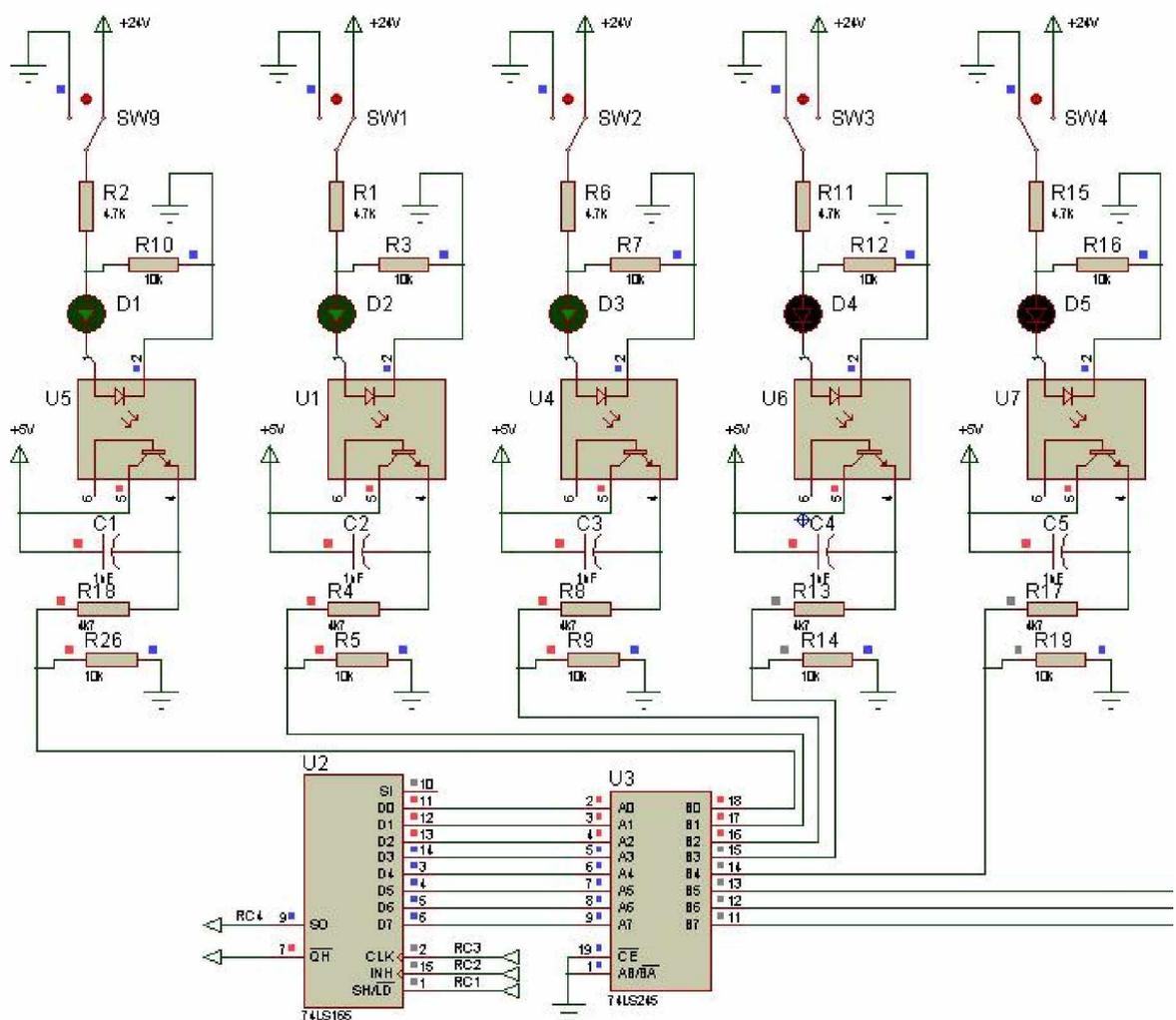


Figura 3. Esquema del circuito de entradas digitales

2.2.1 Deducción del Circuito

Por conocimiento general las entradas digitales del autómata se comportan como una carga del circuito externo. El autómata detecta que una entrada se ha activado cuando circula corriente por la carga que presenta el autómata.

Los módulos de entrada digital, trabaja normalmente con un Voltaje DC de 24V, y también con un voltaje de 120/230 AC, en el circuito se ha empleado un voltaje de 24V DC que es con el que se va a trabajar.

El circuito envía los datos de forma serie a través de un conversor paralelo-serie 74LS165, éste dispositivo es un registro de 8-bits de desplazamiento en serie, el cual cambia los datos en la dirección de QA hacia QH y hacia el reloj. El acceso de la entrada en paralelo es posible por ocho entradas directas de datos individuales, los cuales incorporan un nivel bajo en el cambio de carga y entrada.

El transistor 74LS245 es un buffer que evita el efecto de carga en un circuito. En su forma más sencilla es un amplificador operacional funcionando como seguidor. Por consiguiente el voltaje y la corriente no disminuye en el circuito, ya que éste toma el voltaje de la fuente de alimentación del operacional y no de la señal que se está introduciendo, por lo que si una señal llegara con poca corriente, el circuito seguidor compensaría esa pérdida con la fuente de alimentación del amplificador operacional, ya sea éste unipolar o bipolar.

Una vez descrito los dos principales elementos como es el conversor paralelo-serie 74LS165 y el transistor 74LS245, se describe el funcionamiento de la siguiente forma:

El switch simula la existencia o no de voltaje. Se puede observar un led el cual es un dispositivo que nos da la información que una de las entradas está siendo usadas, este tiene como seguridad un optoacoplador, el cual protegerá al circuito de alguna descarga producida por una sobrecarga, seguidamente se puede observar en el circuito que después del optoacoplador van conectadas cada una de las entradas hacia el buffer 74LS245, el cual regula la corriente y voltaje que por último pasa la información enviada hacia el conversor paralelo – serie y con esto realizar el funcionamiento de algún dispositivo electrónico.

2.3 Circuito del módulo de salidas digitales

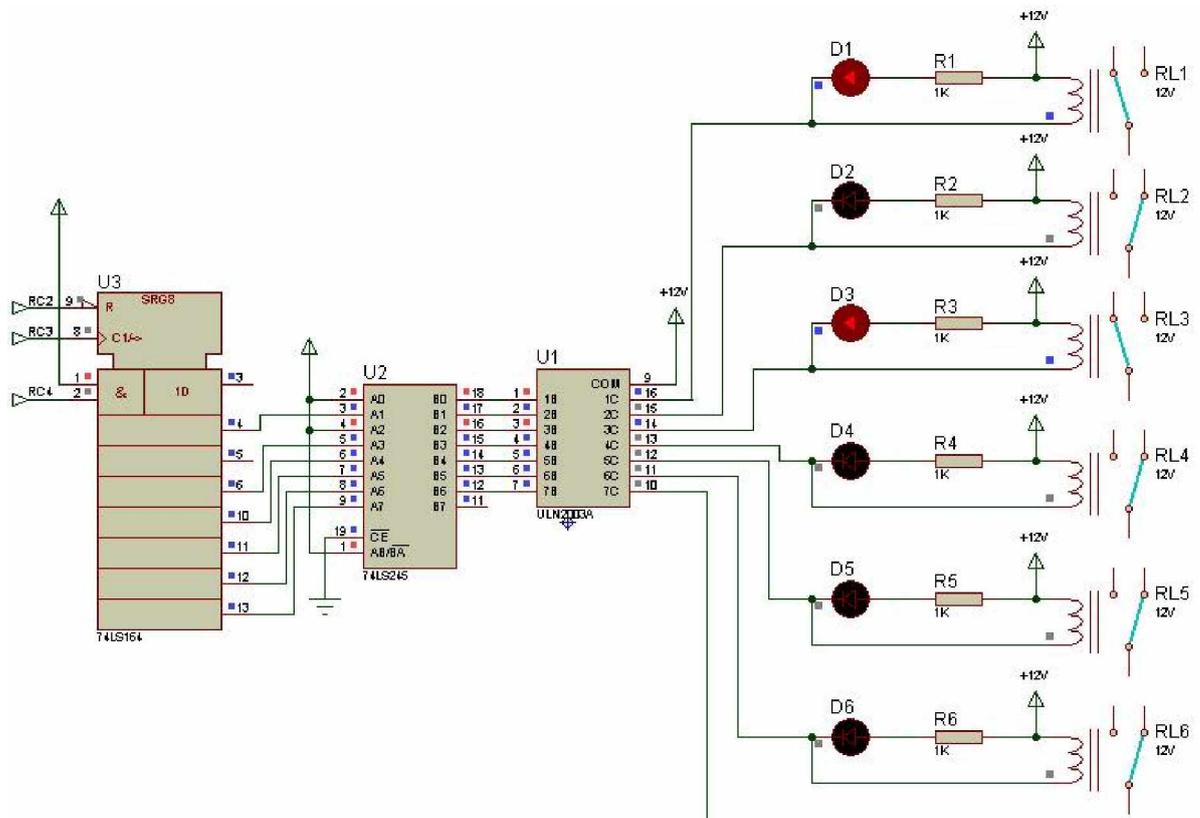


Figura 4. Esquema del circuito de salidas digitales

2.3.1 Deducción del Circuito.

Para el circuito de Salidas Digitales se ha tomado como elementos los principales dispositivos electrónicos los cuales los vamos a describir:

El Conversor de Serie – Paralelo 74LS164 tiene una alta velocidad, es de 8 bits. Los datos en serie entran a través de 2 entradas de compuerta AND, sincronizadas para una transmisión en Baja y Alta del reloj.

El transistor 74LS245 es un buffer octal designado para una comunicación de dos vías asincrónicas entre los buses de datos.

Una vez conocidos los elementos electrónicos principales del circuito, lo describimos el funcionamiento de la manera siguiente:

El circuito empieza por el convertor 74LS164 el cual envía la señal de datos serie hacia el buffer el cual cumple su función de regular la corriente y el voltaje, también está incluido un elevador de voltaje, que es el transistor de alto voltaje ULN2003, este elemento nos permite subir el valor del voltaje ya que a la salida del buffer el valor del voltaje es muy deficiente y el transistor ULN2003A proporciona nivelar el voltaje hacia la salida de los relays, y con esto estaría funcionando el circuito de la mejor manera los relays al tener dos posiciones permiten escoger entre una conexión normalmente cerrada o normalmente abiertos.

2.4 Circuito del módulo de entradas analógicas

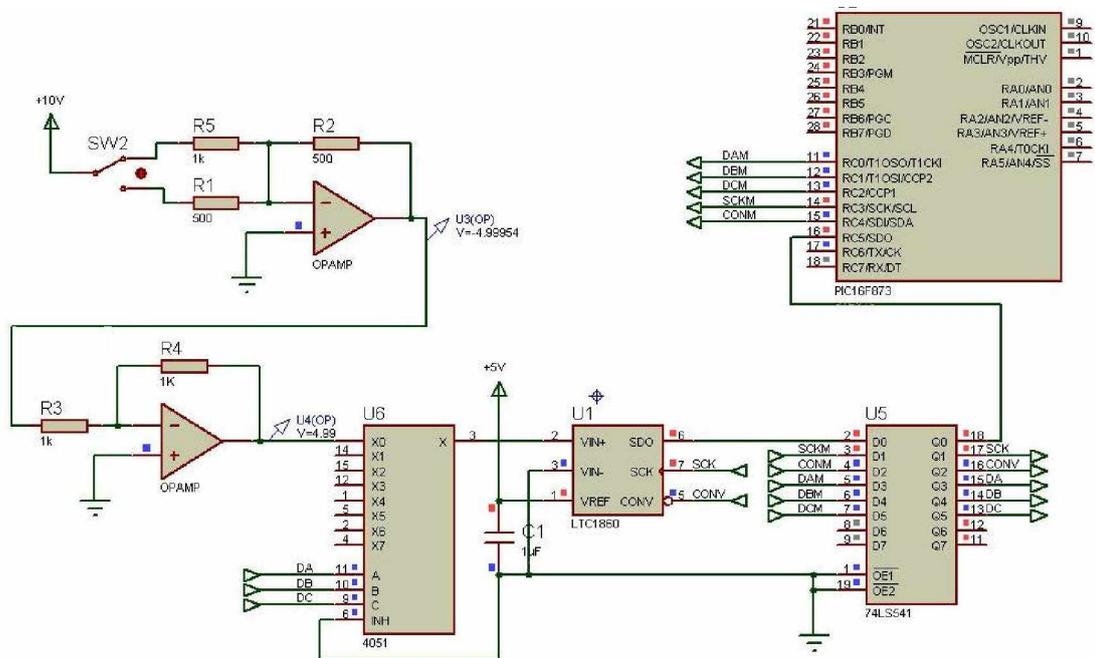


Figura 5. Esquema del circuito de entradas analógicas

2.4.1 Deducción del Circuito.

Las entradas analógicas transforman una señal de tensión o corriente de entrada al autómatas en un valor numérico que se almacena internamente.

Las entradas analógicas pueden detectar valores de tensión o corriente de: **0 a +10V**, de **0 a +5V** y de **4 a 20mA**.

El switch se emplea para conmutar la entrada en dependencia de si tenemos una señal de 0 - 5V o 0 – 10V. En el circuito se muestra un ejemplo a partir de una señal de entrada de 0 – 10V.

Para obtener el voltaje deseado se utiliza un Amplificador Operacional en configuración inversora, como la señal a la salida se vuelve negativa (Figura 6), es necesario volver a multiplicarlo en este caso con una ganancia unitaria para obtener al final el voltaje deseado.

La señal entra en un 4051, el cual es un multiplexor analógico y permite seleccionar cualquiera de las posibles 8 entradas, por cuestión de espacio solo se muestra una.

La salida de este multiplexor se conecta al Conversor Análogo-Digital serie LTC1860 y este a su vez al buffer 74LS541 para aislar la señal hacia el PIC.

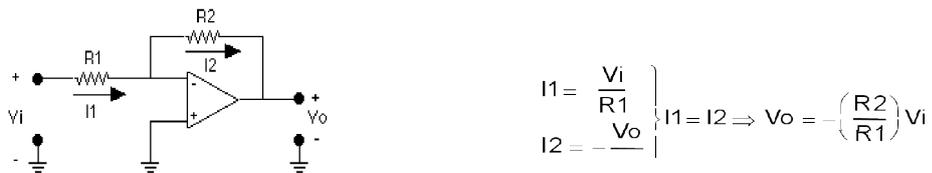


Figura 6. Esquema y ecuación de una configuración inversora.

2.5 Circuito del módulo de salidas analógicas

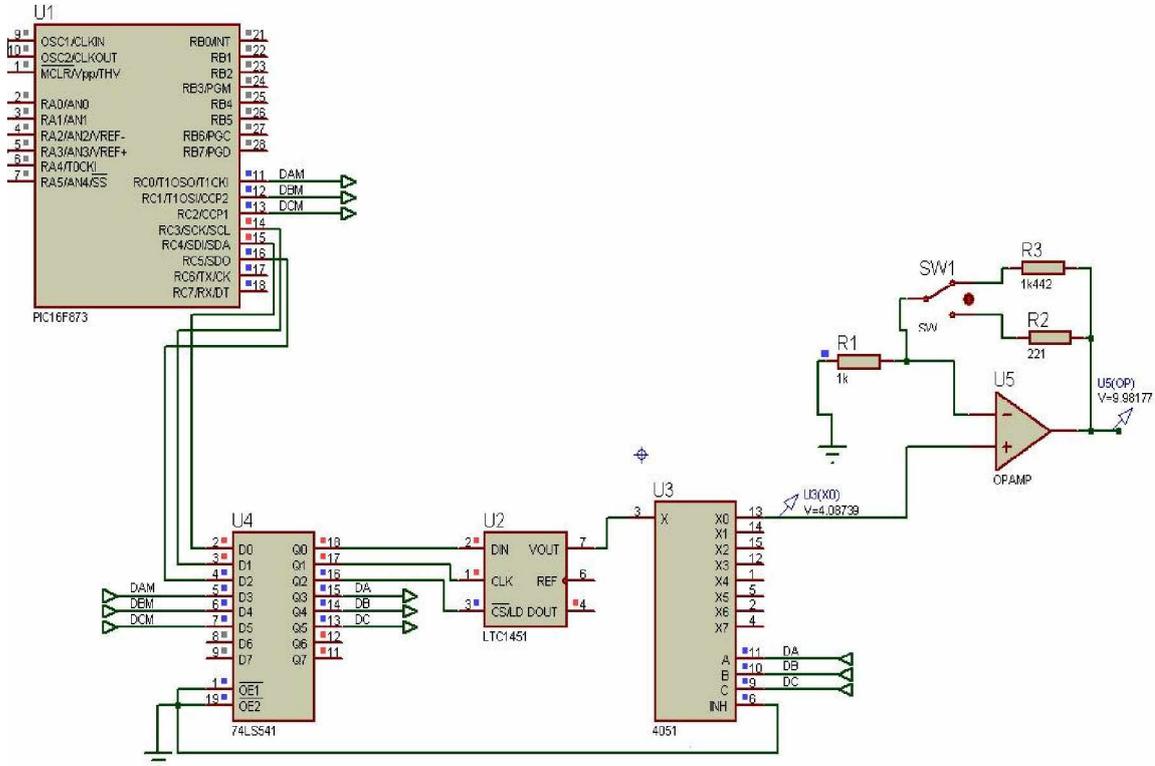


Figura 7. Esquema del circuito de salidas analógicas

2.5.1 Deducción del Circuito.

Se utiliza una configuración no inversora (Figura 8) y salidas de voltaje de 0 a 10V y 0 a 5V, además de 4 a 20mA. Con un multiplexor que permite tener hasta 8 salidas diferentes e independientes.

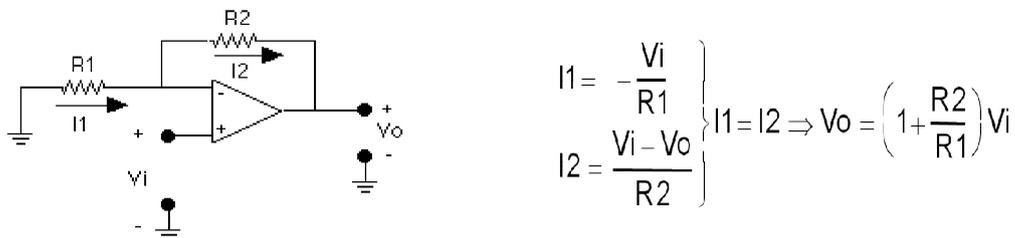


Figura 8. Esquema y ecuación de una configuración no inversora.

Para el funcionamiento del circuito de Salidas Analógicas se ha realizado el mismo procedimiento como el circuito anterior se ha realizado por medio de un switch, el cual permite la selección de voltaje de 0 - 5V y de 0 - 10V según las necesidades que se requieran para darle su debido funcionamiento de trabajo al igual que en el circuito anterior existe un buffer 74LS541 para un aislamiento un Conversor Digital-Analógico serie LTC1451 y el multiplexor 4051 para seleccionar cualquiera de las 8 salidas posibles.

2.6 Cálculos para obtener el transmisor de 4 a 20mA con un rango de entrada de 0 a 5V

El conversor está diseñado según los siguientes requerimientos.

$$V_{I1} = 0V \quad \Rightarrow \quad I_C = 4mA$$

$$V_{I1} = 5V \quad \Rightarrow \quad I_C = 20mA$$

Donde V_{I1} es el voltaje a la entrada del transmisor de 4 a 20mA y I_C es la corriente de salida de dicho transmisor.

De los datos anteriores se puede deducir la siguiente ecuación de la forma $y = mx + n$:

$$I_C = 0.0032V_{I1} + 0.004$$

La ecuación 1 constituye el primer paso para diseñar el transmisor de 4 a 20mA, el cual es mostrado en la Figura 8 para una mejor comprensión.

Aplicando una LKV tenemos que:

$$I_E = \frac{V_{CC} - V_{01}}{R_7} \quad (2)$$

Donde V_{01} es el voltaje a la salida del primer amplificador operacional

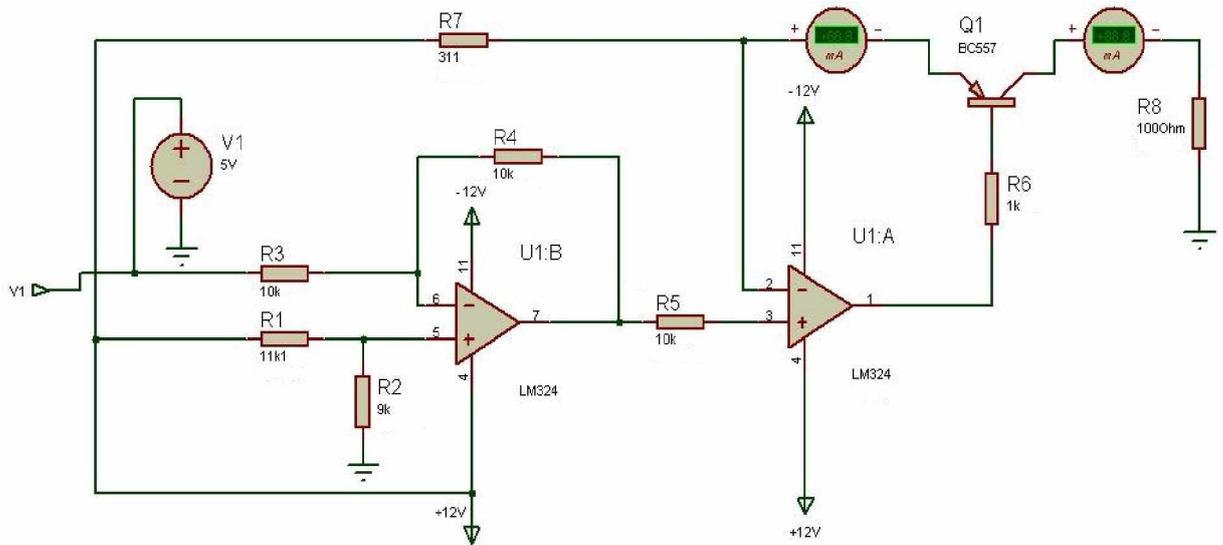


Figura 9. Esquema del circuito del trasmisor de 4 a 20mA con un rango de entrada de 0 a 5V

La primera etapa del circuito mostrado en la Figura 9 es un amplificador diferencial básico, cuya una función de transferencia es:

$$V_0 = \frac{R_4}{R_3} \left(\frac{1 + \frac{R_3}{R_4} V_{CC} - V_{I1}}{1 + \frac{R_1}{R_2}} \right) \quad V_0 = \frac{1 + \frac{R_4}{R_3} V_{CC} - \frac{R_4}{R_3} V_{I1}}{1 + \frac{R_1}{R_2}}$$

Donde V_{I1} es el voltaje de entrada del trasmisor 4 a 20mA.

Si hacemos $K = \frac{1 + \frac{R_4}{R_3}}{1 + \frac{R_1}{R_2}}$, tenemos que:

$$V_0 = KV_{CC} - \frac{R_4}{R_3} V_{I1} \quad (3)$$

Sustituyendo 3 en 2:

$$I_E = \frac{V_{CC} - \left(KV_{CC} - \frac{R_4}{R_3} V_{I1} \right)}{R_7} = \left(\frac{1-K}{R_7} \right) V_{CC} + \frac{R_4}{R_3 R_7} V_{I1} \quad (4)$$

Si comparamos las ecuaciones 1 y 4, y tenemos en cuenta que $I_E = I_C$ puesto que el transistor BC557 tiene un HFE > 100:

$$\frac{R_4}{R_3 R_7} = 0.0032 \quad \left(\frac{1-K}{R_7} \right) V_{CC} = 0.004$$

Suponemos que $R_3 = R_4 = 10k\Omega$, nos queda:

$$\frac{1}{R_7} = 0.0032 \quad \Rightarrow \quad \boxed{R_7 = 312.5\Omega}$$

Suponemos un $V_{CC} = 12V$

$$\left(\frac{1-K}{R_7} \right) V_{CC} = 0.004 \quad \Rightarrow \quad K = 1 - \frac{0.004 R_7}{V_{CC}} = 0.895$$

$$K = \frac{1 + \frac{R_4}{R_3}}{1 + \frac{R_1}{R_2}} = \frac{2}{1 + \frac{R_1}{R_2}} \quad \Rightarrow \quad \frac{R_1}{R_2} = \frac{2}{K} - 1 = 1.23 \quad \Rightarrow \quad R_1 = 1.23 R_2 \quad (5)$$

Si tenemos en cuenta como norma de diseño que el paralelo de R_1 y R_2 es igual al paralelo de R_3 y R_4 :

$$\frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = 5K \quad (6)$$

Sustituimos 5 en 6:

$$\frac{1.23R_2^2}{2.23R_2} = \frac{1.23R_2}{2.23} = 5K \quad \Rightarrow \quad \boxed{R_2 = 9.06K\Omega}$$

$$R_1 = 1.23R_2 \quad \Rightarrow \quad \boxed{R_1 = 11.14K\Omega}$$

Se fijan arbitrariamente

$$R_5 = R_6 = 1K\Omega$$

R_8 es la resistencia de censado que se encuentra en el receptor para convertir la corriente transmitida en un voltaje.

2.7 Cálculos para obtener el receptor de 4 a 20mA con un rango de salida de 0 a 5V

En el caso del receptor de 4 a 20mA (Figura 10) comenzamos su diseño teniendo en cuenta los siguientes parámetros.

$$I_C = 4mA \quad \Rightarrow \quad V_S = 0V$$

$$I_C = 20mA \quad \Rightarrow \quad V_S = 5V$$

Donde V_S es el voltaje a la salida del receptor 4 a 20Ma.

De los cuales se puede deducir fácilmente la siguiente ecuación:

$$V_S = 312.5I_C - 1.25 \quad (7)$$

Si en el circuito suponemos que $R_1 = R_3$ y $R_2 = R_4$, podemos demostrar que:

$$V_S = \frac{R_2 R_8}{R_1} I_C + V_Z \quad (8)$$

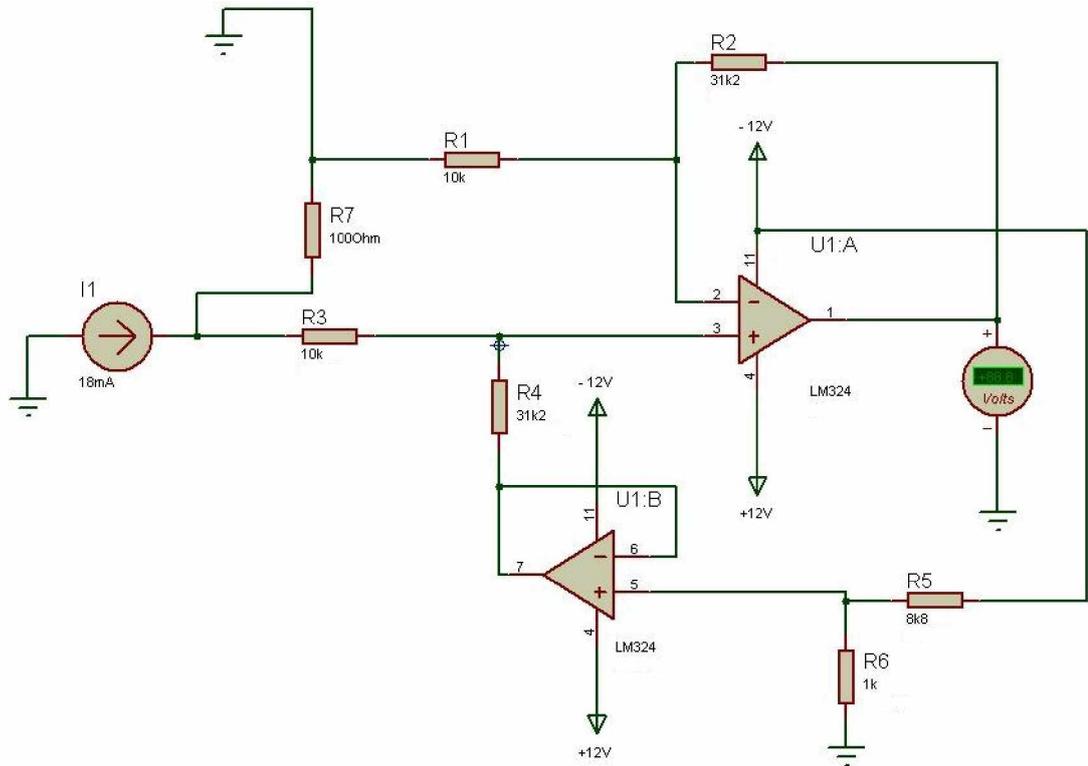


Figura 10. Receptor de 4 a 20mA con un rango de salida de 0 a 5V

Si comparamos las ecuaciones 7 y 8, y suponemos que $R_8 = 100\Omega$ (debe ser bastante menor que R_1 para que toda la corriente que llegue circule a través de ella tenemos que:

$$V_Z = -1.25V$$

$$\frac{R_2 R_8}{R_1} = 312.5 \Rightarrow \frac{R_2}{R_1} = 3.125$$

$$R_2 = 31.25K\Omega$$

$$R_1 = 10K\Omega$$

2.8 Circuito del puerto serie RS232

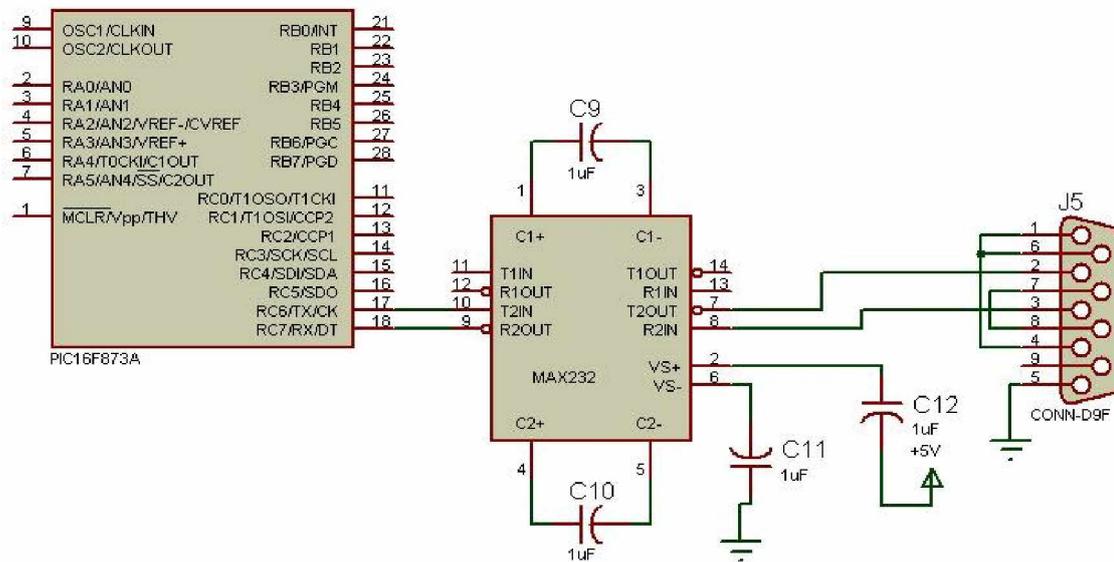


Figura 11. Esquema del circuito del puerto serie RS232

2.8.1 Deducción del circuito

Para el circuito del puerto serie RS232 se ha seleccionado el circuito integrado MAX 232 el cual está alimentado de 5V, y se comunica por medio de los pines 9(R2out) y 10(T2in) con el PIC 16F873 a los pines 17(RC6/TX/CK) y 18(RC7/RX/DT), también se le incorpora un conector DB9 macho, acorde a la norma, el cual servirá para la comunicación externa del PLC, siendo estas las características de cada pin:

Pin 1 **DCD** (E) Detección de Portadora

Pin 2 **RXD** (E) Recepción de Datos

Pin 3 **TXD** (S) Transmisión de Datos

Pin 4 **DTR** (S) PC listo para recibir (Es la respuesta a CTS)

Pin 5 **MASA COMÚN**

Pin 6 **DSR** (E) PC puede enviar datos (Es la respuesta a RTS)

Pin 7 **RTS** (S) PC solicita enviar datos (Le responderán con DSR)

Pin 8 **CTS** (E) Le preguntan si PC listo para recibir (Responderá con DTR)

Pin 9 **RI** (E) Indicador de llamada (Sólo si el otro equipo es realmente un módem)

El RS232 (Recommended Standard 232, también conocido como Electronic Industries Alliance RS-232C) es una interfaz que designa una norma con la finalidad de obtener el intercambio serie de datos binarios entre un DTE (*Data Terminal Equipment*, Equipo terminal de datos) y un DCE (*Data Communication Equipment*, Equipo de Comunicación de datos). Está diseñada para comunicación a distancias cortas, de hasta 30 metros según la norma, y para velocidades de comunicación bajas, de no más de 19200 baudios actualmente.

2.9 Circuito del puerto serie RS485

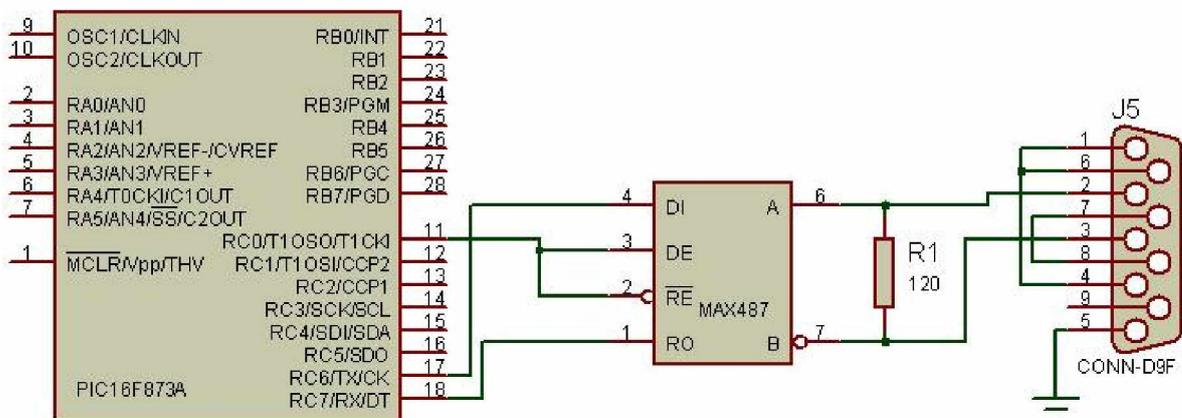


Figura 12. Esquema del circuito del puerto serie RS485

2.10.1 Deducción del circuito

La comunicación RS-485 es muy utilizada en ambientes industriales, la implementación aquí mostrada (Figura 12), utiliza un MAX 487 y un conector DB9 hembra para diferenciarlo del RS-232.

Determinando las circunstancias de que se desee comunicar a largas distancias se ha implementado el circuito del puerto serie RS485 seleccionando el circuito integrado MAX 487 el cual se comunica por medio de los pines 1(RO), 2(RE), 3(DE) y 4(DI) con el PIC 16F873 a los pines 17(RC6/TX/CK) y 18(RC7/RX/DT).

Está definido como un sistema en bus de transmisión multipunto diferencial, es ideal para transmitir a altas velocidades sobre largas distancias (35 Mbps hasta 10 metros

y 100 Kbps en 1.200 metros) y a través de canales ruidosos, ya que reduce los ruidos que aparecen en los voltajes producidos en la línea de transmisión. El medio físico de transmisión es un par entrelazado que admite hasta 32 estaciones en 1 solo hilo, con una longitud máxima de 1.200 metros operando entre 300 y 19.200 bps y la comunicación half-duplex (semiduplex). Soporta 32 transmisiones y 32 receptores. La transmisión diferencial permite múltiples drivers dando la posibilidad de una configuración multipunto. Al tratarse de un estándar bastante abierto permite muchas y muy diferentes configuraciones y utilizaciones.

Con las siguientes especificaciones requeridas:

- Interfaz diferencial.
- Conexión multipunto.
- Alimentación única de +5V.
- Hasta 32 estaciones (ya existen interfaces que permiten conectar 256 estaciones).
- Velocidad máxima de 10 Mbps (a 12 metros).
- Longitud máxima de alcance de 1.200 metros (a 100 Kbps).
- Rango de bus de -7V a +12V.
- Comunicación Maestro – Esclavo.

CÁPITULO 3. TABLA DE VALORES DE LOS COMPONENTES UTILIZADOS EN EL DISEÑO DEL PLC.

En el mundo son numerosas las empresas que fabrican PLC, estas se encuentran ubicadas en su gran mayoría en los países desarrollados como lo son Estados Unidos, Japón y países de Europa.

Los precios de un equipo como el diseñado por nosotros en el mercado se le encuentra en precios de 400.00 a 600.00 USD, como por ejemplo, el valor de los siguientes autómatas de diferentes marcas:

- De la marca Siemens su valor es de **\$ 500.00 USD.**
- De la marca Delta su valor es de **\$ 500.00 USD.**
- De la marca Onrom su valor es de **\$ 450.00 USD.**

Es por eso que la implementación de un equipo similar sería de gran utilidad al comparar costos y el dominio de la tecnología empleada.

Se puede definir que la aplicación y la realización de este autómata darían mucha ganancia en el mercado tanto nacional como exterior.

Nombre y precio de cada componente que se utilizará en el diseño.

Componente	precio (dólares)
PLC 16F873	12.00 dólar
Circuito Integrado MAX232	1.00 dólar
Multiplexor 4051	2.00 dólar
Circuito Integrado Max 487	1.30 dólar
Transistor de alto voltaje 2803	1.50 dólar
leds	0.25 cntvs C/U
resistencias	0.10 cntvs C/U
condensadores	0.50 cntvs C/U
Circuito Integrado LM324	0.30 cntvs C/U

Relays	0.50 cntvs C/U
Conversor 74LS165	0.70 cntvs C/U
Inversor 74LS04	0.30 cntvs C/U
Conector hembra recto para C/l de 9 pines	0.70 cntvs C/U
Conector macho recto para C/l de 9 pines	0.70 cntvs C/U
Compuerta Lógica 74LS30	0.40 cntvs C/U
PARAL LOAD 8 BIT SERIAL 74LS165	0.50 cntvs C/U
OCTAL BUS TRANS NON INVER 74LS245	0.50 cntvs C/U

Total: 23.25 dólar

Se pone a consideración que la lista presentada se encuentra los precios (USD), de los componentes principales que conforman los circuitos del Autómata Programable, que a su vez asumiendo gastos extras llegaría a tener un valor aproximado menor de 100 dólares.

CONCLUSIONES

Al haber realizado este proyecto de diplomado se ha obtenido como conclusiones más importantes las siguientes:

- Se realizó un estudio detallado de diferentes fabricantes de PLCs como base para nuestro diseño.
- Se estudio el programa de simulación Proteus 7.7.
- Se logró diseñar el circuito del Controlador Lógico Programable con un microcontrolador PIC 16F873.
- Se implemento módulos de Ampliación: Digitales, Analógicas y de Comunicación, abarcando los requerimientos más comunes de la industria.

RECOMENDACIONES

Después de analizar y concluir el presente proyecto se ha llegado a tomar en cuenta las siguientes recomendaciones:

- Agregarle al módulo de la CPU una memoria SRAM serie así como un RTC (Reloj de Tiempo Real).
- Ampliar las prestaciones con módulos para termopares y controladores PID (Proporcional Derivativo Integral).
- Diseñar un software propio de programación.
- Realizar el montaje para su respectivo uso tanto para prácticas de clase como para estudio del mismo y así enriquecer de conocimientos sobre su funcionamiento.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Wikipedia, (25-05-2011), "Que es la Automatización", Consultado: junio 02 2011. Disponible en:
http://es.wikipedia.org/wiki/Automatizaci%C3%B3n_industrial
2. Wikipedia,(25-05-2011), "La Automatización Industrial", Consultado: junio 10 2011. Disponible en:
http://es.wikipedia.org/wiki/Automatizaci%C3%B3n_industrial
3. Mis respuestas.com, (2011), "Que es el PLC", Consultado: junio 20 2011. Disponible en: <http://www.misrespuestas.com/que-es-un-plc.html>
4. El Rincón del Vago, (1998), "Controladores Lógicos Programables", Consultado: junio 25 2011. Disponible en:
<http://html.rincondelvago.com/pcl.html>
5. Maser.com, (2000), "Características de PLC Siemens", Consultado: junio 26 2011. Disponible en:
http://www.grupo-maser.com/PAG_Cursos/Auto/auto2/auto2/PAGINA%20PRINCIPAL/index.htm
6. Alldatasheet.com, (2011), "Características de PLC Omron", Consultado: junio 26 2011. Disponible en: <http://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/193405/OMRON/CPM2C.html>
7. Alibaba.com, (2010), "Características de PLC Delta", Consultado: junio 26 2011. Disponible en: <http://spanish.alibaba.com/products/delta-plcs.html>
8. Wikipedia, (2011), "Que es un microcontrolador", Consultado: junio 28 2011. Disponible en:
http://es.wikipedia.org/wiki/Controlador_l%C3%B3gico_programable
9. Wikipedia, (2011), "Tipos de Micro controladores", Consultado: junio 28 2011. Disponible en: <http://es.wikipedia.org/wiki/Microcontrolador>

BIBLIOGRAFÍA

1. Catálogo Siemens, La Familia de Micro PLCs CON Calidad SIMATIC.
2. Datasheet, Microcontrollers 16F87X, 2001.
3. Datasheet, SN74LS164, 1999.
4. Datasheet, Multiplexor 4051, 2005.
5. Datasheet, Transistor de alto voltaje ULN2003, Febrero 2002.
6. Datasheet, DM74LS165, Marzo 2000.
7. Datasheet, Conversor A/D LTC1860, 2007.
8. Datasheet, Conversor D/A LTC1451, 1995.
9. Datasheet, Max 232, 1997.
10. Datasheet, Max 487, 1996.
11. Datasheet, ULN2801, 1995.
12. http://es.wikipedia.org/wiki/Automatizaci%C3%B3n_industrial
13. http://es.wikipedia.org/wiki/Automatizaci%C3%B3n_industrial
14. <http://www.misrespuestas.com/que-es-un-plc.html>
15. <http://html.rincondelvago.com/plc.html>
16. http://www.grupomaser.com/PAG_Cursos/Auto/auto2/auto2/PAGINA%20PRINCIPAL/index.htm
17. <http://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/193405/OMRON/CPM2C.html>
18. <http://spanish.alibaba.com/products/delta-plcs.html>
19. http://es.wikipedia.org/wiki/Controlador_l%C3%B3gico_programable
20. <http://es.wikipedia.org/wiki/Microcontrolador>