

**Sistema de control automático para embolsar congeladas utilizando
PLC Siemens CPU224XP**

Por

**Alberto Camargo Montaña
Claudia Wenceslao Catalán**

Director de tesis: M. en C. José Rogelio Efraín Escorcía Hernández

**Tesis para obtener el título de Ingenieros
en Electrónica y Telecomunicaciones**

en la

**Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo
Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería
Ingeniería En Electrónica y Telecomunicaciones**

Pachuca, Hgo., Mayo de 2009

A nuestras familias que han sido y seran parte esencial en nuestras vidas.

A nuestros profesores quienes han compartido sus conocimientos formandonos como profesionistas.

A nuestros amigos por compartir sus experiencias.

Agradecimientos

Agradezco primero a Dios por llenar mi vida de dicha y bendiciones.

Agradezco a mis Padres, Gregorio y Yolanda, les agradezco su apoyo, su guía y su confianza en la realización de mis sueños. Soy afortunada por contar siempre con su amor, comprensión y ejemplo. Esta tesis es suya. A mi abuelita a quien agradezco de todo corazón por estar en todo momento a mi lado y no dejar que me diera por vencida.

Agradezco a mis hermanos Itzel, Ignacio e Irais por su compañía y el apoyo que me brindan. Sé que cuento con ellos siempre. A mis tíos Matías y Julio que siempre han estado conmigo en los mejores momentos y en los peores, gracias por su gran apoyo.

A Lineth, Daniela, Leticia, Denisse, Rafael, Antonio por ser unos amigos increíbles y con quienes he compartido muchos momentos que siempre llevaré en mi corazón. Ustedes han enriquecido mi vida con su cariño y su alegría. Gracias por recordarme que hay personas valiosas en el mundo y gracias por estar en el mío.

A Alberto que es un personaje que ha dejado huella en mi vida y que ha sido fuente de alegría y que sin su gran ayuda no hubiera sido posible concluir esta tesis.

Agradezco a mis profesores que compartieron sus conocimientos y su amor por esta carrera.

Claudia Wenceslao Catalán

Agradecimientos

A mis padres que son lo más importante en mi vida, que me educaron de la mejor forma posible, que con su compañía y supervisión me dieron su apoyo incondicional en todas mis decisiones, buenas o malas. Que me infundieron la ética y todos los valores para guiarme en el transcurso de la vida. Los quiero mucho!!!

A toda mi familia que han estado conmigo siempre, a mi abuelito que está conmigo, a mis abuelitos que ahora me acompañan desde lejos, a mis tíos por su ejemplo y que también siempre están al tanto, a mis primos que hemos compartido demasiadas experiencias juntos que nunca se me olvidaran, a mis hermanos mayores, Ale y Ara que me llevaron por el carril de la vida desde mi niñez aprendiendo en todo momento de ustedes, y a Alan que desde que llegaste llegó la alegría contigo.

A mis amigos pero en especial a Ángel, Diana, Fabián, Miguel y Marvin, que nos apoyamos en las buenas y en las malas para llegar hasta lo último, que andábamos los días y las noches de un lugar a otro estudiando o bien divirtiéndonos, pero todo por un fin que ya estamos concluyendo, terminar la carrera y obtener el título. A Lineth quien nos presionaba y aconsejaba en todo momento y Luis quien nos apoyo. De todos nos guiamos recibiendo algo de cada uno.

Y no pueden faltar mis agradecimientos para Claudia, que es una persona muy especial e importante para mí. Gracias por estar a mi lado porque sin ti nada sería igual en estos momentos, que con tu comprensión, amor, atención, alegría, ternura, fuerza, sinceridad y todo lo que me has brindado me has hecho una persona mejor y seguro de mi mismo.

Alberto Camargo Montaña

A todas las personas que nos apoyaron para llegar a ésta meta permitiendo nuestro desarrollo profesional.

A nuestro director de tesis que contamos con su sustento en todo momento, muchas gracias.

Claudia y Alberto

Índice general

1. Introducción	1
1.1. Objetivo general	1
1.2. Objetivos específicos	1
1.3. Planteamiento del problema	1
1.4. Hipótesis	2
1.5. Antecedentes históricos de la automatización moderna	2
1.6. Justificación	6
1.7. Organización de la tesis	6
2. Automatización	8
2.1. Diseño asistido por computador (CAD)	12
2.2. Simulación e ingeniería asistidas por computador (CAE)	12
2.3. Fabricación asistida por computador (CAM)	13
2.3.1. Clases de automatización y sus características	14
2.3.1.1. Automatización fija	14
2.3.1.2. Automatización programable	15
2.3.1.3. Automatización flexible	15
2.3.2. La planificación de los productos a fabricas (Tecnología de grupos)	16
2.3.3. Los sistemas electrónicos de control	17
2.3.3.1. Sistemas de control numérico	17
2.3.3.2. Autómatas programables	22
2.3.3.3. Computadoras industriales	23
2.3.3.4. Sistemas electrónicos de control de procesos continuos	24
2.3.3.5. Sistemas CAD-CAM.	25
2.3.4. Los sistemas de manipulación de elementos	26
2.3.5. Los sistemas de fabricación flexible	26
2.4. Realimentación	27
2.5. Ejemplos de automatización en la industria	29
2.6. Ventajas y desventajas de la automatización industrial	30

3. Instrumentación Industrial	32
3.1. Los sensores, transductores y transmisores	32
3.1.1. Clasificación de los transductores	34
3.1.1.1. Según requieran alimentación externa	35
3.1.1.2. Según el modo de funcionamiento	35
3.1.1.3. Según el parámetro Variable	36
3.1.1.4. Según la señal de salida	36
3.1.1.5. Según su variable física a medir	37
3.1.2. Características deseables de los transductores	37
3.1.3. Tipos de transductores y sensores	38
3.2. Interruptores	44
3.2.1. Tipos y aplicaciones de los interruptores	45
3.3. Relevadores	48
3.3.1. Tipos de Relés	49
3.3.1.1. Electromecánicos	49
3.3.1.2. Relés de estado sólido (SSR)	50
3.4. Actuadores	53
3.4.1. Actuadores neumáticos	54
3.4.1.1. Cilindros neumáticos	54
3.4.1.2. Actuadores de giro (Motores neumáticos)	56
3.4.1.3. Pinzas neumáticas	57
3.4.2. Actuadores hidráulicos	57
3.4.2.1. Tipos de actuadores hidráulicos	58
3.4.3. Actuadores eléctricos	61
3.4.3.1. Actuadores lineales (Cilindro y eje electrico)	62
3.4.3.2. Motores eléctricos de CC y CA	65
4. Controlador Lógico Programable (PLC)	73
4.1. PLC's contra computadoras	74
4.2. Partes de un PLC	75
4.2.1. La sección de Entradas/Salidas (E / S)	76
4.2.1.1. Módulos E/S discretos	77
4.2.1.2. Módulos E/S analógicos	80
4.2.2. La fuente de alimentación	80
4.2.3. Unidad central de proceso (CPU)	81
4.2.4. El dispositivo de programación	83
4.2.5. Memoria	84
4.2.5.1. Tipos de memoria	85

4.3. Tamaño del PLC y su aplicación	86
4.4. Sistemas y códigos numéricos	87
4.5. Fundamentos de lógica	91
4.5.1. Funciones de AND, OR y NOT	92
4.6. Algebra booleana	96
4.7. Lenguajes de programación del PLC	99
4.7.1. Introducción al diagrama de escalera	101
5. Diseño Final del Prototipo Automático	102
5.1. Método manual empleado anteriormente	102
5.2. Diseño mecánico del prototipo y funcionamiento	104
5.3. Materiales	106
5.4. Programa del PLC	110
5.4.1. Convertidor RS232 a RS485	122
5.4.2. Simulación	124
5.5. Diagrama eléctrico	126
5.6. Puesta en marcha	128
5.7. Conclusiones	130
Bibliografía	131

Índice de figuras

2.1. Automatización: Una convergencia de tecnologías.	8
2.2. Ejemplos de automatización fija: a) Máquina de fabricación de platos; b) Máquina de colado a presión	15
2.3. Ejemplo de automatización programable: Máquina Fresadora controlada por control numérico . . .	16
2.4. Desplazamientos-Eje de un torno	19
2.5. Desplazamientos-Eje de una fresadora	20
2.6. Diagrama de bloques de un sistema electrónico analógico de control de velocidad que utiliza como sensor una generatriz tacométrica	24
2.7. Reguladores PID	25
3.1. Estructura general de un transductor	34
3.2. Encoder	38
3.3. Galga extensiométrica	40
3.4. Acelerómetro	40
3.5. Termistores	41
3.6. Termopar	42
3.7. Símbolo del interruptor	44
3.8. Interruptor de doble tiro	45
3.9. Interruptor de doble polo	45
3.10. Reed switch	46
3.11. Interruptor de límite	47
3.12. Funcionamiento del relé tipo armadura	50
3.13. Relé de núcleo móvil	50
3.14. Relé tipo reed o de lengüeta	51
3.15. Relé Polarizado	51
3.16. Relés de estado sólido (SSR)	51
3.17. Cilindro de simple efecto	55
3.18. Cilindro de doble efecto	55
3.19. Actuador de giro mediante piñón-cremallera	56
3.20. Cilindro hidráulico	59
3.21. Motores hidráulicos	61

3.22. Cilindro Eléctrico	63
3.23. Husillo a bolas	64
3.24. Eje Eléctrico	64
3.25. Desplazamiento por ejes X, Y, Z.	65
3.26. Motor elemental de corriente continua. a) Estructura. b) Fundamento: la atracción-repulsión y la conmutación de la corriente de la armadura hace que el rotor siga girando. c) Símbolo.	66
3.27. Plano neutro en el motor elemental	67
3.28. Motor elemental de cuatro espiras	68
3.29. Motor de corriente continua	68
3.30. Angulo del servomotor	71
4.1. Entradas y Salidas de control	74
4.2. a) Partes de un PLC. b) Arquitectura	75
4.3. Entradas/Salidas Fijas de un PLC	77
4.4. Entradas/Salidas modulares de un PLC	78
4.5. Esquema de conexiones de un modulo de entrada de CA al PLC.	79
4.6. Esquema de conexiones de un modulo de salida de CA del PLC	79
4.7. Componentes del CPU a) Ilustración simple del CPU b) Fuente de alimentación montada fuera del CPU	81
4.8. Comunicación del usuario con el PLC	83
4.9. Miniprogramador de PLC's	84
4.10. Compuerta AND	92
4.11. Ejemplo de función de compuerta AND	93
4.12. Compuerta OR	93
4.13. Ejemplo de función de compuerta OR	94
4.14. Compuerta NOT	94
4.15. Ejemplo de función de compuerta NOT	94
4.16. a) Combinación NOT y AND b) Compuerta NAND	95
4.17. Compuerta NOR	95
4.18. Compuerta XOR	96
4.19. Operaciones básicas del algebra booleana	98
4.20. Ecuaciones booleanas ejemplo 1	98
4.21. Ecuaciones booleanas ejemplo 2	99
4.22. Ley De Morgan	100
5.1. Maquina de pedal	102
5.2. Circuito multivibrador monoestable	103
5.3. Sistema up-down	104
5.4. Leva acoplada al rotor del motor de CA	105

5.5. Sistema de deslizamiento	106
5.6. Cuerpo de la maquina	107
5.7. Actuador lineal electrico	108
5.8. PLC Siemens CPU224XP.	108
5.9. Pantalla principal de STEP7 Micro/WIN 32	111
5.10. Ejemplo del diagrama de escalera	112
5.11. Diagrama de una subrutina	113
5.12. Diagrama de escalera utilizado para los movimientos	114
5.13. Diagrama de escalera del temporizador	116
5.14. Diagrama de escalera principal del bloque del programa	117
5.15. Diagrama de escalera de la subrutina Accionamientos	118
5.16. Diagrama de escalera de la subrutina Abajo	119
5.17. Diagrama de escalera de la subrutina Arriba	119
5.18. Diagrama de escalera de la subrutina Enfrente	120
5.19. Diagrama de escalera de la subrutina Atrás	121
5.20. Diagrama de escalera de la subrutina Reset	121
5.21. Comunicación PC a PLC	122
5.22. Diagrama del convertidor RS232/RS485	123
5.23. S7-200 SIM. a) Pantalla del simulador. b) Tipo de CPU	124
5.24. Funciones del simulador	125
5.25. Diagrama eléctrico de conexiones al PLC	126
5.26. Prototipo final.	128
5.27. Prototipo final, vista lateral.	129
5.28. Prototipo final, vista lateral 2.	129

Índice de cuadros

2.1. Comparación de utilización entre maquinas convencionales y CNC	22
2.2. Tipos de flexibilidad y los factores de los que dependen.	28
3.1. Tipos de transductores.	39
4.1. Módulos E/S disponibles para AC y DC.	78
4.2. Equivalencia de Código Gray y Binario	90
4.3. Tabla de Verdad compuerta AND	92
4.4. Tabla de Verdad compuerta OR	93
4.5. Tabla de Verdad compuerta NAND	95
4.6. Tabla de Verdad compuerta NOR	96
4.7. Tabla de verdad compuerta XOR	96
4.8. Instrucciones booleanas	97
5.1. Lista de material	110
5.2. Comparación entre la maquina manual y el prototipo automático	128

Resumen

Los instrumentos de control están universalmente aceptados. Hoy en día es inimaginable la industria sin un sistema de automatización. Y, aunque existiera, las necesidades que crea el mercado de obtener productos terminados con las garantías de calidad exigidas y en la cantidad suficiente para que el precio obtenido sea competitivo, forzaría a modificar esta hipotética industria, incluyendo en la transformación subsiguiente la automatización del proceso mediante los instrumentos de medición y control.

Este trabajo de investigación, cuyo propósito principal es la obtención de la tesis, dirigido al estudiante y a cualquier persona que este relacionada o vaya a relacionarse con el proceso. Ha sido escrito exponiendo los aspectos primordiales, que aunque no sea el lector un especialista en automatización, instrumentos o PLCs, tenga la necesidad de conocer parte o todo el campo de la automatización y sus procesos mediante los que se llega a ello. Desde nuestro punto de vista hemos puesto especial cuidado en que los capítulos iniciales de la obra sean la base teórica de nuestra máquina automática y al mismo tiempo sean lo más claro posible de tal forma que el lector tenga pocos inconvenientes de carácter conceptual al leer la última parte de la obra dedicada al diseño final.

Capítulo 1

Introducción

1.1. Objetivo general

Diseñar un prototipo mecánico e implementar un sistema de automatización para embolsar congeladas en la empresa “Congelados Reyna”, mediante un PLC Siemens CPU 224XP.

1.2. Objetivos específicos

- Bajar los costos de producción.
- Mejorar la calidad del producto en ésta empresa.
- Introducir una tecnología acorde con el avance de la automatización de procesos.
- Reducir horas hombre y aumentar horas maquina.
- Hacer un diseño económico acorde a la economía de la empresa.

1.3. Planteamiento del problema

Las principales dificultades con las cuales tropieza la empresa para la venta de sus productos en el mercado son: el nivel de calidad que ofrecen en la producción, el costo que envuelve dicha producción y, la más importante, la competitividad de precios de modo que pueda sobrevivir y salir adelante en los mercados cada vez más competitivos, por éstas razones es necesario que las empresas apliquen procesos de automatización en la parte técnica de sus procesos productivos, ya que esto puede mejorar la calidad y minimizar los costos.

“El método empleado en el embolsado de los líquidos es completamente manual, afectando la productividad de la empresa”

1.4. Hipótesis

“La implementación de un sistema de control automático para maquina embolsadora de congeladas en la empresa “Congelados Reyna” utilizando PLC Siemens S7-200 CPU224XP beneficia ampliamente la productividad, cumpliendo con un bajo costo de inversión”

1.5. Antecedentes históricos de la automatización moderna

Antiguamente, se creaban artefactos capaces de realizar tareas diarias y comunes para los hombres, o bien, para facilitarles las labores cotidianas; se daban cuenta de que había tareas repetitivas que se podían igualar con un complejo sistema, y es así como se comienza a crear máquinas capaces de repetir las mismas labores que el hombre realizaba, 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 renovable, tales como el viento, mareas, o un flujo de agua por energía humana.

Los botes a vela sustituyeron a los botes de remos. Todavía después, algunas formas de automatización fueron controladas por mecanismos de relojería o dispositivos similares utilizando algunas formas de fuentes de poder artificiales, algún resorte, un flujo canalizado de agua o vapor para producir acciones simples y repetitivas, tal como figuras en movimiento, creación de música, o juegos. Dichos dispositivos caracterizaban a figuras humanas, fueron conocidos como autómatas y datan posiblemente desde 300 AC.

El origen de la automatización se remonta a los años 1750, cuando surge la revolución industrial. La economía mundial experimentó cambios fundamentales. La producción de bienes entró en un proceso de desarrollo continuado, nunca conocido hasta entonces. Paralelamente se introdujeron importantes cambios sociales y todo ello hizo que se entrara en una etapa histórica radicalmente distinta, una etapa con caracteres de revolución.

La Revolución Industrial se produjo cuando unas determinadas circunstancias sucedieron paralelamente en Inglaterra a fines del siglo XVIII. En Inglaterra se había formado una poderosa burguesía que había logrado imponerse en los mercados mundiales y además, supo aplicar sus inversiones a los ramos de producción en masa, como por ejemplo a la industria textil con la patente de un telar automático utilizando tarjetas perforadas que fue dada a Joseph Marie Jacquard, quien revolucionó la industria del textil.

Pero la profunda transformación industrial sólo fue posible al producirse otras revoluciones, como la agrícola, la demográfica y la de los transportes, complementarias entre sí y que en conjunto, constituyeron una auténtica revolución económica. Con estas circunstancias favorables, la industria se transformó gracias a dos cambios decisivos: la mecanización del trabajo y la aplicación del vapor a las nuevas máquinas.

Los inventos mecánicos surgieron de la experiencia de los artesanos, que aportaron soluciones prácticas capaces de aumentar la producción y abaratar los costes de manera increíble permitiendo así un mayor consumo de bienes de una misma calidad que los anteriormente producidos pero a un mucho menor costo.

De 1817 a 1870 se construyeron máquinas especiales para corte de metal, además de algunas otras, de 1856 a 1890 Sir Joseph Whitworth enfatiza la necesidad de piezas intercambiables, las pruebas de fabricación de las piezas se dieron al mismo tiempo tanto en Europa como en Estados Unidos.

En esta época las máquinas seguían siendo completamente operadas por el hombre, si bien fueron importantes los diseños mecánicos para la evolución, asimismo lo fue por otra parte el diseño matemático, los primeros pasos de la computadora fue la máquina analítica creada por Charles Babbage, profesor matemático de la Universidad de Cambridge e Ingeniero Inglés en el siglo XIX. En 1823 el gobierno Británico lo apoyo para crear el proyecto de una máquina de diferencias, un dispositivo mecánico para efectuar sumas repetidas. La idea que tuvo Charles Babbage sobre un computador nació debido a que la elaboración de las tablas matemáticas era un proceso tedioso y propenso a errores. Su diseño de un “motor analítico” contuvo todos los elementos necesarios de una computadora moderna: dispositivos de entrada de información, un almacén (memoria), un molino (unidad que cómputo), una unidad de control, y dispositivos de salida. El diseño llevó más de 50,000 piezas móviles en una máquina de vapor tan grande como una locomotora. La mayoría de las acciones del motor analítico eran realizadas utilizando tarjetas perforadas, una adaptación al método que ya era usado para controlar máquinas de cosido automático de seda. Aunque Babbage trabajó en el motor analítico por casi 40 años, él nunca construyó realmente una máquina de trabajo.

En 1889 Herman Hollerith, inventor americano, patentó una máquina calculadora que contó, comparó y ordenó la información guardada en tarjetas perforadas. Cuando las tarjetas eran colocadas en su máquina, presionaban una serie de contactos del metal que correspondía a la red de perforaciones potenciales. Cuando un contacto encontraba en un agujero (perforado para representar la edad, ocupación, etcétera), cerraba un circuito eléctrico y aumentaba la cuenta para esa categoría. Su máquina primero fue utilizada para ayudar a clasificar la información estadística para el censo 1890 de Estados Unidos.

Para el año de 1938 Claude E. Shannon desarrolla el primer análisis simbólico de las propiedades de los circuitos de conmutación utilizando como herramienta el algebra de Boole. Esta fue desarrollada por el pensador y matemático G. Boole en su trabajo “The Mathematical Análisis of Logic” con el objetivo de simular y formalizar las leyes del pensamiento.

En 1939 los físicos americanos John V. Atanasoff y Clifford Berry produjeron el prototipo de una computadora en el sistema de numeración binario. Atanasoff pensaba que un número binario era mejor para satisfacer los cálculos que los números decimales porque dos dígitos 1 y 0 pueden ser representados fácil-

mente por un circuito eléctrico, que sería encendido o apagado. En 1944 se construyó en la Universidad de Harvard, la Mark I, diseñada por un equipo encabezado por Howard H. Aiken. Este computador tomaba seis segundos para efectuar una multiplicación y doce para una división. Computadora basada en rieles (tenía aprox. 3000), con 800 kilómetros de cable, con dimensiones de 17 metros de largo, 3 metros de alto y 1 de profundidad.

En el año de 1940 Surgen los controles hidráulicos, neumáticos y electrónicos para máquinas de corte automáticas, además de que se empezaron a estudiar los automatismos provistos de una cierta capacidad de memoria y los sistemas secuenciales, donde el primer método formal orientado a la síntesis de sistemas secuenciales se debe a Huffman. Así en 1947 Delmar S. Halder de la compañía automovilística Ford de Detroit, se refiere por primera vez al termino automatización. Halder opina que la automatización debería de ser un concepto global que abarque todos los diseños y dispositivos realizados para conseguir una plena automatización de la producción.

Para mediados del siglo XX, la automatización había existido por muchos años en una escala pequeña, utilizando mecanismos simples para automatizar tareas sencillas de manufactura. Sin embargo el concepto solamente llego a ser realmente práctico con la adición y evolución de las computadoras digitales, cuya flexibilidad permitió manejar cualquier clase de tarea. Las computadoras digitales con la combinación requerida de velocidad, poder de computo, precio y tamaño empezaron a aparecer en la década de 1960s. Antes de ese tiempo, las computadoras industriales eran exclusivamente computadoras analógicas y computadoras híbridas. Desde entonces las computadoras digitales tomaron el control de la mayoría de las tareas simples, repetitivas, tareas semiespecializadas y especializadas, con algunas excepciones notables en la producción e inspección de alimentos.

Los Controladores Lógicos Programables, (PLC's, Programable Logic Controller), nacieron esencialmente como tales, a finales de la década de los 60s y principios de los 70s. Bedford Associates propuso un sistema de control denominado Controlador Digital Modular (Modicon, Modular Digital Controller) al fabricante de automóviles General Motors. 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 surgen como equipos electrónicos sustitutos de 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. 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 autodiagnósticos sencillos.

Otra revolución en tecnología fue el microchip, ocurrió en 1971 en que el ingeniero americano Mar-
cian E. Hoff combinó los elementos básicos de una computadora en un chip de silicio minúsculo, que llamó microprocesador. Este microprocesador Intel 4004 y centenares de variaciones que las siguieron son las computadoras dedicadas que hacen funcionar millares de productos modernos y forman el corazón de casi cada computadora electrónica de uso general.

A mediados de los años setenta, los microchips y los microprocesadores habían reducido drásticamente el costo de los millares de componentes electrónicos requeridos en una computadora. La primera computadora de escritorio accesible diseñada específicamente para el uso personal fue llamada la Altair 8800 y vendida por Micro Instrumentation Telemetry Systems en 1974. En 1977 Tandy Corporation se convirtió en la primera firma principal del elemento electrónico para producir una computadora personal. Agregaron un teclado y un CRT a su computadora y ofrecieron medios de guardar programas en una grabadora. Pronto, una compañía pequeña llamada Apple Computer, fundado por el ingeniero Stephen Wozniak y los trabajos de Steven Jobs, comenzaron a producir una computadora superior.

A partir del año de 1973 comenzaron a integrarse las funciones de combinación en los autómatas. El primer bus de comunicaciones fue el Modbus de Modicon. El PLC podía ahora establecer comunicación e intercambiar informaciones con otros PLC's, al llegar a 1975 las tecnologías dominantes de los PLC eran maquinas de estado secuenciales y CPU's basadas en desplazamiento de bit. Los microprocesadores convencionales incorporan la potencia necesaria para resolver de forma rápida y completa la lógica de los pequeños PLC's.

Se produjo un intento de estandarización de las comunicaciones en la década de los 80's con el protocolo MAP (Manufacturing Automation Protocol) de General Motors. También fue tiempo en que se redujeron las dimensiones del PLC y se paso a programar con programación simbólica a través de ordenadores personales en vez de los clásicos terminales de programación.

La computadora personal de hoy es 200 veces más rápida que ENIAC, 3,000 veces más ligera, y varios millones de dólares más barata. En la rápida sucesión de computadoras se ha contraído del modelo de escritorio a la computadora portátil y finalmente a la del tamaño de la palma.

1.6. Justificación

La automatización de las actividades realizadas en las grandes empresas son muy complicadas y costosas, necesitan tener el personal calificado para llevar acabo la operación y mantenimiento de la misma, sin embargo se amortiza dicha inversión con altas producciones por lotes. En cambio al querer llevar la automatización a una empresa pequeña que ya lo precisa para seguir su desarrollo en el espacio comercial hay que dar un paso muy grande con maquinarias que existen pero con un proceso altamente sofisticado, sumando que no se encuentra al alcance económico de microempresas. Haciendo un análisis del nivel de automatización requerida en la empresa “Congelados Reyna” nos dimos cuenta que no es necesario automatizar todo el proceso ya que no es muy factible, por tal motivo decidimos realizar la automatización de la tarea que se vuelve mas repetitiva en todo el proceso de producción de dicha empresa mediante un PLC pequeño pero muy funcional con las características adecuadas para el sistema.

Las empresas que se dedican al mismo rubro compiten fuertemente en el mercado, por tal razón “Congelados Reyna” ambiciona ir un paso adelante de la competencia, esto mediante los dispositivos de control que se encargarán de automatizar todo el sistema, cubren las necesidades de la empresa que son el costo de producción del embolsado, la variación de la calidad de presentación del producto y conjuntamente el tiempo invertido en la producción.

Aditivo a esto la importancia de aprender a programar un PLC y dirigir dichos conocimientos a la comunidad estudiantil mediante ejemplos prácticos y fáciles de aprender. Dando un panorama del proceso de automatización que se lleva acabo en las industrias, para así lograr una mayor competitividad en el ámbito laboral.

1.7. Organización de la tesis

El capítulo 2 de esta tesis presenta una breve descripción de lo que es la automatización. Esto para implantarnos en un panorama de lo que necesitamos y mostrar las ventajas que se obtienen al automatizar los procesos repetitivos dentro de una empresa. Que comparado con las desventajas nos damos cuenta que un proceso adecuado a las necesidades es lo mas conveniente en todos los casos.

En el capítulo 3 se hace un análisis general de la instrumentación industrial existente, detallando cada dispositivo, y de ese modo optar por lo adecuado en el diseño de la máquina automática o cualquier otro proceso que requiera automatización.

En el capítulo 4 se puede observar una revisión del funcionamiento y programación de un PLC. Siendo esta parte muy importante para llegar a nuestro fin, ya que esta tecnología aumenta su uso en la actualidad debido a su flexibilidad.

Para terminar, se nota una comparación entre el método empleado antes de automatizar con el método después de la automatización. El diseño final y las conclusiones también son abordadas en el capítulo 5.

Capítulo 2

Automatización

Automatización Industrial (automatización; del griego antiguo: guiado por uno mismo) es el uso de sistemas o elementos computarizados para controlar maquinarias y/o procesos industriales substituyendo a operadores humanos.

Merriam Webster sugiere una interesante definición de automatización: “método de controlar automáticamente la operación de un aparato-artefacto, proceso o sistema integrado por diversos componentes a través de medios mecatrónicos-electrónicos y computacionales que sustituyen los órganos sensitivos y la capacidad de decisión del ser humano”. Una forma de explicarlo gráficamente se encuentra representada en la figura 2.1 [16].

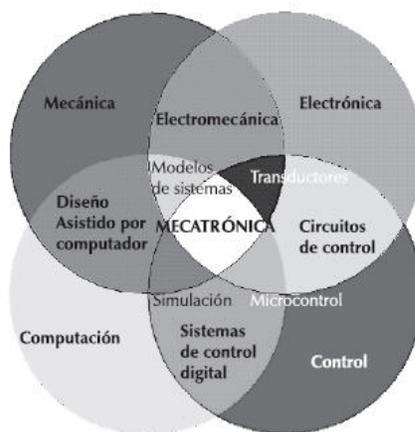


Figura 2.1: Automatización: Una convergencia de tecnologías.

El término automatización también se ha utilizado para describir sistemas no destinados a la fabricación en los que los dispositivos programados o automáticos pueden funcionar de forma independiente o semi-independiente del control humano.

El alcance de la automatización va más allá que la simple mecanización de los procesos ya que ésta provee a operadores humanos, mecanismos para asistirlos en los esfuerzos físicos del trabajo, la automatización reduce ampliamente la necesidad sensorial y mental del humano. La automatización como una disciplina de la ingeniería es más amplia que un mero sistema de control, abarca la instrumentación industrial, con 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.

Para una empresa industrial no siempre la mejor decisión tecnológica es la mayor automatización posible. Hay que tener criterio para analizar las condiciones de cada caso y tomar la decisión adecuada. Hay que tener en cuenta que recurrir a las altas tecnologías automatizadas suele suponer una alta inversión inicial, un alto nivel de costos fijos, un alto costo del mantenimiento y cierta disminución de la flexibilidad y agilidad de respuesta, aunque estos dos últimos factores tienden a solucionarse con los sucesivos avances en la tecnología más reciente de la automatización [2].

Sin duda, para producciones en gran escala con una alta repetitividad, las ventajas de la automatización superan con creces a sus inconvenientes, pues permite lograr:

- Una productividad de la mano de obra mucho mayor.
- Una calidad superior, y sobre todo, consistente.
- Un ciclo de fabricación más corto.
- Un notable incremento de la capacidad de producción.
- Una significativa reducción de los inventarios, que no solo significa reducción del capital inmovilizado sino también, y sobre todo, un acrecentamiento de la rapidez de respuesta a los cambios de la demanda.
- Una simplificación de la gestión de materiales y productos.

En una planta industrial tradicional no se deben implantar tecnologías avanzadas de automatización sin algunas actuaciones previas que preparen al ambiente y a los hombres para el cambio:

- Simplificar la tecnología del proceso.
- Repasar la secuencia de operaciones y eliminar todo lo eliminable.

- Agilizar el cambio de herramientas.
- Iniciar la preautomatización: intercambiadores automáticos de herramientas, ciclo de arranque y parada, dispositivos neumáticos de sujeción, etc.

La automatización de una empresa industrial puede darse en tres ámbitos relacionados [17]:

- La automatización de la planta productiva.
- La automatización de la planificación y el control de la producción.
- La automatización de la ingeniería.

La automatización de la planta productiva

La automatización de la planta productiva cuenta hoy con muchos elementos ya desarrollados y puestos a punto en su tecnología básica, que permiten encarar su ejecución, si bien es de hacer notar que deben ser adaptados a los requerimientos de cada caso en particular:

- Los robots industriales.
- Las máquinas herramientas de control numérico (NC) para módulos o células de fabricación.
- Las máquinas herramientas de control numérico computerizado (CNC) organizadas en estaciones o centros de trabajo.
- Los sistemas automatizados para el manejo de los materiales: vehículos guiados por computadora, sistemas automáticos de almacenamiento y manejo de materiales.
- Los sistemas flexibles de fabricación, en general compuestos por varias estaciones de trabajo informatizadas, con sistemas automáticos de manejo de materiales y con control computerizado central. Según los casos, reciben los nombre de módulos, células, sistemas, líneas o grupos flexibles de fabricación. Es de hacer notar que estos sistemas tienen gran difusión en la fabricación de componentes y muy pocos se usan en operaciones de ensamblado y montaje.

La automatización de la planificación y el control de la producción

La automatización de la planificación y el control de la producción se refiere al uso de sistemas informatizados como el MRP II (Manufacturing Resource Planning) que sobre una base de datos unificada, planifica y da los resultados para todo el proceso de producción.

Más allá de esos usos sectorizados, aparece la posibilidad de una Automatización Integrada de la Fabricación (CIM), que basada el Justo a Tiempo, el Diseño de los Productos para su Fabricabilidad, el Despliegue de la Función Calidad, etc., combinando la ingeniería automatizada de diseño, con la gestión

automatizada de las operaciones, la fabricación asistida por ordenador, un sistema inteligente de almacenes y sistemas de información y comunicación, incluso con la intervención de sistemas expertos para la toma de decisiones y dispositivos de inteligencia artificial (procesadores de lengua natural, control de robots y visión automática) para configurar una fábrica manejada por un puñado de expertos, vacía de trabajadores, es una concepción entre futurista y de ciencia ficción, pero también abominable en sus proyecciones sociales.

En las empresas de servicios, la automatización presenta dificultades especiales, porque generalmente los servicios involucran más actividades diversas y no repetitivas, están menos estandarizadas y más expuestas a cambios por la interacción cliente proveedor. Sin embargo es posible realizar algunas aplicaciones de automatización en ellas, a partir de concebir al diseño de un servicio como una secuencia específica de acciones que generan un resultado (el servicio). Esta secuencia puede representarse como un diagrama de flujo con especificaciones.

Fabricación integrada por computador (CIM)

La fabricación integrada por computador conocida como CIM (Computer Integrated Manufacturing) que forma parte en general de la estrategia de una empresa industrial que integran en mayor o menor medida, mediante la utilización adecuada de los computadores, todas las áreas de la empresa:

- Órdenes de entrada.
- Control de inventarios.
- Planificación de necesidades de materiales.
- Diseño del producto del proceso.
- Simulación.
- Planificación de la fabricación.
- Automatización de la producción.
- Control de calidad.
- Ensamblado automático.
- Control de ventas.

La automatización de la ingeniería

La automatización de la ingeniería se refiere a todas las posibilidades de aplicación de la informática a las tareas de la ingeniería:

- El diseño asistido por computador (CAD).
- La ingeniería asistida por computador (CAE).
- La ingeniería automatizada de fabricación, o sistema de fabricación asistida por computador (CAM).

2.1. Diseño asistido por computador (CAD)

El diseño asistido por computador (CAD) es un conjunto de técnicas que utilizan el computador con el objetivo de generar la información necesaria para fabricar un producto a partir de las especificaciones de sus características de funcionamiento. Su aplicación depende del área tecnológica, pero su importancia es cada vez mas grande en todas ellas, y en algunas, como por ejemplo la Microelectrónica, resulta imprescindible debido a la imposibilidad de implementar un prototipo. La actividad básica del diseño asistido por computador es la descripción del sistema que implica la creación de lenguajes normalizados para facilitar su utilización por los técnicos.

Mediante el CAD se logra:

- Mejorar la calidad de los productos, por que permite desarrollar alternativas y solventar los problemas en las etapas iniciales del proceso de diseño.
- Reducir el tiempo de diseño, lo cual disminuye el coste y el tiempo que se tarda en lanzar un producto.
- Reducir los costes de fabricación, por que facilita los cambios y se puede en algunos casos combinar con la tecnología de grupos.
- Mejora la gestión de las bases de datos.
- Facilitar la capacidad de reutilización de los diseños.

Un ejemplo típico del diseño asistido por computador es el desarrollo del programa de control de un automata programable, llevado a cabo mediante una unidad de programación, que es un computador que permite editar el programa [7].

2.2. Simulación e ingeniería asistidas por computador (CAE)

La simulación por computador consiste en utilizar la descripción del sistema como entrada de un programa de computador que hace que este ultimo se comporte igual que él. Se considera que es una actividad que forma parte al mismo tiempo del diseño y de la ingeniería asistida por computador y permite llevar a cabo las pruebas necesarias para garantizar el correcto funcionamiento de un producto sin necesidad de implementar un prototipo. Para generalizar es necesario normalizar la forma de describir los sistemas.

La ingeniería asistida por computador (CAE) es el conjunto de técnicas que utiliza el computador para analizar el resultado de un diseño, facilitar al máximo la fabricación y optimizar las prestaciones y los costes totales del producto final. Utiliza, entre otras, la información de la base de datos generada por un programa de diseño asistido por computador para analizar las características funcionales del sistema objeto de diseño, simular su comportamiento y proporcionar la información que necesita el sistema de fabricación.

2.3. Fabricación asistida por computador (CAM)

La fabricación asistida por computador (CAM) consiste en un conjunto de técnicas que tienen como objetivo elevar la productividad de los procesos de fabricación mediante la sustitución de las manos del ser humano por sistemas físicos que combinan la tecnología electrónica con otras como la teoría de control, la mecánica, las maquinas eléctricas, la neumática, la hidráulica, etc., cuyo conjunto suele conocerse bajo la denominación de Automatización de la Producción [7].

Se trata por lo tanto, de una técnica multidisciplinar que se caracteriza por que:

- Necesita un conocimiento profundo del proceso productivo.
- Puede ser la mejor solución para elevar la rentabilidad y garantizar la competitividad de una empresa industrial.
- No siempre implica la mayor automatización posible, por que la automatización supone una inversión en activos fijos que, si es elevada, conduce a un considerable incremento de los costes fijos y también puede suponer un aumento de los costes de mantenimiento y una disminución de la flexibilidad de los recursos.

Aunque algunas de las técnicas que forman parte de la fabricación asistida por computador son específicas de cada tipo de producto concreto, existen técnicas comunes a todos los procesos productivos que están basadas en la utilización de los sistemas electrónicos en general y del computador en particular. Las más importantes son:

- Las clases de automatización y sus características.
- La planificación de los productos a fabricas (Tecnología de grupos).
- Los sistemas electrónicos de control.
- Los sistemas de manipulación de elementos.
- Los sistemas de fabricación flexible.

2.3.1. Clases de automatización y sus características

Se suele definir la automatización como la aplicación de la tecnología para llevar a cabo procesos que se autocomprueban y se autocorrijen. Es, por lo tanto, una combinación de la Tecnología Mecánica, la Tecnología Eléctrica, la Teoría de Control, la Electrónica y los Computadores para controlar los sistemas de producción como se había mencionado anteriormente [18].

En relación con el control de los procesos de fabricación, la automatización se puede clasificar en tres grandes clases:

- Automatización fija
- Automatización programable
- Automatización flexible

2.3.1.1. Automatización fija

Se entiende por automatización fija un sistema de fabricación en el que la secuencia de las operaciones esta fijada por la configuración de los equipos que lo forman. Es aquella asociada al empleo de sistemas lógicos tales como: los sistemas de relevadores y compuertas lógicas

Se caracteriza por que:

- Esta constituida por una secuencia sencilla de operaciones.
- Necesita una inversión elevada en equipos especializados.
- Posee elevados ritmos de producción.
- Es muy inflexible, en general, para acomodarse a los cambios de los productos.

La automatización fija se justifica económicamente tanto en los procesos de producción continuos como en los discretos. En la figura 2.2 estan dos ejemplos.

En los procesos discretos conocidos como procesos de fabricación, la automatización fija se inició a principios del siglo XX, y un ejemplo de ello son las líneas de montaje mecanizado formadas por un conjunto de puestos de trabajo operados manualmente y enlazados por una cinta transportadora. En la actualidad ha sido sustituida por la automatización flexible.

Un inconveniente de la automatización fija es su ciclo de vida que va de acuerdo a la vigencia del producto en el mercado [7].

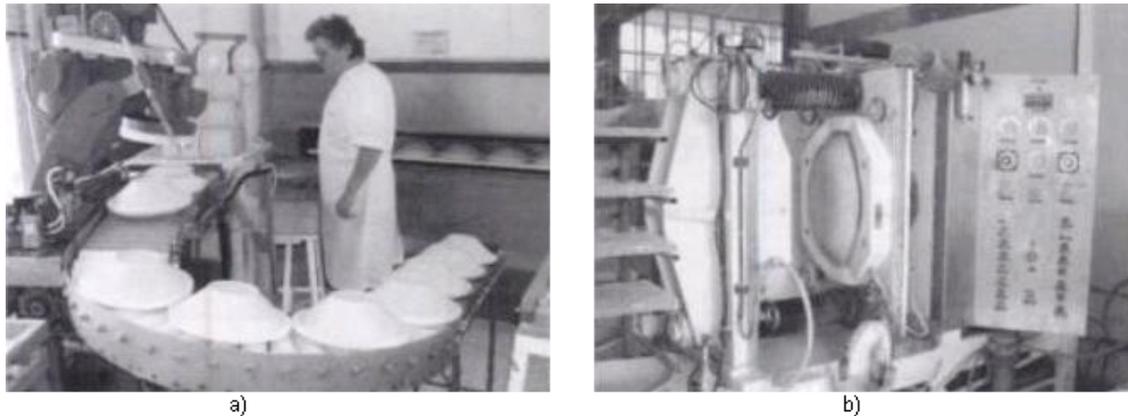


Figura 2.2: Ejemplos de automatización fija: a) Máquina de fabricación de platos; b) Máquina de colado a presión

2.3.1.2. Automatización programable

La automatización programable se identifica con los sistemas de fabricación en los que el equipo de producción está diseñado para ser capaz de cambiar la secuencia de operaciones a fin de adaptarse a la fabricación de productos diferentes. La secuencia de producción se controla mediante un programa, que es un conjunto de instrucciones que se pueden cambiar para fabricar un nuevo producto [19].

Se inició con las máquinas-herramienta con el control numérico, conocidas por las siglas NC (Numerical Control), ver la figura 2.3, cuyo primer prototipo se realizó en 1952, y los robots industriales se caracteriza por:

- Una gran inversión en equipos de aplicación general, como por ejemplo sistemas de control numérico.
- La necesidad de cambiar el programa y la disposición física de los elementos de las máquinas para cada lote de productos distintos.
- La existencia de un periodo de preparación previo a la fabricación de cada lote de productos distintos.

La automatización programable por lo tanto es adecuada para la fabricación por lotes y no proporciona suficiente flexibilidad para realizar cambios en la configuración del producto.

2.3.1.3. Automatización flexible

La automatización flexible es más adecuada para un rango de producción medio ya que permite fabricar una mayor variedad de productos en series más cortas, es una extensión de la automatización programable que da como resultado sistemas de fabricación en los que no solo se pueden cambiar los programas sino que además se puede cambiar la relación entre los diferentes elementos que lo constituyen.



Figura 2.3: Ejemplo de automatización programable: Máquina Fresadora controlada por control numérico

La automatización flexible se encuentra entre automatización fija y automatización programable. Otros términos utilizados para la automatización flexible incluyen los sistemas de fabricación flexibles (FMS) y los sistemas de fabricación integrados por computadora. El concepto de automatización flexible sólo se desarrolló en la práctica en los últimos quince o veinte años. Tal como se indica por su posición relativa con los otros dos tipos, los sistemas flexibles tienen algunas de las características de la automatización fija y de la automatización programable.

Por su parte, un sistema de fabricación flexible es un sistema automatizado para la fabricación de familias de piezas en lotes de tamaño intermedio, y que está formado por un conjunto de máquinas programables integradas dentro de un sistema de control y manutención por ordenador. Los sistemas automatizados flexibles suelen estar constituidos por una serie de estaciones de trabajo que están interconectadas por un sistema de almacenamiento y manipulación de materiales. Una computadora central se utiliza para controlar las diversas actividades que se producen en el sistema, encaminando las diversas piezas a las estaciones adecuadas y controlando las operaciones programadas en las diferentes estaciones [7].

2.3.2. La planificación de los productos a fabricas (Tecnología de grupos)

La importancia de responder a la creciente necesidad de variar frecuentemente los sistemas productivos para fabricar nuevos productos, como consecuencia de la rápida obsolescencia de los mismos, a dado lugar a nuevos conceptos de sistemas de fabricación que permiten extender a series pequeñas las ventajas de fabricación de las grandes series.

En el trabajo por lotes normalmente las máquinas se agrupan por especialidades, por ejemplo en un taller las fresadoras están en una sección, los tornos en otra, etc. Esto obliga a mover las piezas de un sitio a otro del taller. Si se clasifican y agrupan las piezas de forma que las características de las distintas piezas

de un grupo sean similares, se podrán agrupar también las máquinas en unidades de producción a donde se lleven las piezas en bruto y salgan completamente terminadas. Esta técnica se denomina Tecnología de Grupos (TG), y va acompañada de implicaciones en el proceso de diseño y de información.

La Tecnología de Grupos consiste esencialmente en:

- Agrupar en familias a las piezas similares en su proceso de fabricación.
- Buscar simplificaciones y economías de diseño y proceso.
- Agrupar a las máquinas y equipos en células, donde puedan elaborarse las diferentes piezas con ajustes menores en los herramientas.
- La incorporación de los cambios de diseño a los procesos de fabricación.

En estos casos, para volúmenes relativamente bajos de producción, conviene usar implantaciones de líneas cortas, con pocas máquinas en cada una, con ciclo de producción en automático, y manejadas por un operario adecuado. [20].

2.3.3. Los sistemas electrónicos de control

El aumento de la complejidad de los sistemas productivos mecánicos y eléctricos, así como de los procesos químicos durante la primera mitad del siglo XX, generó la necesidad de automatizarlos mediante sistemas electrónicos programables cuyo comportamiento pudiese adaptarse fácilmente a las características cambiantes de aquéllos. Esto dio lugar a la invención y posterior desarrollo de los siguientes tipos de sistemas electrónicos de control:

- Sistemas de control numérico.
- Autómatas programables.
- Computadoras industriales.
- Sistemas electrónicos de control de procesos continuos.
- Sistemas CAD-CAM.

2.3.3.1. Sistemas de control numérico

Se considera Control Numérico por Computador, también llamado CNC (en inglés Computer Numerical Control) a todo dispositivo capaz de dirigir el posicionamiento de un órgano mecánico móvil mediante órdenes elaboradas de forma totalmente automática a partir de informaciones numéricas en tiempo real. Para maquinar una pieza se usa un sistema de coordenadas que especificarán el movimiento de la herramienta de corte.

El control numérico es un ejemplo de automatización programable. Se diseñó para adaptar las variaciones en la configuración de los productos. Su principal aplicación se centra en volúmenes de producción bajos y medios [3].

El control numérico es un programa o sistema que aplicado a una máquina-herramienta automatiza y controla todas las acciones de la misma. Entre las operaciones de maquinado que se pueden realizar en una máquina herramienta CNC (MHNC) se encuentran las de torneado y de fresado. Sobre la base de esta combinación es posible generar la mayoría de las piezas de la industria, se relaciona con la fabricación de las partes metálicas.

Las máquinas herramienta de control numérico configuran una tecnología de fabricación que de la mano de la microelectrónica, la automática y la informática industrial ha experimentado en los últimos años un desarrollo acelerado y una plena incorporación a los procesos productivos, desplazando progresivamente a las máquinas convencionales, su capacidad de trabajo automático y de integración de los distintos equipos entre sí y con los sistemas de control, planificación y gestión de formación, hacen del control numérico (CN) la base de apoyo a unas tecnologías de fabricación: la fabricación flexible y el CIM, fabricación integrado por computadora [22].

Principio de funcionamiento

El sistema se basa en el control de los movimientos de la herramienta de trabajo con relación a los ejes de coordenadas de la máquina, usando un programa informático ejecutado por un ordenador.

En el caso de un torno como el de la figura 2.4, hace falta controlar los movimientos de la herramienta en dos ejes de coordenadas: el eje de las X para los desplazamientos laterales del carro y el eje Z para los desplazamientos transversales de la torre.

En el caso de las fresadoras como en la figura 2.5, se controlan los desplazamientos verticales, que corresponden al eje Z, los movimientos transversales a la máquina que componen al eje Y y el movimiento longitudinal a la máquina que corresponde el eje X. Para ello se incorporan motores eléctricos en los mecanismos de desplazamiento del carro y la torreta, en el caso de los tornos, y en la mesa en el caso de la fresadora; dependiendo de la capacidad de la máquina, esto puede no ser limitado únicamente a tres ejes.

El programa de mecanizado comprende todo el conjunto de datos que el control necesita para la mecanización de la pieza.

Al conjunto de informaciones que corresponde a una misma fase del mecanizado se le denomina bloque o

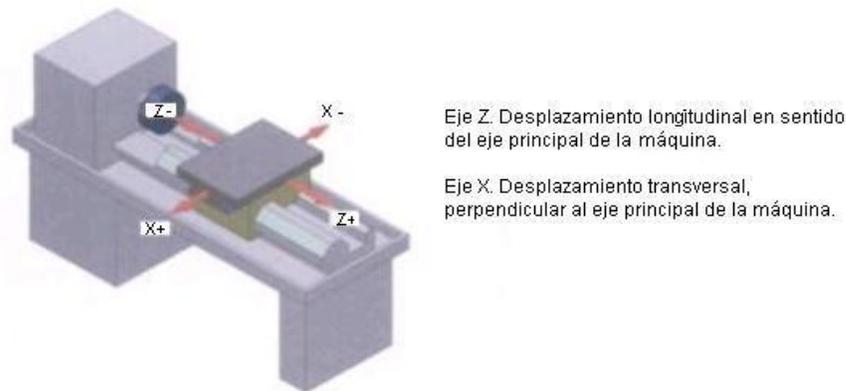


Figura 2.4: Desplazamientos-Eje de un torno

secuencia, que se numeran para facilitar su búsqueda. Este conjunto de informaciones es interpretado por el intérprete de órdenes. Una secuencia o bloque de programa debe contener todas las funciones geométricas, funciones máquina y funciones tecnológicas del mecanizado. De tal modo, un bloque de programa consta de varias instrucciones [3].

El comienzo del control numérico ha estado caracterizado por un desarrollo anárquico de los códigos de programación. Cada constructor utilizaba el suyo particular. Posteriormente, se vio la necesidad de normalizar los códigos de programación como condición indispensable para que un mismo programa pudiera servir para diversas máquinas con tal de que fuesen del mismo tipo. Los caracteres más usados comúnmente, regidos bajo la norma DIN 66024 y 66025 son, entre otros, los siguientes:

N: es la dirección correspondiente al número de bloque o secuencia. Esta dirección va seguida normalmente de un número de tres o cuatro cifras. En el caso del formato N03, el número máximo de bloques que pueden programarse es 1000 (N999 ó N000).

X, Y, Z: son las direcciones correspondientes a las cotas según los ejes X, Y, Z de la máquina herramienta (Y planos cartesianos). Dichas cotas se pueden programar en forma absoluta o relativa, es decir, con respecto al cero pieza o con respecto a la última cota respectivamente.

G: es la dirección correspondiente a las funciones preparatorias. Se utilizan para informar al control de las características de las funciones de mecanizado, como por ejemplo, forma de la trayectoria, tipo de corrección de herramienta, parada temporizada, ciclos automáticos, programación absoluta y relativa, etc. La función G va seguida de un número de dos cifras que permite programar hasta 100 funciones preparatorias diferentes (G00).

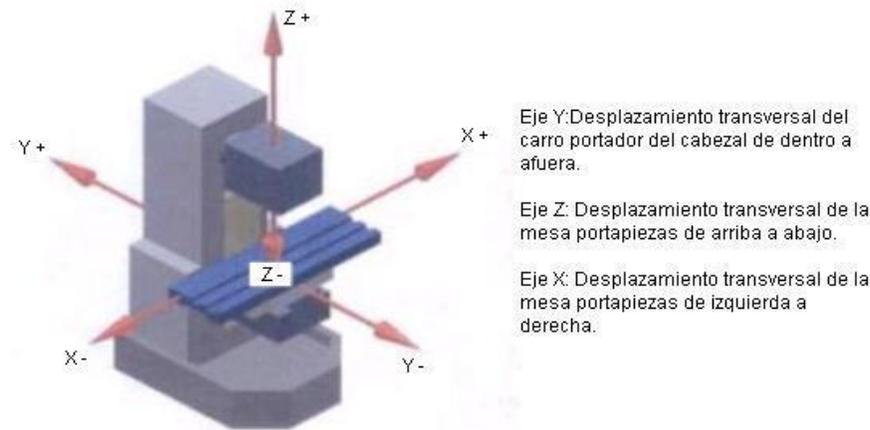


Figura 2.5: Desplazamientos-Eje de una fresadora

M: es la dirección correspondiente a las funciones auxiliares o complementarias. Se usan para indicar a la máquina herramienta que se deben realizar operaciones tales como parada programada, rotación del husillo a derechas o a izquierdas, cambio de útil, etc. La dirección m va seguida de un número de dos cifras que permite programar hasta 100 funciones auxiliares diferentes.

F: es la dirección correspondiente a la velocidad de avance. Va seguida de un número de cuatro cifras que indica la velocidad de avance en mm/min.

S es la dirección correspondiente a la velocidad de rotación del husillo principal. Se programa directamente en revoluciones por minuto, usando cuatro dígitos.

I, J, K son direcciones utilizadas para programar arcos de circunferencia. Cuando la interpolación se realiza en el plano X-Y, se utilizan las direcciones I y J. Análogamente, en el plano X-Z, se utilizan las direcciones I y K, y en el plano Y-Z, las direcciones J y K.

T es la dirección correspondiente al número de herramienta. Va seguido de un número de cuatro cifras en el cual los dos primeros indican el número de herramienta y los dos últimos el número de corrección de las mismas [21].

Ventajas de la utilización de sistemas CNC [3]

Los sistemas CNC poseen entre otras las siguientes ventajas:

- Mejora de la precisión, así como un aumento en la calidad de los productos.

- Una mejor uniformidad en la producción.
- Posibilidad de utilización de varias máquinas simultáneamente por un solo operario.
- Mecanización de productos de geometría complicada.
- Fácil intercambio de la producción en intervalos cortos.
- Posibilidad de servir pedidos urgentes.
- Reducción de la fatiga del operario.
- Posibilidad de simulación de los procesos de corte antes de la mecanización definitiva lo que ahorra en piezas defectuosas.

Desventajas de la utilización de sistemas CNC [3]

Entre otras se pueden citar las siguientes desventajas:

- Elevado costo de accesorios y maquinaria.
- Necesidad de cálculos, programación y preparación de forma correcta para un eficiente funcionamiento.
- Costos de mantenimiento mas elevados, ya que el sistema de control y mantenimiento de los mismos es complicado.
- Necesidad de mantener grandes volúmenes de pedidos para una mejor amortización del sistema.

Conocimientos para operar los sistemas CNC

Los operarios de sistemas CNC necesitan disponer de los siguientes conocimientos y habilidades:

- Conocimientos en geometría, álgebra y trigonometría.
- Conocimiento de elección y diseño de las diferentes herramientas de corte.
- Uso de aparatos de medida y conocimientos de metrología.
- Interpretación de planos.
- Conocimientos de la estructura de la máquina CNC.
- Conocimientos de los diferentes procesos de mecanización.
- Conocimientos de la programación CNC.
- Conocimientos de mantenimiento y operación CNC.

Máquina herramienta convencional	Maquina herramienta CNC
Un operario, puede manejar una sola máquina.	Un operario puede operar varias máquinas.
Es necesario consultar constantemente el plano.	No es necesario consultar apenas el plano.
Se necesita una amplia experiencia.	No es necesario una amplia experiencia.
El operador tiene el control de los movimientos.	El programa tiene todo el control.
Mecanizados imposibles de realizar.	Posibilidad de realizar casi cualquier mecanizado.

Cuadro 2.1: Comparación de utilización entre maquinas convencionales y CNC

- Conocimientos generales de ordenadores.
- Conocimientos de parámetros y condiciones de corte.

Comparación entre maquinas convencionales y CNC

En la tabla 2.1 se hace una comparación de utilización entre los dos sistemas de mecanizado, maquinas convencionales y sistemas de CNC [22].

2.3.3.2. Autómatas programables

En electrónica un autómatas es un sistema secuencial, aunque en ocasiones la palabra es utilizada también para referirse a un robot. Un autómatas programable industrial (API) o Programable logic controller (PLC), es un equipo electrónico, programable en lenguaje no informático, diseñado para controlar en tiempo real y en ambiente de tipo industrial, procesos secuenciales.

Un PLC trabaja en base a la información recibida por los captadores y el programa lógico interno, actuando sobre los accionadores de la instalación. Sus reducidas dimensiones, 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.

Los PLC's son los dispositivos mas utilizados en las industrias hoy en día debido a sus características tan flexibles, siendo la tecnología que ha remplazado en un vasto espacio los demás sistemas electrónicos de control.

Ya que las aplicaciones son normalmente hechas a la medida del sistema, por lo que el costo del PLC es bajo comparado con el costo de la contratación del diseñador para un diseño específico que solo se va a usar una sola vez, debido a que los volúmenes son pequeños y el desarrollo no sería económico, además de que tiene una interfaz de programación usual, y el programa en si mismo es posible de adaptar a necesidades que se puedan tener en un futuro sin mas complicaciones. Por otro lado, en caso de productos de alta producción, los sistemas de control a medida se amortizan por si solos rápidamente debido al ahorro en los componentes, lo que provoca que pueda ser una buena elección en vez de una solución mas compleja. En el siguiente capítulo se explicarán mas afondo los PLC's.

2.3.3.3. Computadoras industriales

Los computadores industriales no son más que automatismos programados. Se puede decir entonces que la aplicación de los computadores industriales esta vinculados a la automatización y el control. Aunque en comparación con otros computadores este tiene diferentes requerimientos en cuanto a potencia de cálculo, robustez en el comportamiento, fiabilidad, resistencia a condiciones de operación en ambientes abrasivos, corrosivos, etc. [7].

Computador industrial y autómeta programable

Es un sistema de control que nace cuando se desarrollan programas informáticos conocidos bajo la denominación SCADA (Supervisory Control And Data Adquisition) que se pueden ejecutar en computadoras industriales. Ejemplos de paquetes informáticos SCADA son "InTouch" de Wonderware. "RSView" de Rockwell, "iFix Family" de Intellution. "Factory Link" de US Data y "WinCC" de Siemens.

Los programas SCADA permiten, conectando el computador a uno o varios equipos de automatización con los cuales se intercomunica, llevar a acabo tareas avanzadas de gestión (como por ejemplo la monitorización, supervisión, control estadístico y mantenimiento del proceso, la trazabilidad de la producción, etc.) que son, cada vez en mayor medida, imprescindibles en los procesos productivos modernos y forman parte del nivel de fábrica o del nivel de empresa en la pirámide CIM.

Este sistema de control y gestión, fruto de la integración de los autómetas programables con los computadores industriales, se conoce popularmente con el nombre de arquitectura "PC-PLC".

La aplicación del computador industrial en sectores tecnológicamente avanzados (como el aeroespacial, robótica, visión artificial, universitario, etc.) motivó el desarrollo de un sistema operativo en tiempo real,

que es un sistema de control, que consiste en utilizar el propio computador industrial como equipo en el que se implantan, simultáneamente, el control en tiempo real y la gestión de los procesos de fabricación.

2.3.3.4. Sistemas electrónicos de control de procesos continuos

Los procesos continuos son aquellos cuyo producto final, en lugar de estar formado por un conjunto de elementos separados, está constituido por un material que fluye de forma continua (productos químicos en fase fluida, mezclas de sólidos, etc). Este tipo de procesos se caracterizan por que en ellos es necesario controlar elementos (como por ejemplo electroválvulas proporcionales, motores, etc.) mediante variables analógicas. Por lo tanto, los sistemas electrónicos de control de procesos continuos deber recibir señales a partir de sensores de medida y generar variables analógicas que controlan los diferentes actuadores en proceso.

Los primeros sistemas de control de procesos continuos se realizaron con procesadores analógicos formados por amplificadores operacionales adecuadamente realimentados. En la figura 4.1 se representa, como ejemplo, el diagrama de bloques de un sistema electromecánico analógico de control de velocidad que utiliza una generatriz tacométrica.

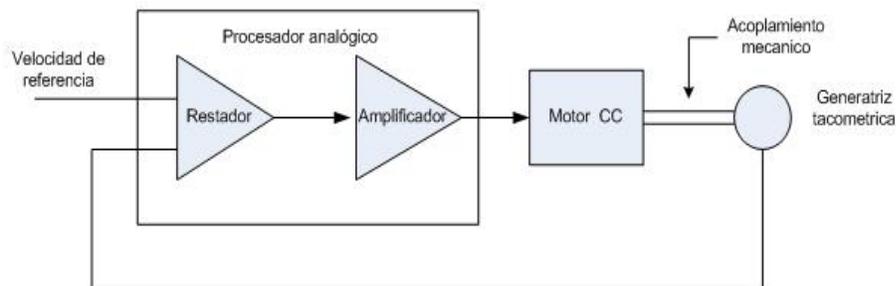


Figura 2.6: Diagrama de bloques de un sistema electrónico analógico de control de velocidad que utiliza como sensor una generatriz tacométrica

En la década de 1960 se inició la aplicación de los procesadores digitales al control de procesos continuos, pero su elevado coste, por estar realizados con componentes electrónicos discretos, restringió su campo de aplicación a aquellas instalaciones de gran complejidad cuyo coste era muy superior al del procesador. La comercialización de los microprocesadores primero y de los microcontroladores posteriormente, provocó una drástica disminución del costo y una elevación de la capacidad de los procesadores digitales, e hizo que sustituyesen paulatinamente a los procesadores analógicos en numerosas aplicaciones.

En la actualidad, prácticamente todos los sistemas electrónicos de control de procesos continuos se realizan mediante procesadores digitales. En los procesos continuos sencillos, en los que el número de variables a medir y controlar es reducido, se utilizan generalmente equipos basados en microcontroladores, que son computadores en lo que la unidad central de proceso, la memoria volátil y no volátil así como diversas unidades de interfaz están incluidas en un único circuito integrado. Un ejemplo típico de regulador de procesos continuos sencillos es el regulador PID de la familia SIPART DR de Siemens como en la figura 2.7.



Figura 2.7: Reguladores PID

2.3.3.5. Sistemas CAD-CAM.

Suelen recibir esta denominación los sistemas electrónicos que ejecutan un conjunto de programas que automatizan y simplifican las tareas de diseño, simulación y fabricación asistidas por computador.

Las principales funciones de un sistema CAD/CAM son:

- El diseño (eléctrico, mecánico, electrónico, de programas de control, etc.) asistido por computador.
- La simulación asistida por computador.
- La programación de sistemas de control numérico.
- La programación de robots.
- La planificación del proceso productivo.

Un sistema CAD/CAM es, por lo tanto, un computador que posee los recursos físicos (Hardware) y las herramientas de diseño y fabricación (Software) adecuadas para realizar las tareas antes indicadas. Suele

formar parte del nivel de fabrica de la pirámide CIM (acrónimo de Computer Integrated Manufacturing).

Las características de los sistemas CAD/CAM son aprovechadas por los diseñadores, ingenieros y fabricantes para adaptarlas a las necesidades específicas de sus situaciones. Por ejemplo, un diseñador puede utilizar el sistema para crear rápidamente un primer prototipo y analizar la viabilidad de un producto, mientras que un fabricante quizá emplee el sistema porque es el único modo de poder fabricar con precisión un componente complejo. La gama de prestaciones que se ofrecen a los usuarios de CAD/CAM está en constante expansión. Los fabricantes de indumentaria pueden diseñar el patrón de una prenda en un sistema CAD, patrón que se sitúa de forma automática sobre la tela para reducir al máximo el derroche de material al ser cortado con una sierra o un láser CNC. Además de la información de CAD que describe el contorno de un componente de ingeniería, es posible elegir el material más adecuado para su fabricación en la base de datos informática, y emplear una variedad de máquinas CNC combinadas para producirlo. La Fabricación Integrada por Computadora (CIM) aprovecha plenamente el potencial de esta tecnología al combinar una amplia gama de actividades asistidas por ordenador, que pueden incluir el control de existencias, el cálculo de costes de materiales y el control total de cada proceso de producción. Esto ofrece una mayor flexibilidad al fabricante, permitiendo a la empresa responder con mayor agilidad a las demandas del mercado y al desarrollo de nuevos productos [24].

2.3.4. Los sistemas de manipulación de elementos

Reciben esta denominación los sistemas electromecánicos capaces de transportar elementos que constituyen productos o subproductos de un proceso de fabricación.

Son sistemas que tienen una estructura mecánica fija que da lugar a un número reducido de trayectorias. Las máquinas de transferencia (transfer machines) son uno de los ejemplos más característicos y los autómatas programables (PLC) constituyen el tipo de sistema electrónico más utilizado para su control.

2.3.5. Los sistemas de fabricación flexible

Un sistema de fabricación flexible (FMS) consiste en un grupo de máquinas controladas por computadoras y sistemas automáticos de manejo, carga y descarga de material, y de operación directa sobre el material; todo ello, controlado por un computador supervisor. Los elementos de este sistema son muy flexibles y versátiles, lo que permite una fabricación muy variada en el mismo momento.

Los motivos de la aparición de los FMS son varios. En los años 80 el mercado empezó a caracterizarse por una diversificación del producto para adaptarse a las necesidades específicas del cliente, a una mayor calidad de los productos, y a una competencia a nivel mundial. Hoy en día los productos tienen un ciclo de vida corto debido a las constantes incorporaciones de nuevas y sofisticadas tecnologías. La flexibilidad del producto y de los procesos de fabricación es importante en la competitividad de las empresas.

Un FMS es llamado flexible debido a que es capaz de realizar distintas piezas o productos diferentes de forma simultánea en sus estaciones de trabajo. Dependiendo de la demanda es capaz de variar entre diferentes tipos productos y la tasa de producción de los mismos. Un sistema FMS es el más apto para producciones en las que deseemos un compromiso entre variedad de productos y volumen de producción. Ningún sistema de fabricación puede ser completamente flexible, siempre se podrá encontrar alguna restricción. Los productos que se produzcan serán de una familia parecida, variando tamaños, modelos y procesos, siempre dentro de unos límites.

Su funcionamiento es, básicamente, el siguiente: los operarios llevan las materias primas de una familia de artículos hacia las estaciones de carga y descarga de materiales, donde el FMS comienza su actividad, bajo las instrucciones de un ordenador central, los elementos de transporte comienzan a mover los materiales hacia los diferentes centros de trabajo., en cada uno de ellos, los artículos son desplazados de acuerdo con su particular secuencia de operaciones, estando marcada la ruta a seguir por el ordenador central. El objetivo perseguido es la sincronización de las actividades, de forma que se maximice la utilización del sistema. Como las maquinas automáticas pueden ser utilizadas para la ejecución de diversas tareas, es posible cambiar rápidamente sus herramientas, con lo que los tiempos de lanzamiento son muy cortos. Esta flexibilidad posibilita, además, que una operación pueda ser realizada por más de una máquina, dando lugar a la aparición de células virtuales. Gracias a ello, la producción puede continuar aunque algunas máquinas estén paradas por cuestiones de mantenimiento. Cambiando y combinando las rutas a seguir se evitan los embotellamientos.

La flexibilidad en los sistemas de fabricación alcanza múltiples dimensiones. La tabla 2.2 define los diferentes tipos de flexibilidad y los factores de los que dependen cada uno de ellos.

2.4. Realimentación

Un elemento esencial de todos los mecanismos de control automático es el principio de realimentación, que permite al diseñador dotar a una máquina de capacidad de autocorrección. Un ciclo o bucle de realimentación es un dispositivo mecánico, neumático o electrónico que detecta una magnitud física como una temperatura, un tamaño o una velocidad, la compara con la norma establecida, y realiza aquellas acciones preprogramadas necesarias para mantener la cantidad medida dentro de los límites de la norma aceptable.

El principio de realimentación se utiliza desde hace varios siglos. Un notable ejemplo es el regulador de bolas inventado en 1788 por el ingeniero escocés James Watt para controlar la velocidad de la máquina de vapor. El conocido termostato doméstico es otro ejemplo de dispositivo de realimentación.

Tipos de flexibilidad	Definición	Factores de los que depende
Flexibilidad en maquinaria	Facilidad que tiene una máquina dada para adaptarse a un sistema de producción.	* Tiempo de "setup". * Facilidad para reprogramar la máquina. * Herramientas que posee cada máquina. * Control y versatilidad del trabajador en el sistema.
Flexibilidad en Producción	Rango de diferentes productos que pueden ser fabricados por el sistema.	* Flexibilidad maquinaria en estaciones individuales. * Flexibilidad de las estaciones del sistema.
Flexibilidad en la mezcla de piezas	Capacidad para variar el porcentaje de los diferentes productos a fabricar manteniendo la producción final.	* Similitud de productos en la producción total. * Trabajo relativo a las partes producidas. * Flexibilidad en la máquina.
Flexibilidad en Producto	Facilidad con la que se puede introducir modificaciones en los diseños existentes. Facilidad para introducir nuevos productos.	* Preparación del programa de la pieza. * Flexibilidad de la máquina.
Flexibilidad en Enrutado	Capacidad de modificar las secuencias de fabricación debido a roturas o fallos en maquinaria individual.	* Similitud de las partes en la mezcla. * Similitud de las estaciones de trabajo. * Duplicidad de las estaciones de trabajo. * Entrenamiento para los trabajadores * Herramientas comunes.
Flexibilidad en Volumen	Dada una inversión fija la capacidad de producir económicamente dentro de un rango de producción.	* Nivel de trabajo manual existente en la producción. * Cantidad invertida en equipamiento.
Flexibilidad en Expansión	Facilidad con la que un sistema se puede expandir con el fin de obtener un incremento de la producción.	* Coste de añadir estaciones de trabajo. * Facilidad con la que el layout puede ser ampliado. * Tipo de sistema de transporte utilizado. * Facilidad con la que se puede enseñar a los propios trabajadores.

Cuadro 2.2: Tipos de flexibilidad y los factores de los que dependen.

En la fabricación y en la producción, los ciclos de realimentación requieren la determinación de límites aceptables para que el proceso pueda efectuarse; que estas características físicas sean medidas y comparadas con el conjunto de límites, y que el sistema de realimentación sea capaz de corregir el proceso para que los elementos medidos cumplan la norma. Mediante los dispositivos de realimentación las máquinas pueden

ponerse en marcha, pararse, acelerar, disminuir su velocidad, contar, inspeccionar, comprobar, comparar y medir. Estas operaciones suelen aplicarse a una amplia variedad de operaciones de producción [23].

2.5. Ejemplos de automatización en la industria

Muchas industrias están muy automatizadas, o bien utilizan tecnología de automatización en alguna etapa de sus actividades. En comunicaciones, aviación y astronáutica, 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 podrían hacerlo un ser humano, y sobre todo en el sector telefónico, la marcación, la transmisión y la facturación se realizan automáticamente. También los ferrocarriles están controlados por dispositivos de señalización automáticos, que disponen de sensores para detectar los convoyes que atraviesan determinado punto. De esta manera siempre puede mantenerse un control sobre el movimiento y ubicación de los trenes.

No todas las industrias requieren el mismo grado de automatización. La agricultura, las ventas y algunos sectores de servicios son difíciles de automatizar. Es posible que la agricultura llegue a estar más mecanizada, sobre todo en el procesamiento y envasado de productos alimenticios. Sin embargo, en muchos sectores de servicios, como los supermercados, las cajas pueden llegar a automatizarse, pero sigue siendo necesario reponer manualmente los productos en las estanterías.

El concepto de automatización está evolucionando rápidamente, en parte debido a que las técnicas avanzan tanto dentro de una instalación o sector como entre las industrias. Por ejemplo, el sector petroquímico ha desarrollado el método de flujo continuo de producción, posible debido a la naturaleza de las materias primas utilizadas. En una refinería, el petróleo crudo entra en un punto y fluye por los conductores a través de dispositivos de destilación y reacción, a medida que va siendo procesada para obtener productos como la gasolina. Un conjunto de dispositivos controlados automáticamente, dirigidos por microprocesadores y controlados por una computadora central, controla las válvulas, calderas y demás equipos, regulando así el flujo y las velocidades de reacción.

Por otra parte, en la industria metalúrgica, de bebidas y de alimentos envasados, algunos productos se elaboran por lotes. Por ejemplo, se carga un horno de acero con los ingredientes necesarios, se calienta y se produce un lote de lingotes de acero. En esta fase, el contenido de automatización es mínimo. Sin embargo, a continuación los lingotes pueden procesarse automáticamente como láminas o dándoles determinadas formas estructurales mediante una serie de rodillos hasta alcanzar la configuración deseada.

Cada una de estas industrias utilizan máquinas automatizadas en la totalidad o en parte de sus procesos de fabricación. Como resultado, cada sector tiene un concepto de automatización adaptado a sus necesidades específicas. En casi todas las fases del comercio pueden hallarse más ejemplos. La propagación

de la automatización y su influencia sobre la vida cotidiana constituye la base de la preocupación expresada por muchos acerca de las consecuencias de la automatización sobre la sociedad y el individuo [23].

2.6. Ventajas y desventajas de la automatización industrial

En general, la automatización industrial pretende incrementar la competitividad de la industria ya que esta involucra ciertas ventajas, las cuales habrá que comparar, junto con las desventajas, a la hora de decidir si resulta conveniente hacer el proceso de modernización [25].

Ventajas

1. Aumento de la productividad: incremento de la cantidad de producto por unidad de tiempo
2. Reducción de costos laborales: Disminución de los costos de producción, especialmente los asociados a la mano de obra.
3. Mejor calidad del producto.
4. Estabilización de las características de producto dentro de las especificaciones requeridas por los clientes.
5. Reducción de costos por reprocesamiento de productos rechazados por el departamento de control de calidad.
6. Reducción de costos por consumo de energía: Los sistemas pueden incluir un programa de minimización del consumo de energético.
7. Aumento de la seguridad laboral: las maquinas automatizadas pueden realizar aquellas labores que por su naturaleza riesgosa, ponen en peligro la salud de los trabajadores.
8. Dignificación del trabajo humano: al sustituir al operador humano por una máquina, éste queda disponible para otras actividades en donde ponga en juego un mayor conjunto de sus posibilidades como ser humano y no con tareas repetitivas o aburridas.
9. Flexibilidad de producción: Un sistema automatizado puede reducir apreciablemente los tiempos que se consumen al elaborar una amplia gama de productos.
10. Integración: Los nuevos equipos y dispositivos empleados en la automatización industrial permiten su interconexión en redes de comunicación de datos. Inclusive mediante la conexión a Internet, se puede tener acceso remoto a la planta y detectar su estado actual, nivel de producción, cuales máquinas están en actividad o paradas, etc.

Desventajas

1. Resistencia al cambio: Los operadores de planta e incluso los gerentes, a menudo ven los procesos basados en una mayor automatización, con un cierto rechazo inicial. Este puede conducir incluso a la vuelta del antiguo sistema.
2. Falta de conocimientos: Resulta difícil mantenerse al día con las innovaciones de la automatización moderna. Como consecuencia, muchas veces no se está al tanto de los últimos desarrollos y de las posibilidades y ventajas que estos puedan aportar a los procesos productivos.
3. Inversión inicial elevada: Dada su sofisticación, los equipos y maquinarias automatizadas suelen tener un costo mayor, lo cual, a veces puede hacer injustificable un proceso de automatización.
4. Ausencia de personal capacitado o que pueda ser entrenado satisfactoriamente en estas tecnologías.
5. Dependencia tecnológica: Al ser más sofisticada la maquinaria, el productor puede verse obligado a mantener contratos exclusivos de mantenimiento con el proveedor de la tecnología.
6. Obsolescencia: La tecnología vive dentro de un rápido y constante proceso de innovación y mejoramiento.
7. Limitaciones de las máquinas frente al operador: A pesar de todos los desarrollos tecnológicos, aún persisten áreas en donde el hombre supera ampliamente a la máquina. Por ejemplo, el ser humano aprende mucho mejor de la experiencia, es capaz de tomar decisiones acertadas, incluso sin contar con la totalidad de la información.
8. Imposibilidad de automatizar debido a la ausencia de detectores adecuados para la aplicación, como por ejemplo la detección crítica de los olores y sabores, acabado final de piezas artesanales, estado de suciedad del producto, etc.

Capítulo 3

Instrumentación Industrial

La instrumentación industrial es el grupo de elementos que sirven para medir, controlar o registrar variables de un proceso con el fin de optimizar los recursos utilizados en éste.

En otras palabras, con la instrumentación vemos lo que está sucediendo en determinado proceso, lo cual servirá para determinar si el mismo va encaminado hacia donde deseamos, y de no ser así, podremos usar la instrumentación para actuar sobre algunos parámetros del sistema y proceder de forma correctiva.

La instrumentación es lo que ha permitido el gran avance tecnológico de la ciencia actual en casos tales como: los viajes espaciales, la automatización de los procesos industriales y muchos otros de los aspectos de nuestro mundo moderno; ya que la automatización es solo posible a través de elementos que puedan sentir lo que sucede en el ambiente, para luego tomar una acción de control pre-programada que actúe sobre el sistema para obtener el resultado previsto.

3.1. Los sensores, transductores y transmisores

Los sensores, transductores y transmisores, son quizás las partes más importantes de un sistema de control industrial, se usan tanto en los sistemas de control de procesos como en el control de motores y los sistemas de control de movimiento, éstos se pueden encontrar en cada sistema, debido a que proporcionan retroalimentación acerca de lo que el sistema está haciendo o que tan bien lo hace.

Un sensor se define como un dispositivo que es sensible al movimiento, calor, luz, presión, energía eléctrica, magnética u otro tipo de energía.

Un transductor se define como un dispositivo que puede recibir un tipo de energía y convertirlo en otro tipo de energía, esto significa que un transductor puede incluir un sensor para sentir la cantidad de presión, por ejemplo, un circuito para convertir la cantidad de presión a una señal eléctrica y transmitirla a un

sistema de control eléctrico donde se usa en la variable del proceso o retroalimentación.

Dado que los transductores pueden convertir un tipo de energía a otro, es importante estar capacitado para identificar todos los tipos de energía y es importante también comprender que la forma final de energía es algo que es compatible con los circuitos electrónicos, esto quiere decir que la salida del transductor debe ser capaz de cambiar voltaje, corriente, resistencia, frecuencia, capacitancia o inductancia, de modo que sea compatible con los circuitos electrónicos.

Las principales formas de energía que los sensores pueden detectar se clasifican como: movimiento, temperatura, luz, presión, eléctrica, magnética, química y nuclear.

Es esencial comprender que hay una amplia variedad de sensores que pueden medir diferentes variables, pero sólo un tipo puede ser más útil para un circuito electrónico por que convierte el cambio en una señal eléctrica compatible con los circuitos electrónicos, por ejemplo, un sensor de temperatura puede ser un termopar o un termómetro de vidrio que contiene un bulbo de mercurio que puede sensar la temperatura. Dado que el bulbo de mercurio convierte el cambio de temperatura a una altura de columna de mercurio y el termopar a una señal eléctrica, el termopar será más útil para un circuito electrónico. Por lo tanto debemos escoger los sensores dependiendo de nuestras necesidades.

Un transmisor es un dispositivo que puede convertir una señal muy pequeña a una señal más usable, los transmisores para los sensores usados en señales de retroalimentación industrial deben típicamente convertir señales eléctricas muy pequeñas, tales como: microvolts, milivolts (mV), miliamperes (mA) o frecuencia en señales mayores de voltaje, corriente o frecuencia, como ejemplo: 0-10 volts ó 4-20 mA. El transmisor generalmente usa dispositivos tales como los amplificadores operacionales para amplificar y linealizar la señal de salida.

Es muy importante señalar que todos los sensores y transductores se agrupan en una amplia categoría llamada instrumentos. El número de sensores y transductores disponible para su uso en la industria parece ser casi ilimitado. Es necesario que se clasifiquen en grupos que representan el tipo de conversión de la energía que es usada, tal como: temperatura, movimiento, luz, etc. O bien otro tipo de clasificación se define por el tipo de señal eléctrica que el dispositivo produce, tal como voltaje, corriente, etc., así sabremos con mayor precisión que tipo de sensor utilizar. Las clasificaciones de los sensores las detallaremos mas adelante.

En general existen diferentes tipos de procesos industriales en los que intervienen diferentes variables como temperatura, presión, humedad y señales eléctricas, estas variables forman parte de alguna manera de los procesos de control y usan instrumentos analógicos y digitales, de lectura momentánea o registradores que se deben de ajustar y calibrar para el registro de las variables de un proceso. Esta es una actividad que resulta mas o menos cotidiana dentro de la industria y que requiere del conocimiento de los elementos que

intervienen en un proceso de control usado en la industria y sus elementos, como son los instrumentos de medición.

Se puede establecer en una forma simple que el término control significa los métodos para forzar a los parámetros en el medio para obtener valores específicos, esto puede ser tan simple como mantener la temperatura en un cuarto a 20° o tan complejo como fabricar circuitos integrados para la industria o guiar un avión.

Los sensores también se conocen como transductores, la palabra sensor se prefiere para el dispositivo de medición inicial, sin embargo, debido a que el transductor representa un dispositivo que convierte cualquier forma de señal a otra, entonces, por ejemplo, un dispositivo que convierte un voltaje en una corriente proporcional podría ser un transductor. En otras palabras, todos los sensores son transductores ya que pueden convertir un efecto físico a energía, pero no todos los transductores son sensores [4].

Para entender mejor lo antes mencionado, en la figura 3.1 se muestra la estructura general de un transductor, como podemos ver es necesario la utilización de los sensores.

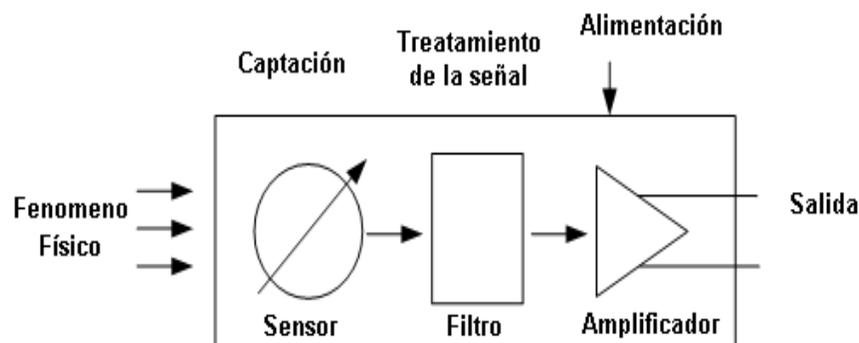


Figura 3.1: Estructura general de un transductor

3.1.1. Clasificación de los transductores

Existen multitud de métodos de clasificar los sensores según se atiende a una u otras peculiaridades de los sensores, de forma que según qué concepto se esté analizando se empleará una clasificación u otra. Las clasificaciones mas importantes son las siguientes [26]:

- Según requieran alimentación externa.
- Según el modo de funcionamiento.

- Según el parámetro variable.
- Según la señal de salida.
- Según su variable física a medir.

3.1.1.1. Según requieran alimentación externa

Aquellos transductores cuyo funcionamiento se basa en la variación de alguno de sus parámetros eléctricos, requerirán de una fuente de alimentación externa para realizar la medida. Estos transductores se denominan moduladores o pasivos. Por el contrario, aquellos transductores capaces de generar tensión o intensidad a partir de la magnitud física que se desea medir, no requieren de alimentación externa y se denominan activos o generadores.

Los transductores pasivos se subdividen en resistivos, capacitivos e inductivos:

Resistivos. La magnitud a medir provoca un cambio de la resistencia del transductor. Algunos parámetros modificables son la longitud, la sección y la conductividad. Ejemplos de este tipo de transductores son los potenciómetros y galgas extensiométricas (varía la longitud); las resistencias variables con la temperatura (RTD), transductores de efecto Hall y fotoresistencias (varía la conductividad); y los termistores CTN y CTP (variación de la resistencia con la temperatura en los semiconductores).

Capacitivos. Hay tres formas de cambiar la capacidad de un dispositivo: modificando el área enfrentada de las dos capas, cambiando la distancia a la que se encuentran dichas capas, y con una variación en la constante del dieléctrico que las separa. Estas tres posibilidades pueden utilizarse para la construcción de transductores de desplazamiento lineales y rotacionales basados en el cambio de área, transductores de fuerza basados en la modificación de la distancia y medidores de nivel basados en la modificación de la constante dieléctrica.

Inductivos. La inductancia depende de la variación del flujo con respecto a la intensidad, pero el flujo es función de la inducción mutua y de la reluctancia magnética. Como esta depende parámetros como el número de vueltas de la inductancia, la permeabilidad del núcleo, la distancia de entrehierro existente, etc., se pueden diseñar transductores inductivos para la medición de desplazamientos, cambiando el número de vueltas o mediante núcleo móvil; detectores de presencia, etc.

3.1.1.2. Según el modo de funcionamiento

En función del modo que tenga el transductor para establecer la medida, se puede diferenciar entre transductores de deflexión y transductores de comparación.

Transductores de Deflexión.- Son aquellos en los que la magnitud medida produce algún efecto físico que ocasiona una reacción en el sensor, asociada a una variable útil fácilmente medible. Por ejemplo, en un potenciómetro, el desplazamiento del cursor provoca un cambio de la resistencia eléctrica proporcional al movimiento producido.

Transductores de Comparación.- Se denominan así a los transductores que comparan la variable a medir con otra conocida y que se emplea como referencia de la medida. Debe haber un detector del desequilibrio producido, que será la medida proporcionada por el transductor. El ejemplo más sencillo sería la balanza, en la que se compara un peso conocido con el que se desea conocer.

3.1.1.3. Según el parámetro Variable

En función de qué parámetro físico del transductor sea utilizado para realizar la medida, se diferencian entre transductores resistivos, inductivos, capacitivos, transductores de tensión, de corriente, etc. Esta clasificación es especialmente útil desde el punto de vista de la ingeniería electrónica, ya que permite tener pocos grupos de clasificación y se adapta correctamente al estudio de los circuitos acondicionadores asociados, similares para transductores en los que el parámetro variable sea el mismo.

3.1.1.4. Según la señal de salida

Los transductores y los sensores pueden clasificarse en dos tipos básicos, dependiendo de la forma de la señal convertida. Los dos tipos son:

- Transductores analógicos.
- Transductores digitales.
- Todo o nada.

Los transductores analógicos proporcionan una señal analógica continua, por ejemplo voltaje o corriente eléctrica. Esta señal puede ser tomada como el valor de la variable física que se mide.

Los transductores digitales producen una señal de salida digital, en la forma de un conjunto de bits de estado en paralelo o formando una serie de pulsaciones que pueden ser contadas. En una u otra forma, las señales digitales representan el valor de la variable medida. Los transductores digitales suelen ofrecer la ventaja de ser más compatibles con las computadoras.

Los transductores de todo o nada indican únicamente cuándo la variable detectada rebasa un cierto umbral o límite. Pueden considerarse como un caso límite de los sensores digitales en el que se codifican solo dos estados [26].

3.1.1.5. Según su variable física a medir

- Posición lineal o angular.
- Desplazamiento o deformación.
- Velocidad lineal o angular.
- Aceleración.
- Fuerza y par.
- Presión.
- Caudal.
- Temperatura.
- Presencia o proximidad.
- Táctiles.
- Intensidad lumínica.
- Sistemas de visión artificial.

3.1.2. Características deseables de los transductores

Exactitud. La exactitud de la medición debe ser tan alta como fuese posible. Se entiende por exactitud que el valor verdadero de la variable se pueda detectar sin errores sistemáticos positivos o negativos en la medición. Sobre varias mediciones de la variable, el promedio de error entre el valor real y el valor detectado tendera a ser cero.

Precisión. La precisión de la medición debe ser tan alta como fuese posible. La precisión significa que existe o no una pequeña variación aleatoria en la medición de la variable. La dispersión en los valores de una serie de mediciones será mínima.

Rango de funcionamiento. El sensor debe tener un amplio rango de funcionamiento y debe ser exacto y preciso en todo el rango.

Velocidad de respuesta. El transductor debe ser capaz de responder a los cambios de la variable detectada en un tiempo mínimo. Lo ideal sería una respuesta instantánea.

Calibración. El sensor debe ser fácil de calibrar. El tiempo y los procedimientos necesarios para llevar a cabo el proceso de calibración deben ser mínimos. Además, el sensor no debe necesitar una recalibración frecuente. El término desviación se aplica con frecuencia para indicar la pérdida gradual de exactitud del sensor que se produce con el tiempo y el uso, lo cual hace necesaria su recalibración.

Fiabilidad. El sensor debe tener una alta fiabilidad. No debe estar sujeto a fallos frecuentes durante el funcionamiento [27].

3.1.3. Tipos de transductores y sensores

Como se ha mencionado, hay una infinidad de sensores y transductores, en la tabla 3.1 de la página 39 se enlistan los principales tipos de transductores [1].

Encoder: Codificador óptico digital, es un dispositivo que convierte el movimiento en una secuencia de pulsos digitales. Al contar un solo bit de decodificación o un conjunto de bits, los pulsos se pueden convertir en relativos o mediciones de posición absoluta. Las configuraciones de los codificadores son lineales y rotativas, pero el tipo más común es rotativa. Figura 3.2.

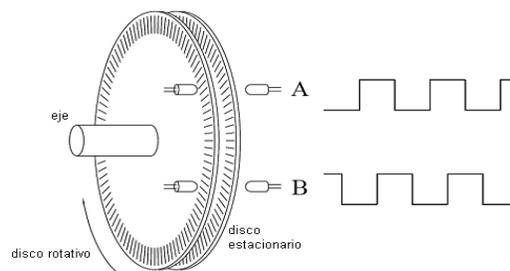


Figura 3.2: Encoder

Un haz de luz es enviado contra dos retículos radiales: uno de ellos estático, y otro en movimiento (el disco). La luz que puede pasar a través de los dos retículos cae en un grupo de fototransistores colocados inmediatamente detrás del retículo estático. Utilizando varias rendijas (en vez de una) en ambos retículos, la señal eléctrica resultante es más fuerte, y se corresponde con la media de varias líneas del disco en rotación. De esta manera, la salida eléctrica no es tan sensible a pequeñas imperfecciones del disco o impurezas en el sistema óptico.

Galga extensiométrica: Es un dispositivo electrónico que aprovecha el efecto piezorresistivo para medir deformaciones. Se basa en la variación de resistencia de un hilo conductor calibrado más recientemente, o resistencias construidas a base de pistas de semiconductor. En definitiva, más que como sensores de desplazamiento se usa como transductores indirectos de fuerza o de par.

Magnitud	Transductor	Característica
Posición lineal o angular	Potenciómetro	Analógica
	Encoder	Digital
Desplazamiento y deformación	Transformador diferencial	Analógica
	Galga extensiométrica	Analógica
Velocidad lineal y angular	Dinamo tacométrica	Analógica
	Encoder	Digital
	Detector inductivo u óptico	Digital
Aceleración	Acelerómetro	Analógico
Fuerza y par (deformación)	Galga extensiométrica	Analógico
Presión	Membranas	Analógica
	Piezoeléctricos	Analógica
Caudal	Turbina	Analógica
	Magnético	Analógica
Temperatura	Termopar	Analógica
	PT100	Analógica
	Termistor NTC	Analógica
	Termistor PTC	Analógica
	Bimetal	I/O
	RTD	
	Piroelectricos	
Sensores de presencia	Inductivos	I/O
	Capacitivos	I/O
	Ópticos	I/O y Analógica
	Efecto hall	
	Ultrasónicos	
Sensores táctiles	Matriz de contactos	I/O
	Piel artificial	Analógica
Sensor de proximidad	Sensor final de carrera	Digital
	Sensor capacitivo	
	Sensor inductivo	
	Sensor fotoeléctrico	Analógica
Sensor acústico (presión sonora)	micrófono	Analógica
Sensores de acidez	IsFET	Analógica
Sensor de luz	fotodiodo	Analógica
	Fotorresistencia	
	Fototransistor	
Sensores captura de movimiento	Sensores inerciales	

Cuadro 3.1: Tipos de transductores.

Los materiales que suelen utilizarse para fabricar galgas son aleaciones de cobre y hierro, platina y silicio. Una galga extensiométrica consiste de un alambre muy fino, o más comúnmente un papel metálico

arreglado en forma de rejilla como se muestra en la figura. Esta forma de rejilla permite aprovechar la máxima cantidad de material de la galga sujeto a la tensión a lo largo de su eje principal. Figura 3.3.

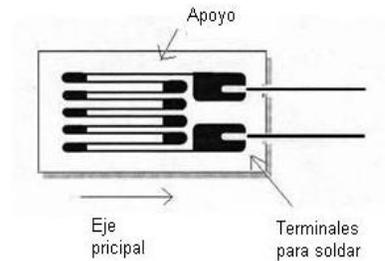


Figura 3.3: Galga extensiométrica

Acelerómetro: Es uno de los transductores más versátiles, siendo el más común el piezoeléctrico. Este se basa en el principio de que cuando se comprime un retículo cristalino piezoeléctrico, se produce una carga eléctrica proporcional a la fuerza aplicada. Cuando se mueve el acelerómetro en la dirección arriba abajo, la fuerza que se requiere para mover la masa sísmica está soportada por el elemento activo. Según la segunda ley de Newton, esa fuerza es proporcional a la aceleración de la masa. La fuerza sobre el cristal produce la señal de salida, que por consiguiente es proporcional a la aceleración del transductor. Los acelerómetros son lineales en el sentido de la amplitud, lo que quiere decir que tienen un rango dinámico muy largo. Figura 3.4.

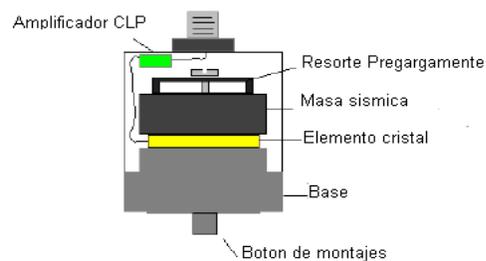


Figura 3.4: Acelerómetro

Piezoeléctrico: Son transductores piezoeléctricos aquellos que basan su funcionamiento en el fenómeno de la piezoelectricidad, el fenómeno se debe al desplazamiento de cargas o iones positivos y negativos, generándose un efecto de dipolo eléctrico. Esta propiedad se aprovecha para obtener sensores de deformación o de fuerza.

Para su fabricación se utilizan materiales cerámicos como el Titanio de Bario, aunque en un principio se usaban el Cuarzo o la Sal de Rochelle. Mediante el efecto piezoeléctrico directo a través de una fuerza

externa se logra un desplazamiento de cargas lo que induce una corriente de desplazamiento y ésta un campo eléctrico. Éste es el fundamento de, por ejemplo, los micrófonos piezoeléctricos, mientras que los altavoces piezoeléctricos aprovechan el efecto piezoeléctrico inverso, mediante el cual a través de un campo eléctrico externo se produce una deformación mecánica, que convenientemente aprovechada.

Termistores: Son semiconductores sensibles a la temperatura. Se consigue actuando sobre la movilidad de los semiconductores. Hay de 2 tipos: NTC (coeficiente de temperatura negativo) y PTC (coeficiente de temperatura positivo). Las NTC son incluso más alineales que las PTC.

Tienen una alta sensibilidad (10+ que las RTD), presenta una resistencia muy alta a la temperatura de trabajo, bajo calentamiento y son económicos. Son no-lineales. Presentan una disparidad de valores entre el mismo componente de la misma familia. Figura 3.5.

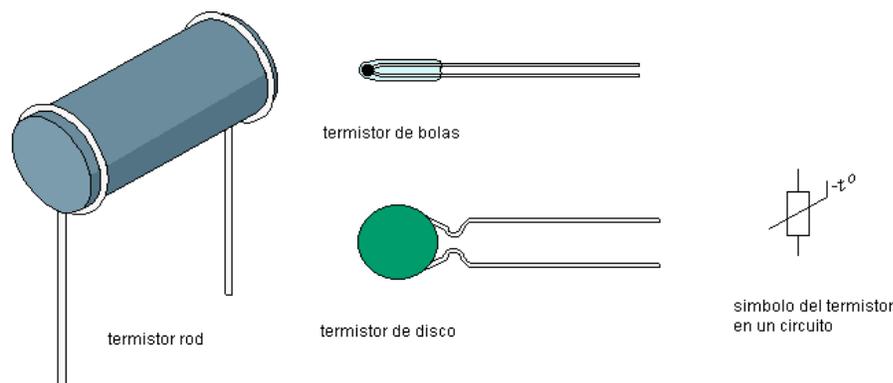


Figura 3.5: Termistores

Termopar: Son sensores generadores y se basan en el efecto Peltier y del efecto Seebeck. Se basan en que dos metales homogéneos, A y B, con dos uniones a diferente temperatura, aparecerá una corriente eléctrica.

RTD: Sensor de tipo resistivo y que varía su resistencia según la temperatura. Actúa como un metal, por lo tanto tiene coeficiente de temperatura positivo. Es un sensor muy lineal, repetibilidad alta y presentan un error del 0,1 a 1 por ciento. La sensibilidad es 10 veces mayor a los termopares, y 10 veces menor que los termistores.

Piroelectricos: Son sensores generadores. Aparecen cargas superficiales en una dirección determinada cuando el material experimenta un cambio de temperatura. Estas cargas son debidas al cambio de su polarización espontánea al variar la temperatura.

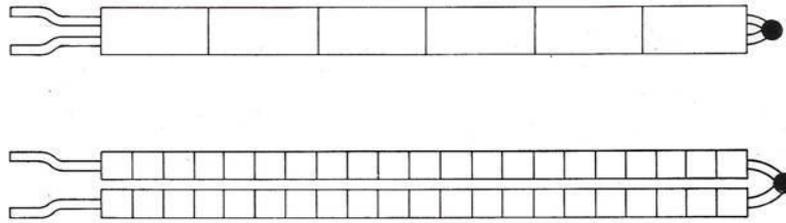


Figura 3.6: Termopar

Termorresistencias Pt100: Es un termómetro eléctrico, el cambio de resistencia de metal depende de la temperatura. Puesto que la resistencia eléctrica se sube en proporción con la temperatura, se utiliza la expresión ‘coeficiente positivo de la temperatura’. El metal con las mejores características es platino y consecuentemente el termómetro de resistencia de tipo Pt es el más importante de la tecnología de medida. El termómetro de resistencia llamado Pt100 es el más usado comúnmente.

Sensores de presencia: Los sensores de presencia tienen como finalidad determinar la presencia de un objeto en un intervalo de distancia especificado. Este tipo de sensores se pueden utilizar en relación con la forma de agarrar o evitar un objeto. Se suelen basar en el cambio provocado en alguna característica del sensor debido a la proximidad del objeto. [1].

Sensores Inductivos: Este tipo de sensores se basan en el cambio de inductancia que provoca un objeto metálico en un campo magnético. Los sensores de este tipo constan básicamente de una bobina y de un imán. Cuando un objeto ferromagnético penetra o abandona el campo del imán el cambio que se produce en dicho campo induce una corriente en la bobina. Como podemos deducir rápidamente, el gran inconveniente de este tipo de sensores es la limitación a objetos ferromagnéticos, aunque en aplicaciones industriales son bastante habituales.

Sensores de efecto Hall: El efecto Hall relaciona la tensión entre dos puntos de un material conductor o semiconductor con un campo magnético a través del material. Este tipo de sensores suelen constar de ese elemento conductor o semiconductor y de un imán. Cuando un objeto (ferromagnético) se aproxima al sensor, el campo provocado por el imán en el elemento se debilita. Así se puede determinar la proximidad de un objeto.

Sensores Capacitivos: Como su nombre indica, están basados en la detección de un cambio en la capacidad del sensor provocado por una superficie próxima a éste. Constan de dos elementos principales; por un lado está el elemento cuya capacidad se altera (que suele ser un condensador formado por electrodos) y por otra parte el dispositivo que detecta el cambio de capacidad (un circuito electrónico conectado

al condensador). Este tipo de sensores tienen la ventaja de que detectan la proximidad de objetos de cualquier naturaleza; sin embargo, hay que destacar que la sensibilidad disminuye bastante cuando la distancia es superior a algunos milímetros. Además, es muy dependiente del tipo de material. Por ejemplo, a una distancia de 5 mm, la medida del cambio de capacidad es el doble más precisa si el elemento que se aproxima es Hierro que si es PVC.

Sensores Ultrasonicos: El funcionamiento de estos sensores es bastante simple. Su elemento principal es un transductor electroacústico. Este elemento, en primer lugar, emite unas ondas ultrasonicas; a continuación pasa a modo de espera, en el que, durante un cierto tiempo, espera la vuelta de las ondas reflejadas en algún objeto. Si las ondas llegan, quiere decir que hay algún objeto en las proximidades. Dependiendo del tiempo de conmutación del transductor (el tiempo que está esperando) se detectará un grado de proximidad u otro. Este tipo de sensores son más independientes del tipo de material que los anteriores y permiten detección de proximidad a mayores distancias.

Sensores Ópticos: Este tipo de sensores son muy parecidos a los anteriores. En estos, las señales que se transmiten y detectan son luminosas. En los sensores ópticos el emisor y el receptor suelen ser elementos separados. El primero suele ser un diodo emisor de luz (LED) y el receptor un fotodiodo.

Sensores táctiles: Los sensores táctiles son dispositivos que indican el contacto de algún objeto sólido con ellos mismos. Suelen ser empleados en los extremos de los brazos de robot (pinzas) para controlar la manipulación de objetos.

Sensores de Contacto: Los sensores de contacto nos indican simplemente si ha habido contacto o no con algún objeto, sin considerar la magnitud de la fuerza de contacto. Suelen ser dispositivos sencillos cuyo uso es muy variado. Se pueden situar en las pinzas de los brazos de robot para determinar cuando se ha cogido un objeto, pueden formar parte de sondas de inspección para determinar dimensiones de objetos, o incluso pueden situarse en el exterior de las pinzas para ir tanteando un entorno. Estos sensores suelen ser interruptores de límite o microinterruptores, que son sencillos dispositivos eléctricos que cuando se contacta con ellos cambian de estado [28].

Productos encapsulados: Diseños robustos, de altas prestaciones y resistentes al entorno o herméticamente sellados. Esta selección incluye finales de carrera miniatura, interruptores básicos estándar y miniatura, interruptores de palanca y pulsadores luminosos.

Sensores de humedad: Los sensores de humedad relativa/temperatura y humedad relativa están configurados con circuitos integrados que proporcionan una señal acondicionada. Estos sensores contienen un elemento sensible capacitivo en base de polímeros que interacciona con electrodos de platino. Están calibrados por láser y tienen una intercambiabilidad de +5 por ciento HR, con un rendimiento estable.

Fotorresistencia: es un componente electrónico cuya resistencia disminuye con el aumento de intensidad de luz incidente.

Fotodiodo: es un semiconductor construido con una unión PN, sensible a la incidencia de la luz visible o infrarroja. Para que su funcionamiento sea correcto se polariza inversamente, con lo que se producirá una cierta circulación de corriente cuando sea excitado por la luz. Debido a su construcción, los fotodiodos se comportan como células fotovoltaicas, es decir, en ausencia de luz exterior generan una tensión muy pequeña con el positivo en el ánodo y el negativo en el cátodo.

Fototransistor: transistor sensible a la luz, normalmente a los infrarrojos. La luz incide sobre la región de base, generando portadores en ella. Esta carga de base lleva el transistor al estado de conducción. El fototransistor es más sensible que el fotodiodo por el efecto de ganancia propio del transistor. En el mercado se encuentran fototransistores tanto con conexión de base como sin ella y tanto en cápsulas plásticas como metálicas [29].

3.2. Interruptores

Un interruptor eléctrico es un dispositivo mecánico utilizado para desviar o interrumpir el curso de una corriente eléctrica. Actualmente las aplicaciones son innumerables, van desde un simple interruptor que apaga o enciende un foco, hasta un complicado selector de transferencia automático de múltiples capas controlado por computadora. Su expresión más sencilla consiste en dos contactos de metal inoxidable y el actuante. Los contactos, normalmente separados, se unen para permitir que la corriente circule. El actuante es la parte móvil que en una de sus posiciones hace presión sobre los contactos para mantenerlos unidos, el interruptor es representado como se muestra en la figura 3.7.



Figura 3.7: Símbolo del interruptor

La cantidad de tiros son la cantidad de posiciones que tiene un interruptor. Por ejemplo el interruptor de un solo tiro es utilizado para encender una lámpara, en una posición enciende la lámpara mientras que en la otra se apaga. Los hay de 2 tiros representado en la figura 3.8 o hay de más tiros. Un ejemplo de un interruptor de 3 tiros es el que podríamos usar para controlar un semáforo donde se enciende un foco de cada color por cada una de las posiciones o tiros.



Figura 3.8: Interruptor de doble tiro

De igual forma pueden tener varios pares de contactos independientes (polos) o para controlar circuitos independientes, que pueden conectarse o desconectarse por medio de una sola operación, los de un polo son llamados unipolares, existen de 2 polos de tres polos o los de más polos que son llamados multipolares. Un interruptor de doble polo se puede representar como en la figura 3.9.

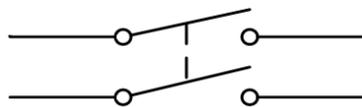


Figura 3.9: Interruptor de doble polo

La vida útil del interruptor dependerá de la calidad de los materiales empleados para hacer los contactos. Para la mayoría de los interruptores domésticos se emplea una aleación de latón (60 por ciento cobre, 40 por ciento zinc). Esta aleación es muy resistente a la corrosión y es un conductor eléctrico apropiado. El aluminio es también buen conductor y es muy resistente a la corrosión.

En los casos donde se requiera una pérdida mínima se utiliza cobre puro por su excelente conductividad eléctrica. El cobre bajo condiciones de condensación puede formar óxido de cobre en la superficie interrumpiendo el contacto.

Para interruptores donde se requiera la máxima confiabilidad se utilizan contactos de cobre pero se aplica un baño con un metal más resistente al óxido como lo son el estaño, aleaciones de estaño/plomo, níquel, oro o plata. La plata es de hecho mejor conductor que el cobre y además el óxido de plata conduce electricidad. El oro también es usado por su inmejorable resistencia al óxido [5].

3.2.1. Tipos y aplicaciones de los interruptores

Existen muchos tipos y modelos de interruptores por tal motivo se mencionaran algunos. En todos los casos es conveniente la utilización de uno u otro interruptor dependiendo de las necesidades, como puede ser espacio, corriente, aplicación, etc.

El Interruptor magnetotérmico o Interruptor automático. Es un interruptor que se utiliza en los cuadros eléctricos de viviendas, comercios o industrias para controlar y proteger cada circuito individualmente. Incluye dos sistemas de protección. Se apaga en caso de cortocircuito o en caso de sobre carga de corriente.

Reed switch. Es un interruptor encapsulado en un tubo de vidrio al vacío como se muestra en la figura 3.10 que es activado por un campo magnético. Cuando los contactos están normalmente abiertos se cierran en la presencia de un campo magnético, cuando están normalmente cerrados se abren en presencia de un campo magnético. La rigidez de los contactos hará que regresen a su estado normal al desaparecer el campo magnético. Los reed switch son utilizados ampliamente en el mundo moderno como partes de circuitos eléctricos. Un uso muy extendido se puede encontrar en los sensores de las puertas y ventanas de las alarmas antirrobo, el imán va unido a la puerta y el reed switch al marco. En los sensores de velocidad de las bicicletas el imán está en uno de los rayos de la rueda, mientras que el reed switch va colocado en la horquilla. Algunos teclados de computadoras son diseñados colocando imanes en cada una de las teclas y los reed switch en el fondo de la placa, cuando una tecla es presionada el imán se acerca y activa sus reed switches.



Figura 3.10: Reed switch

Interruptor de límite o limit swicht. También conocido como sensor final de carrera. Es un dispositivo situado al final del recorrido de un elemento móvil, como por ejemplo una cinta transportadora, con el objetivo de enviar señales que puedan modificar el estado de un circuito. Internamente pueden contener interruptores normalmente abiertos (NA o NO en inglés), cerrados (NC) o conmutadores dependiendo de la operación que cumplan al ser accionados, de ahí la gran variedad de finales de carrera que existen en mercado. Generalmente estos sensores están compuestos por dos partes: un cuerpo donde se encuentran los contactos y una cabeza que detecta el movimiento, se muestra en la figura 3.11. Su uso es muy diverso, empleándose, en general, en todas las máquinas que tengan un movimiento rectilíneo de ida y vuelta o sigan una trayectoria fija, es decir, aquellas que realicen una carrera o recorrido fijo, como por ejemplo ascensores, montacargas, robots, etc.



Figura 3.11: Interruptor de límite

Interruptor centrífugo. Se activa o desactiva a determinada fuerza centrífuga. Es usado en los motores como protección.

Interruptores de transferencia. Trasladan la carga de un circuito a otro en caso de falla de energía. Utilizados tanto en subestaciones eléctricas como en industrias.

Interruptor DIP. Viene del inglés “dual in-line package” en electrónica y se refiere a una línea doble de contactos. Consiste en una serie de múltiples micro interruptores unidos entre si.

Hall-effect switch. También usado en electrónica, es un contador que permite leer la cantidad de vueltas por minuto que está dando un imán permanente y entregar pulsos.

Interruptor inercial (o de aceleración). Mide la aceleración o desaceleración del eje de coordenadas sobre el cual esté montado. Por ejemplo los instalados para disparar las bolsas de aire de los automóviles. En este caso se deben instalar laterales y frontales para activar las bolsas de aire laterales o frontales según donde el auto reciba el impacto.

Interruptor de membrana (o burbuja). Generalmente colocados directamente sobre un circuito impreso. Son usados en algunos controles remotos, los paneles de control de microondas, etc

Interruptor de nivel. Usado para detectar el nivel de un fluido en un tanque. Se lleva acabo mediante varias formas, aunque el mas común es de tipo flotador.

Interruptor de mercurio. Usado para detectar la inclinación. Consiste en una gota de mercurio dentro de un tubo de vidrio cerrado herméticamente, en la posición correcta el mercurio cierra dos contactos de metal.

Interruptor diferencial o Disyuntor. Dispositivo electromecánico para equipos eléctricos que protege a las personas de las derivaciones causadas por faltas de aislamiento. El magnetotérmico es un disyuntor.

Pulsador. También llamados interruptores momentáneos. Este tipo de interruptor requiere que el operador mantenga la presión sobre el actuante para que los contactos estén unidos. Un ejemplo de su uso lo podemos encontrar en los timbres de las casas.

Muchos de estos interruptores son usados para aplicaciones de bajas potencias por lo tanto los interruptores industriales varían a estos por sus capacidades y diseños, un interruptor industrial es fabricado más robusto para aguantar corrientes grandes, altas temperaturas, etc., además de que se hacen de materiales más duraderos y de mejor calidad para así asegurar la confiabilidad del interruptor. Por ejemplo algunos interruptores que comúnmente son utilizados en la industria son los de arranque de motores, de reversa, de parada de emergencia, entre otros, accionados manualmente y otros que no tienen un cuerpo o mango aislante para actuarlo son accionados eléctricamente (relés) [5].

3.3. Relevadores

El relevador es uno de los dispositivos más viejos, más simples. Incluso, algunas de las primeras computadoras alguna vez utilizaron relevadores o también conocidos como relays para implementar las compuertas lógicas. Fue inventado por Joseph Henry en 1835. El relé es capaz de controlar un circuito de salida de mayor potencia que el de entrada, debido a eso se puede considerar, en un amplio sentido, una forma de amplificador eléctrico. Como tal se emplearon en telegrafía, haciendo la función de repetidores que generaban una nueva señal con corriente procedente de pilas locales a partir de la señal débil recibida por la línea. Se les llamaba “relevadores”. De ahí “relé”.

El relé se puede decir que es un interruptor, sin embargo mejor dicho es un dispositivo que controla el estado de un interruptor mediante una entrada eléctrica. En su interior, posee comúnmente una bobina que al energizarse y por la Ley de Faraday induce una fuerza magnética que cambia el estado del interruptor.

Existen relevadores con interruptores normalmente abiertos (NA o NO (Normally Open)), normalmente cerrados (NC), o de conmutación. Además de esa característica también existen relevadores con múltiples entradas y múltiples interruptores.

- Los contactos Normalmente Abiertos conectan el circuito cuando el relé es activado; el circuito se desconecta cuando el relé está inactivo. Este tipo de contactos son ideales para aplicaciones en las que se requiere conmutar fuentes de poder de alta intensidad para dispositivos remotos.
- Los contactos Normalmente Cerrados desconectan el circuito cuando el relé es activado; el circuito se conecta cuando el relé está inactivo. Estos contactos se utilizan para aplicaciones en las que se requiere que el circuito permanezca cerrado hasta que el relé sea activado.

- Los contactos de conmutación controlan dos circuitos: un contacto Normalmente Abierto y uno Normalmente Cerrado con una terminal común.

Se denominan contactos de trabajo aquellos que se cierran cuando la bobina del relé es alimentada y contactos de reposo a los cerrados en ausencia de alimentación de la misma.

Existen multitud de tipos distintos de relés, dependiendo del número de contactos (cuando tienen más de un contacto conmutador se les llama contactores en lugar de relés), intensidad admisible por los mismos, tipo de corriente de accionamiento, tiempo de activación y desactivación, etc., [6].

3.3.1. Tipos de Relés

Entre los tipos de relés a escoger dentro del sistema de automatización tenemos:

- Relés electromecánicos: Tipo armadura. Núcleo móvil. Reed inversores. Polarizados.
- Relés de estado sólido.

3.3.1.1. Electromecánicos

Están formados por una bobina y unos contactos los cuales pueden conmutar corriente continua o bien corriente alterna. Vamos a ver los diferentes tipos de relés electromecánicos.

Relé de tipo armadura

Son los más antiguos y también los más utilizados. Como se había mencionado anteriormente el relé consta de una bobina enrollada alrededor de un núcleo ferromagnético, los contactos que forman el interruptor, y la armadura. Conjuntamente al exterior las puntas de la bobina están unidas a los cables llamados bornes para facilitar su conexión.

Ahora bien en la figura 3.12 a) se muestra un relevador en estado de reposo con los contactos NC, cuando se le aplica corriente a los bornes, la bobina genera un campo magnético, dicho campo magnético atrae a la armadura que al bascular hace que se mueva el contacto móvil, así uniéndose con el otro contacto y cerrando el circuito como se muestra en la figura 3.12 b), por lo tanto la tensión que se le aplica a los contactos circula a través de estos hasta que se le quita la corriente a los bornes de la bobina.

Relé de Núcleo Móvil

Estos tienen un émbolo en lugar de la armadura anterior. Se utiliza un solenoide para cerrar sus contactos, debido a su mayor fuerza atractiva (por ello es útil para manejar altas corrientes), figura 3.13.

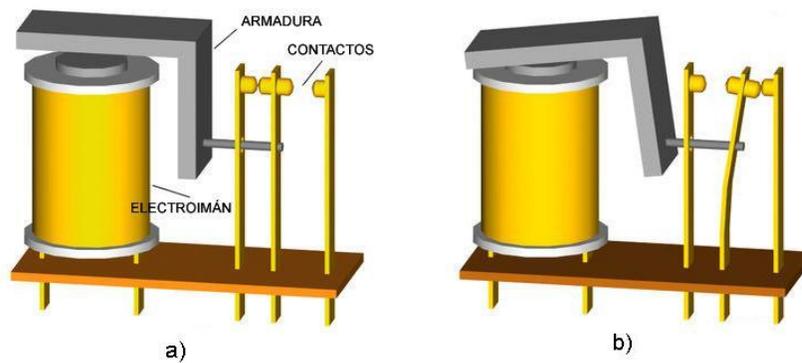


Figura 3.12: Funcionamiento del relé tipo armadura

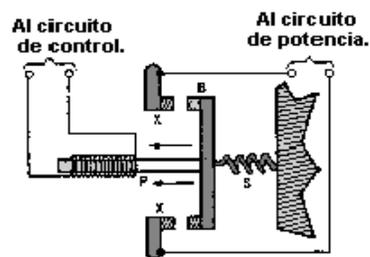


Figura 3.13: Relé de núcleo móvil

Relé tipo Reed o de Lengüeta

Formados por una ampolla de vidrio, en cuyo interior están situados los contactos (pueden ser múltiples) montados sobre delgadas láminas metálicas. Dichos contactos se cierran por medio de la excitación de una bobina, que está situada alrededor de dicha ampolla, figura 3.14.

Relé Polarizado

Llevan una pequeña armadura, solidaria a un imán permanente. El extremo inferior puede girar dentro de los polos de un electroimán y el otro lleva una cabeza de contacto. Si se excita al electroimán, se mueve la armadura y cierra los contactos. Si la polaridad es la opuesta girará en sentido contrario, abriendo los contactos ó cerrando otro circuito (ó varios), figura 3.15 [30].

3.3.1.2. Relés de estado sólido (SSR)

Un relé de estado sólido SSR (Solid State Relay) es un circuito híbrido ya que como su nombre lo indica, es un dispositivo que utiliza un interruptor de estado sólido (por ejemplo un transistor o un tiristor), en lugar

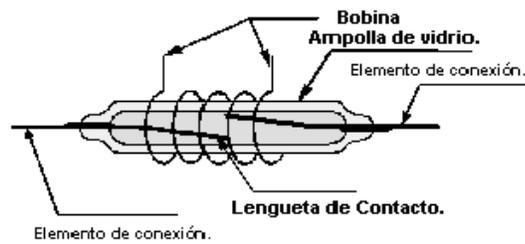


Figura 3.14: Relé tipo reed o de lengüeta



Figura 3.15: Relé Polarizado

de contactos mecánicos (como los de los relés normales), para conmutar cargas de potencia a partir de señales de control de bajo nivel. Estas últimas pueden provenir, por ejemplo, de circuitos digitales y estar dirigidas a motores, lámparas, solenoides, calefactores, etc. El aislamiento entre la circuitería de control y la etapa de potencia lo proporciona generalmente un optoacoplador. La conmutación propiamente dicha puede ser realizada por transistores bipolares, MOSFETs de potencia, triacs, SCRs, etc. En apariencia los podemos encontrar muy parecidos a los relés normales o como el que se muestra en la figura 3.16.



Figura 3.16: Relés de estado sólido (SSR)

Estructura del SSR:

Circuito de Entrada o de Control: Control por tensión continua: el circuito de entrada suele ser un LED (Fotodiodo), solo o con una resistencia en serie, también podemos encontrarlo con un diodo en antiparalelo para evitar la inversión de la polaridad por accidente. Los niveles de entrada son compatibles con TTL, CMOS, y otros valores normalizados (12V, 24V, etc.).

Acoplamiento. El acoplamiento con el circuito se realiza por medio de un optoacoplador o por medio de un transformador que se encuentra acoplado de forma magnética con el circuito de disparo del Triac.

Circuito de Conmutación o de salida. El circuito de salida contiene los dispositivos semiconductores de potencia con su correspondiente circuito excitador. Este circuito será diferente según queramos conmutar CC, CA [31].

Ventajas de uso

Además de todas las ventajas que proporciona el uso de cualquier relé en lugar de simples interruptores, en los relés de estado sólido podemos localizar superioridades que nos servirán al momento de realizar la automatización:

Vida útil ilimitada. Los Relés de Estado Sólido no contienen partes móviles o contactos mecánicos. Pueden conmutar cargas de hasta 125 A varias veces por segundo, año tras año. El parámetro estándar de cantidad máxima de ciclos de maniobra para relés electromecánicos es irrelevante para los Relés de Estado Sólido.

Alta frecuencia de conmutación. Un Relé de Estado Sólido puede conmutar cargas hasta 80 veces en un Segundo. Esta frecuencia es mucho más alta que la de un relé electromecánico. El tiempo de respuesta para un Relé de Estado Sólido asincrónico es de solo 100 μs . Este proceso es libre de rebotes y totalmente confiable.

Funcionamiento Silencioso. El Relé de Estado Sólido es completamente silencioso. Posiblemente, esta característica no sea relevante para ciertas aplicaciones industriales, pero lo es en muchas aplicaciones en el área de electro-medicina, edificios, automatización de oficinas y para aplicaciones donde se requiere un ambiente libre de ruidos para el confort de sus habitantes.

Compatibilidad con ambientes severos. La naturaleza de los componentes de estado sólido los hace altamente resistente a golpes y vibraciones. Estos están herméticamente sellados para asegurar una excelente performance en atmósferas húmedas. La ausencia de contactos mecánicos aumenta la seguridad en ambientes donde arcos y chispas pueden ser peligrosos [32].

Las características generales de cualquier relé son:

- El aislamiento entre los terminales de entrada y de salida.
- Adaptación sencilla a la fuente de control.
- Posibilidad de soportar sobrecargas, tanto en el circuito de entrada como en el de salida.
- Las dos posiciones de trabajo en los bornes de salida de un relé se caracterizan por: En estado abierto, alta impedancia. En estado cerrado, baja impedancia.

Para los relés de estado sólido se pueden añadir:

- Gran número de conmutaciones y larga vida útil.
- Conexión en el paso de tensión por cero, desconexión en el paso de intensidad por cero.
- Ausencia de ruido mecánico de conmutación.
- Escasa potencia de mando, compatible con TTL y MOS.
- Insensibilidad a las sacudidas y a los golpes.
- Cerrado a las influencias exteriores por un recubrimiento plástico.

3.4. Actuadores

Los actuadores son dispositivos que tienen como objetivo generar los movimientos requeridos en un sistema, son aquellos que provocan un efecto sobre un proceso de automatización. Generalmente están constituidos por un amplificador y un elemento final de control. El primero amplifica la señal proporcionada por el controlador a un nivel suficiente para accionar el elemento final de control. El segundo es el encargado de convertir la variable de salida regulada en la variable de entrada de la planta o sistema y, actuando directamente se obtiene el valor deseado.

Los actuadores son capaces de generar una fuerza a partir de líquidos, de energía eléctrica o gaseosa. El actuador recibe la orden de un regulador o controlador, puede ser el caso desde un PLC para activar un elemento final que es donde se aplica la fuerza, por ejemplo el movimiento lineal de un objeto o bien la apertura de válvulas, etc.

Debido a la energía requerida se encuentran tres tipos de actuadores:

- Neumáticos

- Hidráulicos
- Eléctricos

Los actuadores hidráulicos, neumáticos y eléctricos son usados para manejar aparatos mecatrónicos. Por lo general, los actuadores hidráulicos se emplean cuando lo que se necesita es potencia, y los neumáticos son simples posicionamientos. Sin embargo, los hidráulicos requieren demasiado equipo para suministro de energía, así como de mantenimiento periódico. Por otro lado, las aplicaciones de los modelos neumáticos también son limitadas desde el punto de vista de precisión y mantenimiento.

Los actuadores eléctricos también son muy utilizados en los aparatos mecatrónicos, como por ejemplo en los robots, estos tienen una amplia demanda sin tantas horas de mantenimiento. Para proporcionar un conocimiento de las diferentes opciones de automatización mencionaremos los tres tipos de actuadores, los actuadores neumáticos e hidráulicos son comúnmente utilizados en la industria, aunque para nuestro automatismo nos enfocaremos en especial a los actuadores eléctricos.

3.4.1. Actuadores neumáticos

Los actuadores neumáticos se basan en un motor (de aire) y una válvula. El fluido que se ocupa es aire, que es mucho más comprensible que los distintos tipos de aceite empleados en sistemas hidráulicos. No hay depósitos de fluido sino que la bomba toma aire de la atmósfera y la válvula descarga directamente a la atmósfera.

La compresibilidad del aire limita la máxima potencia que se puede obtener pero el coste es obviamente menor que en los sistemas hidráulicos.

En estos la energía del aire comprimido se transforma por medio de cilindros en un movimiento lineal de vaivén, y mediante motores neumáticos, en movimiento de giro, por lo tanto se clasifican en [10]:

- Cilindros neumáticos
- Actuadores de giro (Motores neumáticos)
- Pinzas neumáticas

3.4.1.1. Cilindros neumáticos

Cilindros de simple efecto

Estos cilindros tienen una sola conexión de aire comprimido, figura 3.17. No pueden realizar trabajos más que en un sentido. Se necesita aire sólo para un movimiento de traslación. El vástago retorna por el efecto de un muelle incorporado o de una fuerza externa. El resorte incorporado se calcula de modo que

haga regresar el émbolo a su posición inicial a una velocidad suficientemente grande. En los cilindros de simple efecto con muelle incorporado, la longitud de éste limita la carrera. Por eso, estos cilindros no sobrepasan una carrera de unos 100mm. Se utilizan principalmente para sujetar, expulsar, apretar, levantar, alimentar, etc.

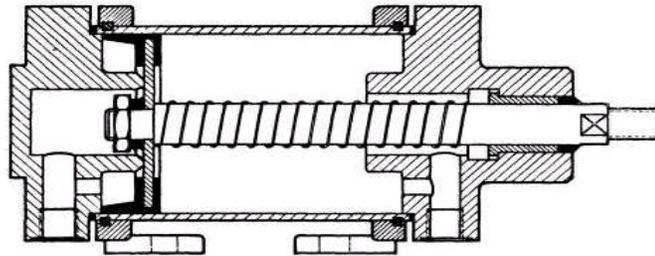


Figura 3.17: Cilindro de simple efecto

Cilindros de doble efecto

La fuerza ejercida por el aire comprimido anima al émbolo, en cilindros de doble efecto, a realizar un movimiento de traslación en los dos sentidos, figura 3.18. Se dispone de una fuerza útil tanto en la ida como en el retorno. Los cilindros de doble efecto se emplean especialmente en los casos en que el émbolo tiene que realizar una misión también al retornar a su posición inicial. En principio, la carrera de los cilindros no está limitada, pero hay que tener en cuenta el pandeo y doblado que puede sufrir el vástago salido [10].

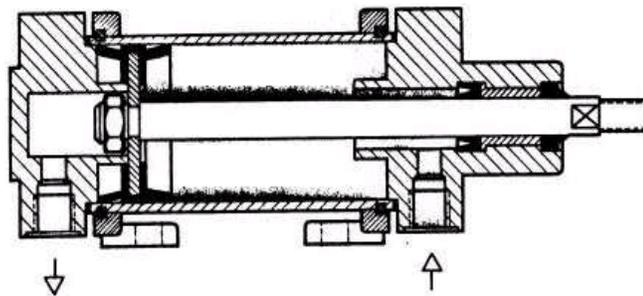


Figura 3.18: Cilindro de doble efecto

Cilindros con amortiguación Interna

Cuando las masas que traslada un cilindro son grandes, al objeto de evitar un choque brusco y daños se utiliza un sistema de amortiguación que entra en acción momentos antes de alcanzar el final de la

carrera. Antes de alcanzar la posición final, un émbolo amortiguador corta la salida directa del aire al exterior. En cambio, se dispone de una sección de escape muy pequeña, a menudo ajustable.

El aire comprimido se comprime más en la última parte de la cámara del cilindro. La sobrepresión producida disminuye con el escape de aire a través de las válvulas antirretorno de estrangulación montada (sección de escape pequeña). El émbolo se desliza lentamente hasta su posición final. En el cambio de dirección del émbolo, el aire entra sin obstáculos en la cámara del cilindro por la válvula antirretorno [33].

3.4.1.2. Actuadores de giro (Motores neumáticos)

Los actuadores lineales poseen una amortiguación para reducir el impacto. Estas características dinámicas son aún más importantes en el caso de los actuadores de giro. El hecho de que la parada de la masa que gira sea realizada de forma libre por el propio actuador, sin amortiguaciones ni topes externos, provoca un alto riesgo de rotura de los dientes del piñón o de las paletas.

- Actuador de giro mediante piñón-cremallera: En estos actuadores el eje de salida tiene tallado un piñón que engrana con cremallera que está unida a un émbolo doble. Los ángulos de rotación varían entre 90° y 180° . Se muestra un ejemplo en la figura 3.19.
- Actuador de giro por paletas: La presión del aire actúa sobre una paleta que está unida al eje de salida. La paleta hace un cierre hermético mediante una junta de goma o por un revestimiento elastomérico. Una junta especial tridimensional cierra el tope contra el eje del asiento. El tamaño del tope determina el giro: 90° , 180° , 270° .

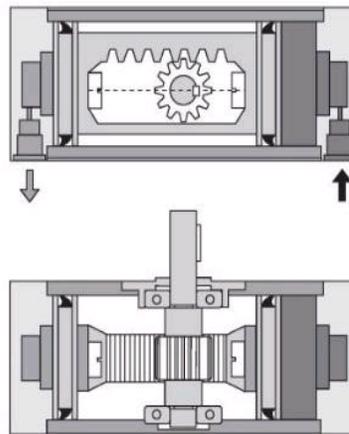


Figura 3.19: Actuador de giro mediante piñón-cremallera

3.4.1.3. Pinzas neumáticas

El objeto de toda manipulación es sujetar la pieza para poderla trasladar posteriormente a través de ejes matrices. Las pinzas neumáticas, en este aspecto, podemos considerarlas como las manos que cogen y sujetan estas piezas. La manipulación de productos representa una fase esencial en la mayoría de los procesos industriales. En la industria las funciones de manipulación son necesarias en cada una de las operaciones de alimentación y descarta de las maquinas que operan en el proceso. Los cilindros sin vástago o mesas lineales son elementos útiles para estos trabajos. También con la ayuda de la tecnología de vacío se pueden sujetar piezas mediante ventosas adecuadas.

3.4.2. Actuadores hidráulicos

La neumática tiene una serie de límites de fuerza y de precisión en el movimiento. Industrialmente, por ejemplo, resulta excepcional comprimir el aire a más de 20 atmósferas, siendo frecuentes posiciones del orden de 6 atmósferas. Ello significa que, para obtener fuerzas suficientes para sujetar o prensar algunas piezas, se necesitarían cilindros neumáticos de gran tamaño. Como esto no es rentable ni eficaz, se utiliza otra tecnología: la tecnología hidráulica. En las instalaciones hidráulicas pueden obtenerse presiones de 200 atmósferas y más.

Con frecuencia suelen diseñarse circuitos mixtos en los que el aire y el aceite son los transmisores de energía. Por ejemplo, en los procesos de mecanizado algunas máquinas herramienta suelen poseer movimientos compuestos de dos tipos: un primer movimiento, rápido, de aproximación de la herramienta, y un segundo movimiento, más lento, que ajusta la posición y ejerce presión. El primer movimiento se realiza mediante un circuito neumático y el segundo mediante un circuito hidráulico.

Este tipo de circuitos oleoneumáticos aprovechan las propiedades de la regularidad de la velocidad de los actuadores hidráulicos (oleohidráulico si el fluido es aceite). Como sabemos el aire es compresible y el aceite, a efectos prácticos, no lo es [8].

Algunas de las aplicaciones de la hidráulica son:

- Máquinas herramienta: Movimientos de avance en unidades de mecanizado, sujeción de piezas, movimientos de la mesa en rectificadoras, etc.
- Vehículos: Frenos, cambios automáticos, elevación y basculación de cargas, etc.
- Prensas: Compresión de piezas, sujeción, movimiento de separación, etc.
- Maquinaria de obras públicas: Sistemas de prensado, sujeción, elevación y manipulación de la carga.
- Aviones: Trenes de aterrizaje retráctiles, movimiento de timones, alerones.

- Grúas y brazos robotizados: Levantamiento, traslado y manipulación de cargas.

Los elementos de trabajo son aquellos que realizan propiamente el trabajo mecánico deseado. En ellos se transforma la energía de presión que les llega a través del fluido en trabajo mecánico en dos formas, de ahí los actuadores hidráulicos se clasifican en:

- Actuadores lineales, llamados Cilindros.
- Actuadores rotativos, en general denominados motores hidráulicos.

Los actuadores son alimentados con fluido a presión y se obtiene un movimiento con una determinada velocidad, fuerza, o bien velocidad angular y momento a partir de la pérdida de presión de un determinado caudal del fluido en cuestión.

$$\text{Potencia de Entrada} = \text{Presión} \times \text{Caudal}$$

$$\text{Potencia Entregada en el Actuador} = \text{Variación de Presión} \times \text{Caudal.}$$

Esta variación de presión deberá computarse entre la entrada y la salida del actuador. En estas expresiones no consideramos las pérdidas por rozamiento que existen y no se debe dejar de tenerlas en cuenta para las realizaciones prácticas.

La potencia mecánica de salida estará dada en los actuadores lineales por:

$$\text{Potencia de Salida} = \text{Fuerza} \times \text{Velocidad}$$

Y en los actuadores rotativos por:

$$\text{Potencia de Salida} = \text{Momento Motor (Torque)} \times \text{Velocidad Angular}$$

Es evidente que las pérdidas entre la potencia de entrada y salida serán las pérdidas por rozamiento.

3.4.2.1. Tipos de actuadores hidráulicos

Los tipos más comunes de actuadores hidráulicos son los lineales y los rotativos, llamados estos últimos motores hidráulicos.

Actuadores lineales o cilindros El cilindro es el dispositivo más comúnmente utilizado para conversión de la energía antes mencionada en energía mecánica. En la figura 3.20 se ve el esquema de un cilindro hidráulico. Cuando se alimenta con fluido hidráulico por la boca posterior avanza. La velocidad de avance es proporcional al Caudal e inversamente proporcional al área posterior del pistón.

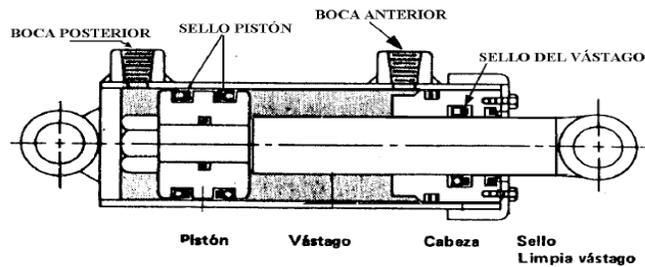


Figura 3.20: Cilindro hidráulico

La presión del fluido determina la fuerza de empuje de un cilindro, el caudal de ese fluido es quien establece la velocidad de desplazamiento del mismo. La combinación de fuerza y recorrido produce trabajo, y cuando este trabajo es realizado en un determinado tiempo produce potencia. Ocasionalmente a los cilindros se los llama “motores lineales”.

Las partes de trabajo esenciales son:

1. La camisa cilíndrica encerrada entre dos cabezales
2. El pistón con sus guarniciones
3. El vástago con su buje y guarnición.

Tipos de cilindros

Cilindro de presión dinámica.

Lleva la carga en la base del cilindro. Los costos de fabricación por lo general son bajos ya que no hay partes que resbalen dentro del cilindro.

Cilindro de Efecto simple.

Existen cilindros de simple efecto, en ese caso sólo una cámara es alimentada por aceite, la otra queda vacía conectada al exterior y el movimiento que correspondería al aceite llenando la cámara se reemplaza por la gravedad, o bien por un resorte. La carga puede colocarse solo en un extremo del cilindro.

Cilindro de Efecto doble.

En el cilindro de efecto doble con doble vástago la carga puede colocarse en cualquiera de los lados del cilindro. Se genera un impulso horizontal debido a la diferencia de presión entre los extremos del pistón. Es de hacer notar que para que el pistón avance será necesario que el fluido presente en la cámara anterior salga por la boca correspondiente. Cuando se desea que el pistón entre se debe alimentar por la boca anterior y sacar el fluido de la cámara posterior. Este cambio de direcciones del fluido se logra mediante las válvulas direccionales.

Cilindro telescópico.

La barra de tipo tubo multietápico es empujada sucesivamente conforme se va aplicando al cilindro aceite a presión. Se puede lograr una carrera relativamente en comparación con la longitud del cilindro. Tienen dos o mas buzos telescópicos y se construyen con un máximo de seis. Usualmente son de simple efecto.

Motores hidráulicos

El motor hidráulico necesita una admisión y una expulsión de fluido con una determinada presión y caudal. Los elementos capaces de controlar un caudal o una presión, se denominan válvulas.

Son maquinas reversibles en relación con las bombas, la mayor parte de sus parámetros característicos son idénticos. La velocidad de giro se obtiene a partir del caudal, dividiéndolo por el desplazamiento y el par motor es el momento de giro que es capaz de comunicar el motor a su eje. Los motores hidráulicos pueden dar par sin efectuar movimiento, dependiendo de la presión de trabajo y del desplazamiento.

Tipos de motores hidráulicos

Motores de engranes: Son los mas sencillos y baratos. Son de tamaño reducido y pueden girar en los dos sentidos, pero el par es pequeño.

Motores de paletas: Junto con los de pistones son los mas empleados. El movimiento radial de las paletas debe ser forzado. Los hay con un solo rodete, con dos y hasta con tres, figura 3.21.

Motores de pistones: Son los mas empleados de todo ya que se consiguen las mayores potencias trabajando a altas presiones. Los pistones pueden ir dispuestos perpendicularmente al eje del motor (pistones radiales) o en la dirección de eje (pistones axiales).

Motor de pistones axiales: El líquido entra por la base del pistón y lo obliga a desplazarse hacia fuera. Como la cabeza del pistón tiene forma de rodillo y apoya sobre una superficie inclinada, la fuerza que ejerce sobre ella se descompone según la dirección normal y según la dirección tangencial a la superficie. Esta última componente la obliga a girar, y con ella, solidariamente, al eje sobre la que va montada. Variando la inclinación de la placa o el basculamiento entre el eje de entrada y de salida se puede variar la cilindrada, y con ella el par y la potencia.

Motor de pistones radiales: El principio de funcionamiento es análogo al de los axiales pero aquí el par se consigue debido a la excentricidad, que hace que la componente transversal de la fuerza que el pistón ejerce sobre la carcasa sea distinta en dos posiciones diametralmente opuestas, dando lugar a una resultante no nula que origina el par de giro, figura 3.21.

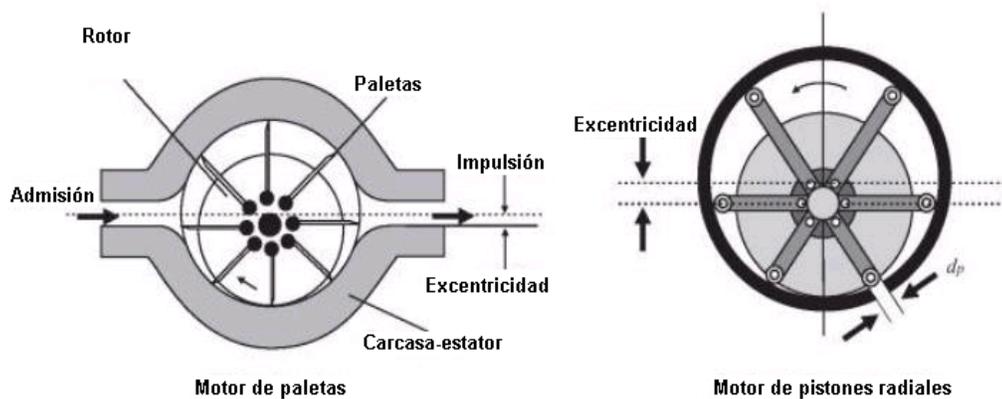


Figura 3.21: Motores hidráulicos

3.4.3. Actuadores eléctricos

Como se ha visto para montar o usar los actuadores neumáticos e hidráulicos se tiene una implantación compleja y costosa, además de un mantenimiento periódico. En las industrias se utilizan estos, debido a la robustez necesaria, pero que pasa cuando no se necesita tanta potencia que nos proveen los sistemas hidráulicos o la velocidad de los sistemas neumáticos y se pretende automatizar procesos industriales que requieran de la electricidad solamente. Por esto necesitamos de los actuadores eléctricos. Para cada vez más aplicaciones y en la selección de actuadores se prefieren accionamientos electromecánicos frente a accionamientos técnicos de fluidos

Ventajas

- Elevado nivel de rendimiento mecánico.
- Larga vida útil, bajos costes de mantenimiento.
- Instalación y puesta en marcha sencilla y económica.
- Baja potencia eléctrica y bajo consumo de corriente.
- Funcionamiento ecológico y altamente seguro al no haber fugas ni problemas de congelación.
- Modulación de velocidad.

Se pueden clasificar por la conversión que hacen de la electricidad a mecánica:

- Actuadores lineales eléctricos
- Actuadores rotativos eléctricos ó motores eléctricos.

3.4.3.1. Actuadores lineales (Cilindro y eje electrico)

Igual que los neumáticos e hidráulicos sirven para posicionamientos y movimientos lineales. Nos topamos con dos tipos de actuadores lineales, que son los cilindros y los ejes.

Cilindro eléctrico

El cilindro eléctrico es un eje lineal mecánico con vástago. El conjunto de accionamiento está compuesto por un husillo que transforma el movimiento giratorio de un motor en un movimiento lineal del vástago.

Hoy en día no es posible imaginarse algo diferente a un accionamiento lineal eléctrico de husillos a bolas para la construcción de máquinas herramientas y de instalaciones modernas. En casi la totalidad de todas las máquinas herramientas modernas se utilizan accionamientos de husillos a bolas. También para la automatización del proceso con requerimientos máximos de exactitud de posicionamiento y, al mismo tiempo, una frecuencia alta de ritmo de trabajo son apropiados especialmente los accionamientos de husillos a bolas. Siempre que se necesite un posicionamiento exacto bajo frecuencias de conexión muy altas se hace uso de estos elementos de accionamiento.

Los cilindros eléctricos son autoblocantes, lo que significa que en estado de reposo no requieren energía. Esto hace que sean una alternativa interesante frente a los actuadores neumáticos e hidráulicos. En la figura 3.22 podemos ver la vista en sección de lo que es el cilindro eléctrico.

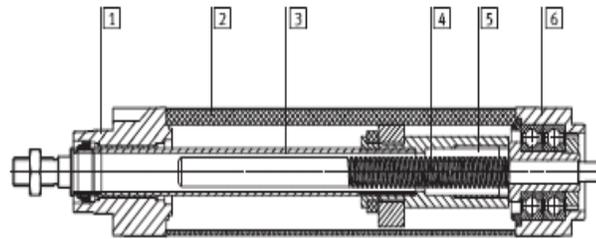


Figura 3.22: Cilindro Eléctrico

1. Culata anterior.
2. Camisa del cilindro.
3. Vástago.
4. Husillo.
5. Tuerca del husillo.
6. Culata de accionamiento.

En la culata de accionamiento se acopla un motor eléctrico de corriente continua. Según las necesidades, ya sea de espacio o de comodidad, se acopla de tres formas: Lineal respecto al cilindro, a 90° quedando escuadra al cilindro, ó bien en paralelo acoplado con bandas.

Husillo a bolas

Los husillos a bolas como elementos mecánicos corresponden a los mecanismos para transformar los movimientos giratorios en movimientos lineales, también conocidos como sistemas de transmisión lineal sobresaliendo en ellos las características de rigidez, precisión, larga vida de utilización y gran rendimiento. Los husillos a bolas para su perfecto funcionamiento deben de ser montados alineados con el sistema de guiado de la masa a desplazar.

Un accionamiento de husillos a bolas se compone del husillo (Tornillo), el sistema de tuercas con retornos de bolas y las bolas como elementos de guía, las bolas conectan el husillo con la tuerca al rodar en sus vías entre husillo y tuerca como se muestra en la figura 3.23. Como elemento de accionamiento sirve también para la conversión de desplazamiento giratorio en desplazamiento lineal y viceversa.



Figura 3.23: Husillo a bolas

Eje eléctrico

Este tipo de actuador lineal sirve comúnmente para transportar. A diferencia del cilindro eléctrico (que empuja y jala), este funciona como un “carrito” que transporta un objeto de un extremo a otro. En la figura 3.24 podemos ver la vista en sección del eje eléctrico accionado por correa dentada.

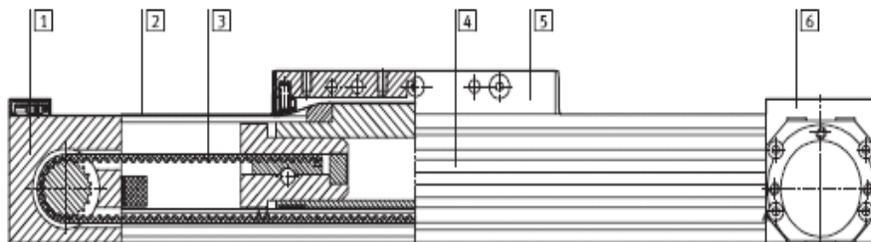


Figura 3.24: Eje Eléctrico

1. Cuerpo del elemento de desviación.
2. Banda de cierre.
3. Correa dentada.
4. Perfil.
5. Carro.
6. Cuerpo de la unidad del accionamiento.

Al igual que en el cilindro se puede utilizar el husillo para accionar el posicionamiento y mover el carro, considerándose un actuador lineal sin vástago. El husillo suple la función que hace la correa dentada.

Los ejes eléctricos como su nombre lo indica se aplican en posicionamientos con desplazamiento por los ejes X, Y, Z. como se muestra en la figura 3.25.

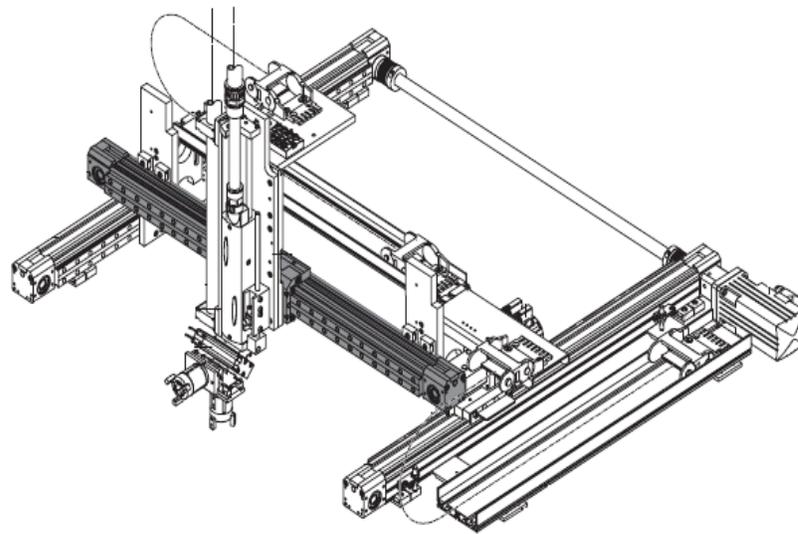


Figura 3.25: Desplazamiento por ejes X, Y, Z.

3.4.3.2. Motores eléctricos de CC y CA

El motor eléctrico es una máquina que puede convertir la electricidad en movimiento rotatorio, con objeto de que efectúe un trabajo útil. Por lo tanto el motor eléctrico representa uno de los mayores avances logrados para controlar fuerzas naturales y hacer que desarrollen algún trabajo para el hombre.

En un principio, el hombre substituyó su propia fuerza muscular con la de los animales y, luego, con la potencia que obtuvo de las fuerzas naturales que tenía al alcance, tales como el viento y el agua. Después cuando Volta inventó la primera pila o célula electrolítica, se logró el control sobre una forma de energía, la eléctrica.

Motores de continua

Fundamento. Un motor de continua es un actuador electromecánico que hace girar un eje basándose en la interacción entre dos dipolos magnéticos, uno fijo y otro dispuesto sobre una pieza que puede girar, denominada rotor, figura 3.26. El dipolo fijo puede ser un imán permanente o un electroimán alimentado por corriente continua (devanado de excitación de campo). El dipolo móvil es un electroimán consistente en una bobina, denominada armadura, devanada sobre un soporte ferromagnético y alimentada por una corriente continua cuya polaridad se invierte cada semiciclo (o fracción de ciclo) de rotación por la acción del conmutador.

Un conmutador simple consta de colector y escobillas. El colector es un anillo de cobre dividido en dos o más partes aisladas eléctricamente, y montado sobre el eje de giro, del que está también aislado eléctricamente. Cada segmento del anillo está conectado permanentemente a un extremo de la armadura, y está en contacto con una escobilla distinta durante cada semiciclo, y por ello el sentido de la corriente en la armadura cambia también a cada semiciclo. De esta forma, durante un semiciclo cada polo de la armadura es atraído en una dirección y cuando se llega a la que sería la posición estable, el cambio de sentido de la corriente provoca un cambio de polaridad magnética con la consiguiente repulsión-atracción que hace que la armadura siga girando, y complete así una vuelta. Al acabar ésta, cambia de nuevo la polaridad y se repite el ciclo, girando de forma continua.

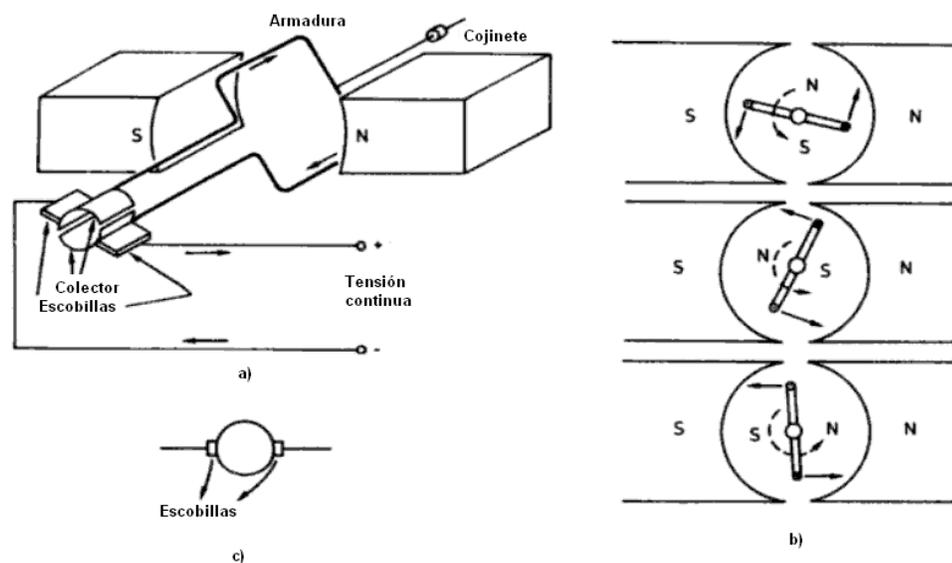


Figura 3.26: Motor elemental de corriente continua. a) Estructura. b) Fundamento: la atracción-repulsión y la conmutación de la corriente de la armadura hace que el rotor siga girando. c) Símbolo.

Si la densidad de flujo magnético presente es B y cada lado de la espira tiene una longitud l , la fuerza F sobre dicho segmento conductor cuando por él circula una corriente I_a es:

$$F = I_a l \times B \quad (3.1)$$

Por un lado de la espira cuya dirección sea paralela al eje de giro y perpendicular al flujo (perpendicular a su vez a la superficie de cada polo del dipolo fijo), tendremos [11]:

$$F = B I_a l \quad (3.2)$$

Se puede construir un motor elemental de c-c como el que se ha mencionado, pero, aunque funcione, tiene dos importantes limitaciones que restringen su utilidad. En primer lugar, no siempre puede arrancar por sí solo y, una vez que esta funcionando, lo hace en forma muy irregular.

El motor elemental de c-c tiene su armadura con una sola espira y cuando esta última está en el plano neutro como en la figura 3.27, el motor no puede arrancar por sí solo. En el plano neutro no hay corriente en la armadura, debe recordarse que el plano neutro, los flujos no interactúan. Como resultado, no se podría producir par y la inercia mantendría al motor en reposo, hasta quitar manualmente la armadura del plano neutro.

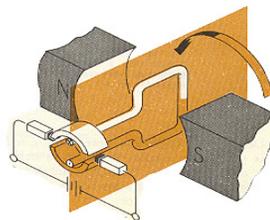


Figura 3.27: Plano neutro en el motor elemental

Se puede lograr que el motor elemental arranque por sí solo si se le instala una armadura de dos o más espiras. En este tipo de armadura, las espiras se colocan de modo que formen un ángulo recto entre sí, así cuando una de ellas está en el plano neutro, la otra está en el plano de par máximo. En este caso el conmutador está dividido en dos pares de segmentos como se muestra en la figura 3.28, es decir en cuatro partes y cada segmento está conectado a cada Terminal de una espira de la armadura.

Entonces al aumentar más espiras a la armadura de un motor solo se logra que esté se ponga en marcha por sí solo, no necesariamente que el motor funcione con uniformidad requerida para que sea efectivo con carga. Si se conectan las espiras de la armadura de tal modo que estén dispuestas como circuito en serie, entonces se podrá usar solo un par de escobillas para que simultáneamente se alimente corriente a todas las espiras. Como resultado todos los devanados originarán par al mismo tiempo, favoreciendo el

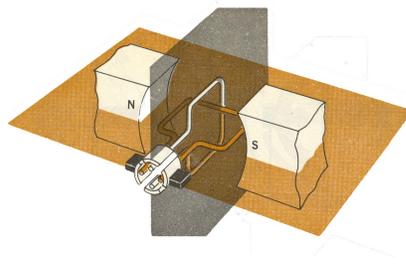


Figura 3.28: Motor elemental de cuatro espiras

funcionamiento del motor.

En la figura 3.29 se muestra un motor y como podemos notar en el conmutador tenemos varias espiras lo que nos proporciona mayor par y mejor funcionamiento del motor. Los cojinetes sostienen la armadura y permiten que la rotación a alta velocidad sea suave y con un mínimo de fricción. Cuando se usan baleros estos se montan a presión en los extremos del eje de la armadura y en la suspensión de los cabezales. Los cojinetes de algunos motores están hechos de modo que tengan lubricación permanente, para toda la vida del motor. En otros motores se cuenta con algún medio para lubricar periódicamente los cojinetes.

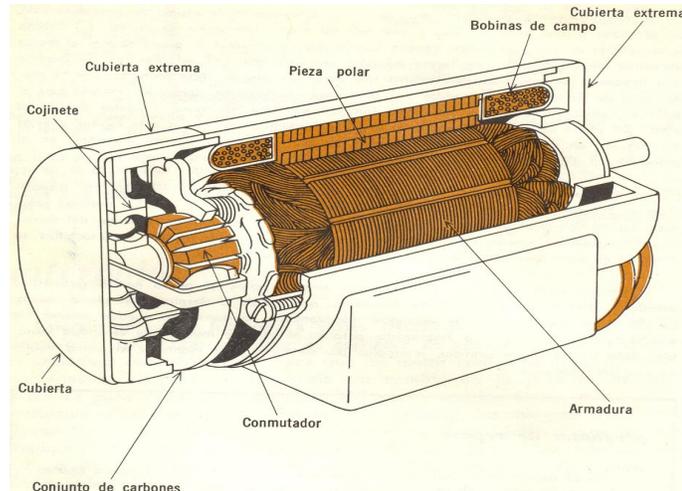


Figura 3.29: Motor de corriente continua

Hay diferentes tipos de devanados, se clasifican en devanados de anillo y devanados de tambor, según la forma que tenga el núcleo de la armadura. En el devanado de anillo de Gramme el núcleo de armadura es un anillo de hierro, alrededor de el se embobina un devanado continuo y cerrado, aunque en lugar de anillo de Gramme, la mayor parte de los motores modernos tienen el núcleo de la armadura en forma de tambor, el cual las bobinas que constituyen la armadura devanada en tambor se hallan alrededor del núcleo de la

armadura. Básicamente hay dos formas en que se dispone el devanado de los tambores en uso: Devanados imbrincados y devanados ondulados. El imbrincado se usa para motores de baja tensión y alta corriente. El ondulado se usa en motores que requieren alta tensión y baja corriente.

Clasificación de los motores de c-c

Los motores de corriente continua han sido clasificados eléctricamente según la forma en que sus devanados de campo están conectados a la fuente de energía eléctrica que los impulsa:

- De derivación o shunt
- De serie
- Compound

De derivación o shunt

Debe su nombre a que su devanado de campo esta conectado a la alinea de alimentación de potencia en paralelo con el devanado de armadura, lo cual significa que existe una trayectoria independiente para el flujo de corriente a través de cada devanado. La corriente de campo puede mantenerse constante y el circuito de armadura solo sirve para controlar al motor. Así, una de las principales características de este tipo de motor es el hecho de que puede mantener una velocidad constante al alimentar una carga variable y la carga puede quitarse totalmente sin peligro para el motor. Fig

De serie

El motor de serie debe su nombre al hecho de que su devanado de campo esta conectado en serie con la armadura, lo cual significa que fluye una corriente común a través de ambos devanados. Lo que suceda a la corriente de armadura a causa del impulso de una carga se "siente" automáticamente en el devanado de campo

En el motor en derivación, cuando el par aumenta, la velocidad también aumenta y viceversa. En el motor en serie, sucede lo contrario, es decir: el par y la velocidad son inversamente proporcionales. Si el par es elevado la velocidad baja, y cuando el par es bajo, la velocidad aumenta. Esto hace que este tipo de motor tenga una tendencia a "desbocarse" si se le pone en marcha o si se le deja de funcionar sin carga.

Compound

El motor serie tiene características especiales que no tiene el de derivación y viceversa. Por ejemplo, la característica de velocidad constante del motor de derivación no se encuentra en el motor serie y la

excelente característica de alto par en el motor de serie no se encuentra en el motor de derivación. Es claro que conviene combinar las mejores características de cada uno de ellos. Estas características se pueden combinar dando al motor dos devanados de campo, uno en serie con la armadura y el otro en paralelo con ella. A este tipo de motor se le llama compound.

Para comprender cómo funciona un motor compound, se considera un motor de derivación con un campo en serie extra. Al aumentar la carga en este tipo de motor y aminorar su velocidad, el aumento resultante en la corriente de armadura también hace que aumente la intensidad en el devanado de campo en serie. Como se obtiene mayor cantidad de flujo interactuante, el par aumenta. En consecuencia, con la combinación se han arreglado algunas de las cualidades del motor en serie al de derivación [9].

Motores de paso a paso

Fundamento. En un motor de paso a paso cada vuelta del rotor se completa mediante la sucesión de paso o saltos discretos, todos ellos de igual amplitud, denominados paso angular o ángulo incremental. La posición del rotor al final de cada paso es estable, de manera que permanece en ella si no se envía una excitación adicional en forma de impulso de tensión o corriente. El movimiento del rotor no es, pues, continuo, sino a saltos provocados por la alimentación secuencial de las bobinas del estator, denominadas fases. Cada fase está devanada sobre dos dientes diametralmente opuestos o sobre varios dientes equidistantes. La velocidad de rotación depende del número de pasos de cada vuelta y de la frecuencia de los impulsos de excitación. El motor se alimenta con corriente continua y mediante circuitería lógica adicional se consigue la secuencia de impulsos necesaria para las fases del estator. El sentido de giro se controla mediante la secuencia de alimentación de las fases [11].

Servomotores

Fundamento. Un servomotor (también llamado Servo) es un dispositivo similar a un motor de corriente continua, que tiene la capacidad de ubicarse en cualquier posición dentro de su rango de operación y mantenerse estable en dicha posición. Está conformado por un motor, una caja reductora y un circuito de control. Los servos se utilizan frecuentemente en sistemas de radio control y en robótica, pero su uso no está limitado a estos. Dependiendo del modelo del servo, la tensión de alimentación puede estar comprendida entre los 4 y 8 voltios. El control de un servo se reduce a indicar su posición mediante una señal cuadrada de voltaje. El ángulo de ubicación del motor depende de la duración del nivel alto de la señal como se muestra en la fig.. Cada servo motor, dependiendo de la marca y modelo utilizado, tiene sus propios márgenes de operación.

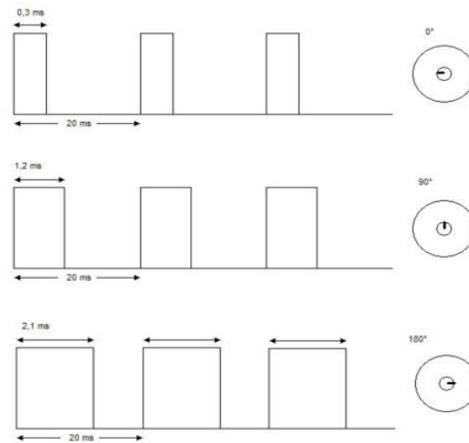


Figura 3.30: Angulo del servomotor

Motores de CA

Fundamento. Para impulsar este tipo de motores se utiliza la corriente alterna, aplicada esta al devanado del estator, el campo generado entre polos alterna con la potencia alterna aplicada; al hacerlo, el campo se establece desde cero hasta un máximo en una dirección, se reduce, pasa nuevamente por cero y luego repite el ciclo en dirección opuesta. El rotor del motor básico de c-a se comporta como si fuese un imán permanente.

Cuando se empieza a aplicar una corriente alterna al estator electromagnético, en el instante T_0 no se origina campo magnético entre los polos del estator, ya que la corriente es nula. Sin embargo en el tiempo transcurrido se origina un campo que aumenta según lo hace la corriente aplicada. El estator se pone en marcha y así da origen a polos magnéticos. Como los polos de mismo signo se repelen, el rotor es repelido primero por el campo magnético. Luego, como polos opuestos se atraen, el rotor continuara guiando hasta que sus polos norte y sur queden frente a polos opuestos del estator. En ese instante como la corriente es alterna y cambia entonces sigue girando.

Clasificación de los motores de CA

En un motor de c-a, lo mismo que un motor de c-c, la energía eléctrica se transforma en energía mecánica. Como lo implica su nombre, para impulsar de c-a se usa corriente alterna en lugar de corriente continua además de que tienen una estructura similar, con pequeñas variaciones en la fabricación de los bobinados y del conmutador del rotor. Como la mayor parte de la potencia comercial es alterna, los motores de c-a son más fáciles de usar que los de c-c, que requieren equipo especial de conversión. Según su sistema de funcionamiento, se clasifican en motores de inducción, motores sincrónicos y motores de colector.

Motores de Inducción

Los motores asíncronos o de inducción son aquellos motores eléctricos en los que el rotor nunca llega a girar en la misma frecuencia con la que lo hace el campo magnético del estator. Cuanto mayor es el par motor mayor es esta diferencia de frecuencias. En este tipo de motores el campo magnético del estator induce una corriente en el rotor (al que no se le aplica ninguna corriente externa). A diferencia, pues, de los motores de continua donde la corriente se suministra al rotor mediante colector y escobillas, aquí la corriente del rotor (que realiza el trabajo de salida) se induce desde el estator. De ahí el nombre de motores de inducción. Esta corriente inducida crea a su vez otro campo magnético que interacciona con el original

Síncronos

En los motores síncronos hay un estator como en los motores de inducción, pero en cambio el campo magnético del rotor se produce mediante un devanado alimentado con corriente continua y un sistema de conmutación similar al de los motores de continua (colector y escobillas). Para el arranque se disponen en el rotor barras de cobre como un motor de inducción, una vez su velocidad es próxima a la de régimen, se aplica corriente continua a rotor. El campo que crea esta corriente reacciona con el del estator, de forma que el rotor gira a la frecuencia de alimentación del estator (suponiendo un solo par de polos). Las barras de la jaula de ardilla giran en sincronismo con esta frecuencia por lo que no se induce tensión alguna en ellas. El resultado es un giro en sincronismo con la frecuencia de red, esencialmente constante. Por esta propiedad se emplean en relojes y en contadores, se usan también en periféricos de ordenador y en compresores.

Motores de colector

El problema de la regulación de la velocidad en los motores de corriente alterna y la mejora del factor de potencia han sido resueltos de manera adecuada con los motores de corriente alterna de colector. Según el número de fases de las corrientes alternas para los que están concebidos los motores de colector se clasifican en monofásicos y Polifásicos, siendo los primeros los más Utilizados Los motores monofásicos de colector más Utilizados son los motores serie y los motores de repulsión [9].

Capítulo 4

Controlador Lógico Programable (PLC)

Generalidades de los PLCs

El PLC (por sus siglas en inglés, Programmable Logic Controller), o Controlador Lógico Programable, el cual originalmente se denominaba PCs (Programmable Controllers), pero, con las existentes IBM PCs, para evitar confusión, se emplearon definitivamente las siglas PLC. De hecho en el origen de los PLC la computadora ya existía y se les dio la idea a los fabricantes de que la clase de control que ellos necesitaban podría ser llevado a cabo con algo similar a la computadora. Las computadoras en sí mismas, no eran deseables para esta aplicación por un buen número de razones. La comunidad electrónica estaba frente a un gran reto: diseñar un artefacto que, como una computadora, pudiese efectuar el control y pudiese fácilmente ser re programada, pero adecuado para el ambiente industrial. El reto fue enfrentado y alrededor de 1969, se entregó el primer controlador programable en las plantas ensambladoras de automóviles de Detroit, Estados Unidos.

Inicialmente el PLC se utilizó para sustituir la lógica de los relés, pero su mayor gama de funciones hace que cada vez se encuentre en aplicaciones más complejas. Por que la estructura del PLC esta basada en el mismo principio que es empleado en la arquitectura de las computadoras. Este no solo es capaz de desempeñar las tareas conmutadoras de los relés, sino también de realizar otras aplicaciones tales como contar, calcular, comparar, además de procesar señales analógicas. El control lógico programable es importante porque todos los procesos de producción experimentan una secuencia fija de operaciones que envuelve pasos y decisiones lógicas.

En Europa, el mismo concepto es llamado Autómata Programable. La definición más apropiada es: Sistema Industrial de Control Automático operado digitalmente, que usa una memoria programable para el almacenamiento interno de instrucciones para implementar funciones específicas, tales como lógica, secuenciación, registro y control de tiempos, conteo y operaciones aritméticas para controlar, a través de módulos de entrada/salida digitales (ON/OFF) o analógicos (1-5 VDC, 4-20 mA, etc.), varios tipos de

máquinas o procesos. Es un sistema porque contiene todo lo necesario para operar, e industrial por tener todos los registros necesarios para operar en los ambientes hostiles encontrados en la industria, aunque se pueden utilizar en cualquier ambiente de trabajo que se necesite automatizar.

Esta familia de aparatos se distingue de otros controladores automáticos en que puede ser programado para controlar cualquier tipo de máquina, a diferencia de otros muchos que, solamente pueden controlar un tipo específico de aparato. Un programador o Control de Flama de una caldera, es un ejemplo de estos últimos. Hoy en día, los PLC no sólo controlan la lógica de funcionamiento de máquinas, plantas y procesos industriales, sino que también pueden realizar operaciones aritméticas, manejar señales analógicas para realizar estrategias de control, tales como controladores proporcional integral derivativo (PID). Los PLC actuales pueden comunicarse con otros controladores y computadoras en redes de área local, y son una parte fundamental de los modernos sistemas de control distribuido.

Para entender el funcionamiento, en la figura 4.1 se muestra el esquema de un proceso controlado por un PLC, donde podemos ver desde los sensores que es la información suministrada por el proceso hacia las entradas del PLC, el cual las interpreta mediante el programa y acciona las salidas que están conectadas a los actuadores, estos son los que realizan las acciones sobre el proceso.

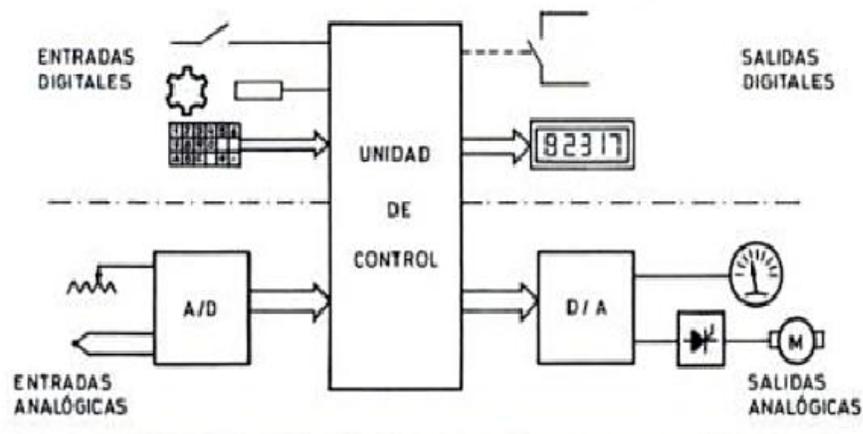


Figura 4.1: Entradas y Salidas de control

4.1. PLC's contra computadoras

La arquitectura del PLC es básicamente la misma para propósito general que la de una computadora. Una computadora personal puede hacer lo que hace el PLC si se proporciona alguna manera de que el equipo reciba información desde los dispositivos tales como pushbuttons o switches. Se necesitaría un programa para procesar las entradas y decidir el significado cuando se turnen en ON y OFF.

Algunas características importantes que distinguen los PLC's del propósito general de las computadoras son: a diferencia de las computadoras, el PLC es designado para trabajar en ambientes industriales con altos rangos de temperatura ambiente y humedad. El diseño del PLC usualmente no es afectado por ruido eléctrico inherente en la mayoría de ubicaciones industriales. Una segunda distinción es que el hardware y software del PLC esta diseñado para su fácil utilización por las plantas eléctricas y los técnicos. A diferencia de las computadoras, el PLC es programado en lógica de escalera (relay ladder logic) o en otros lenguajes fáciles de aprender. Todos los PLC vienen con el lenguaje de programación cargado en la memoria permanente [12].

4.2. Partes de un PLC

Un PLC puede ser dividido en ciertas partes. Esos componentes son: Unidad central de proceso (CPU), la sección de entradas/salidas (E/S), la fuente de alimentación, y el dispositivo de programación como se muestra en la figura 4.2.

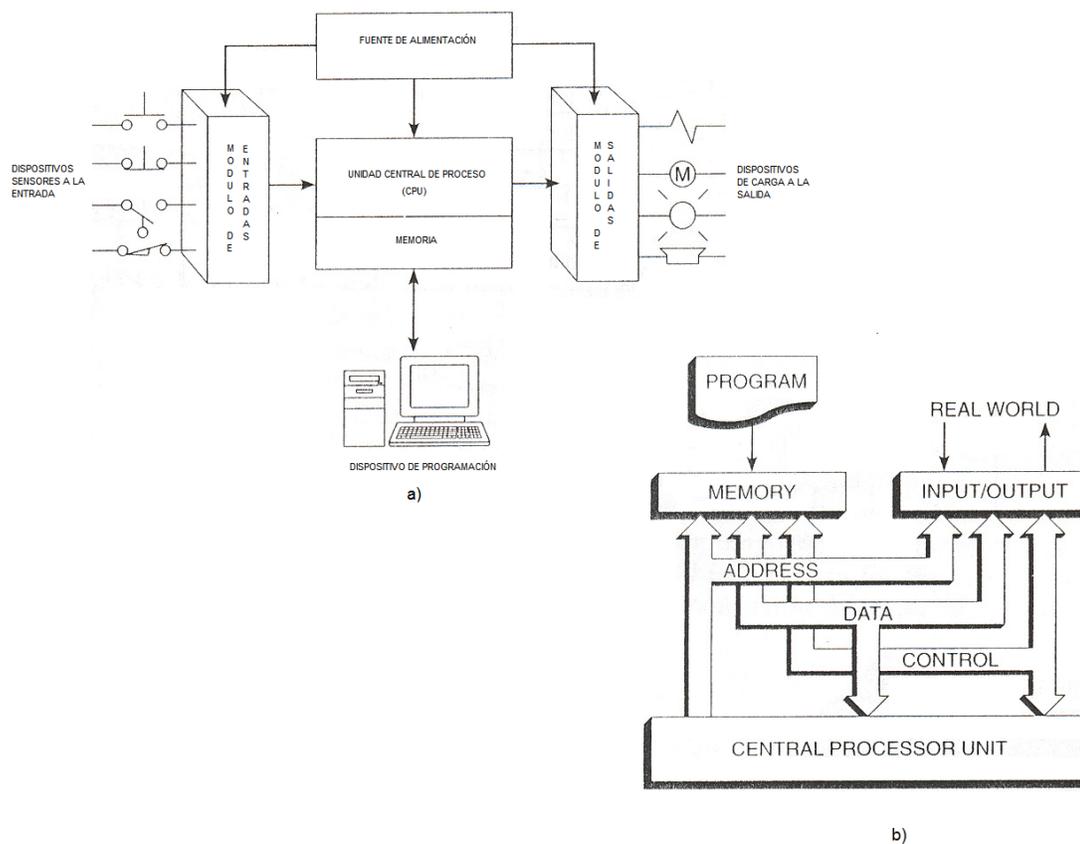


Figura 4.2: a) Partes de un PLC. b) Arquitectura

4.2.1. La sección de Entradas/Salidas (E / S)

Los módulos de interfaz de entrada y salida proporcionan los equivalentes de ojos, oídos, y la lengua al cerebro de un PLC: el CPU

Los módulos de interfaz de entrada aceptan señales de una máquina o dispositivos, y los convierten en señales que pueden ser usadas por el controlador. Los módulos de interfaz de salida convierten las señales del controlador en señales externas para controlar la máquina o el proceso.

Los módulos de entrada realizan cuatro tareas en el control del PLC:

- Sensan cuando una señal es recibida desde un sensor en la maquina.
- Convierten la señal de entrada a un nivel de voltaje correcto para el PLC.
- Aíslan el PLC de las fluctuaciones en los voltajes o corrientes de entrada.
- Mandan una señal al procesador indicando cual sensor origino la señal.

Las entradas/salidas son de dos tipos: fijas o modulares.

Las E/S fijas se encuentran regularmente en los PLC pequeños, que vienen en paquete sin unidades removibles, el procesador y las terminales de E/S se encuentran juntas, sin que puedan ser cambiadas, ver figura 4.3. La principal ventaja de este tipo de paquetes es su bajo costo. El numero de E/S disponibles varia dependiendo el modelo y usualmente pueden ser expandidas comprando una unidad adicional de E/S fijas. Una desventaja es su falta de flexibilidad, además en algunos modelos, si una parte en la unidad falla, toda la unidad tiene que ser remplazada [12].

Las E/S modulares están divididas por compartimientos en los cuales los módulos pueden ser conectados por separado como se muestra en la figura. Esta es una característica relevante en la cual se incrementan las opciones y flexibilidad de la unidad. Un controlador modular básico consiste en: un rack, fuente de alimentación, modulo procesador (CPU), módulos de E/S, y un operador de interface para programar y monitorear. Los módulos se conectan en el rack. Cuando estos se instalan en el rack se hace una conexión eléctrica en una serie de contactos llamada backplane, localizada a un lado del rack. El procesador del PLC se conecta al backplane y así es como se puede comunicar a los módulos en el rack.

Un típico PLC tiene espacio para varios módulos de E/S, lo que le permite ser personalizado para una aplicación particular de la selección de módulos apropiados.

Un beneficio de un sistema de PLC modulares es la capacidad de instalar módulos de E/S cerca de los dispositivos de campo para minimizar la cantidad de cable requerido. Este rack es referido como rack

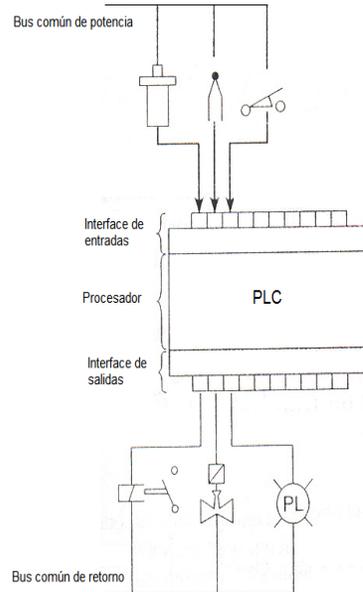


Figura 4.3: Entradas/Salidas Fijas de un PLC

remoto, para comunicarse con el procesador, el rack remoto usa una red de comunicación especial, conectada con un solo cable para comunicarlos entre si. Si es fibra óptica el cable usado entre el CPU y el rack remoto de E/S, es posible operar a distancias mas largas sin caída de tensión en comparación del cable coaxial, además de que el cable coaxial es más susceptible al ruido de las líneas de voltaje o el equipamiento que normalmente se encuentra en el ambiente industrial. Para localizar una entrada o salida de un modulo remoto es determinado por direcciones, cada entrada salida del dispositivo debe de tener una dirección especifica. Esta dirección es usada por el procesador para identificar donde esta localizada y precisamente poder monitorearla o controlarla.

4.2.1.1. Módulos E/S discretos

El tipo más común de E/S son las discretas. Este tipo de interfaz conecta los dispositivos de campo a las entradas, solo con la acción de ON/OFF, por ejemplo con swtiches, pushbuttons o interruptores de límite. Del mismo modo la salida de control esta limitada para dispositivos tales como luces, motores pequeños, arrancadores de motores, contactores, que solo requieran de un simple switcheo ON/OFF.

Las E/S tienen diodos emisores de luz (LEDs) para monitorear las entradas o verificar que las salidas sean las correctas. Hay un LED por cada entrada como por cada salida. Si la entrada o salida esta en estado de ON el LED al igual se prenderá. Son realmente muy útiles para la solución de problemas. Como vimos hay E/S modulares, igualmente también hay módulos específicos de entradas, o específicos de salidas. Estos módulos están disponibles en AC y DC en diferentes rangos de voltaje como se muestra en la tabla 4.1.

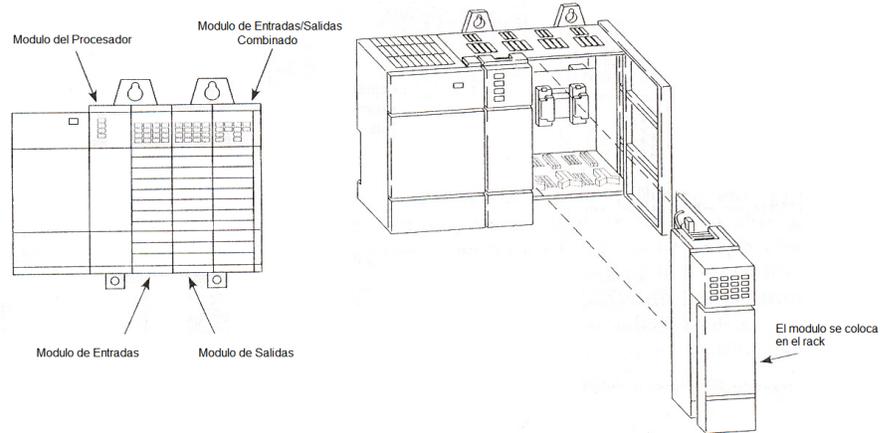


Figura 4.4: Entradas/Salidas modulares de un PLC

Interfaces de entrada	de	Interfaces de salida	de
24 V ac/dc		12 - 48 V ac	
48 V ac/dc		120 V ac	
120 V ac/dc		230 V ac	
230 V ac/dc		120 V dc	
5 V dc (TTL)		230 V dc	
		5 V dc (TTL)	
		24 V dc	

Cuadro 4.1: Módulos E/S disponibles para AC y DC.

El procesador del PLC no trabaja con voltajes tan altos en las entradas ni en las salidas, trabaja con voltajes de bajo nivel. Entonces para hacer la comunicación viene incluido una parte de acoplamiento.

En la figura 4.5 se muestra un diagrama de conexiones para una entrada de un modulo de CA. Cuando el pushbutton es cerrado, los 120 V AC son aplicados al puente rectificador a través de las resistencias R1 y R2. Esto produce un bajo nivel de voltaje en corriente directa, el cual es aplicado al LED del aislador óptico. La tensión nominal (Z_d) del diodo zener fija el nivel mínimo de voltaje que puede ser detectado. Cuando la luz del LED es emitida hacia el fototransistor, este es switchado a conducción y el status del pushbutton es comunicado lógicamente o en un bajo nivel de voltaje DC hacia el procesador.

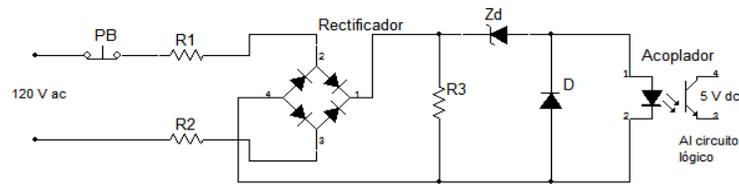


Figura 4.5: Esquema de conexiones de un módulo de entrada de CA al PLC.

En la figura 4.6 se muestra el diagrama de conexiones para la salida de un módulo de salidas de CA. Como parte de la operación normal, el procesador da el estatus de la salida acorde al programa lógico. Cuando el procesador direcciona o acciona una salida, un voltaje es aplicado al LED del aislador. Entonces cuando el LED emite luz, el fototransistor switchea en conducción, accionando seguidamente la compuerta del triac, inmediatamente entra en conducción y la lámpara es encendida.

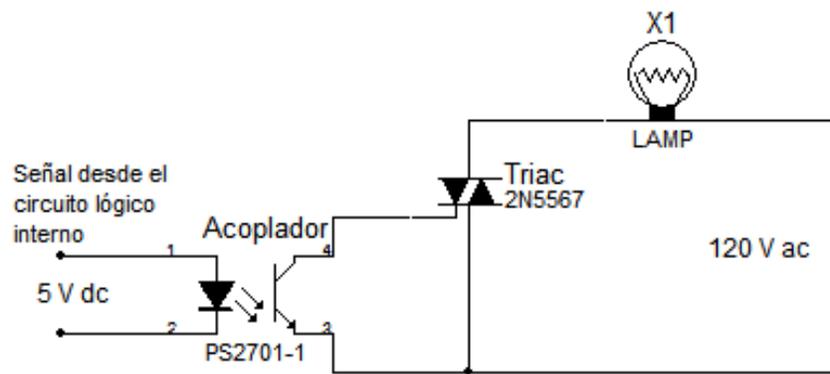


Figura 4.6: Esquema de conexiones de un módulo de salida de CA del PLC

Los módulos o los PLC con salidas fijas pueden comprarse con salidas a transistor, relevador o triac. Las salidas a triac solamente pueden ser usadas con dispositivos de corriente alterna (ca), mientras que las salidas a transistor solamente pueden ser usadas para controlar dispositivos de corriente directa (cd). Las salidas a relevador pueden ser usadas para controlar dispositivos de CA y CD, pero estos tienen un tiempo de switcheo mas lento comparado con salidas de estado sólido, por lo regular vienen limitadas a 1 o 2 amperes, por lo tanto los valores especificados por el fabricante no deben de ser excedidos. Para controlar cargas grandes se deben de controlar mediante relevadores, contactores, arrancadores, etc.

4.2.1.2. Módulos E/S analógicos

Los primeros PLCs estaban limitados solo a interfaces de E/S discretos, solamente se conectaban dispositivos que requirieran On/Off. Esta limitación significa que el PLC puede tener control parcial de algunos procesos de aplicaciones. Hoy en día, hay un completo rango de de ambos interfaces discretas y analógicas disponibles, que permitirán a los controladores que deben de aplicarse a prácticamente cualquier tipo de proceso de control.

Las interfaces de entrada analógicas contienen el circuito necesario para aceptar voltajes analógicos o corriente de la señal analógica de los dispositivos de campo. Estas entradas son convertidas desde un circuito convertidor analógico-digital (A/D), el valor de la conversión el cual es proporcionado desde la señal analógica, es expresada en 12 bits binarios o como código decimal binario (BCD) con 3 dígitos para ser usado por el procesador. Las entradas analógicas sensan dispositivos incluyendo temperatura, luz, velocidad, presión, y transductores de posición.

Hay dos tipos de módulos de entradas analógicas disponibles: detección de corriente y detección de voltaje. Hay dos tipos disponibles de módulos de entrada de voltaje: unipolar y bipolar. Los módulos unipolares aceptan únicamente un polo por entrada, por ejemplo, si la aplicación requiere de una medida de 0 a +10 V, el unipolar debe de ser usado. El bipolar acepta entradas de polaridad positiva y negativa, por ejemplo, si la aplicación produce un voltaje entre -10 a +10 V, el bipolar debe de ser usado por que la medida de voltaje puede ser negativa o positiva. Los módulos de entrada de corriente son normalmente diseñados para medidas de corriente en el rango de 4mA a 20mA.

Los módulos de salida analógica reciben desde el procesador digital de datos una señal la cual es convertida en un voltaje proporcional o corriente para el control de un dispositivo de campo analógico. El dato digital es pasado a través de un convertidor digital-analógico (D/A) para producir la señal analógica necesaria. Los dispositivos analógicos incluyen pequeños motores, válvulas, metros analógicos y displays de 7 segmentos.

4.2.2. La fuente de alimentación

La fuente de alimentación es la que provee de voltaje a todos los módulos conectados en el rack. Si es un sistema de PLC muy grande, la fuente de alimentación no es la misma que alimenta a los dispositivos de campo (sensores, transductores, actuadores, etc.), se utiliza otra fuente de alimentación externa ya sea de corriente alterna (CA) o de corriente directa (CD). Para los sistemas de PLC pequeños o micro, la fuente de alimentación puede ser la misma que alimenta al PLC y a los dispositivos de campo.

La fuente de alimentación del PLC provee de todo el nivel de voltaje requerido para la operación. La fuente de alimentación convierte 120 o 220 V ac en el voltaje dc requerido por el CPU, memoria y el

circuito electrónico de las E/S. El PLC opera en +5 y -5 V dc, por lo tanto la fuente de alimentación debe de ser capaz de rectificar la intensificación de la entrada de voltaje ac a un nivel usable de voltaje dc.

4.2.3. Unidad central de proceso (CPU)

El procesador o CPU es el “cerebro” del PLC. Usualmente consiste de un microprocesador para implementar la lógica y controlar la comunicación entre los módulos. El procesador requiere memoria para guardar los resultados de las operaciones lógicas realizadas por el microprocesador, también requiere memoria para el programa EPROM o EEPROM mas RAM.

El CPU alberga el modulo del procesador, memoria, circuito de comunicaciones, y fuente de poder. La arquitectura de la unidad central de proceso puede diferir de un fabricante a otro pero la mayoría de ellos siguen esta organización: La fuente de alimentación tal vez esta localizada en el interior del CPU o talvez separada de la unidad, montada a un lado del recinto, como se muestra en la figura 4.7.

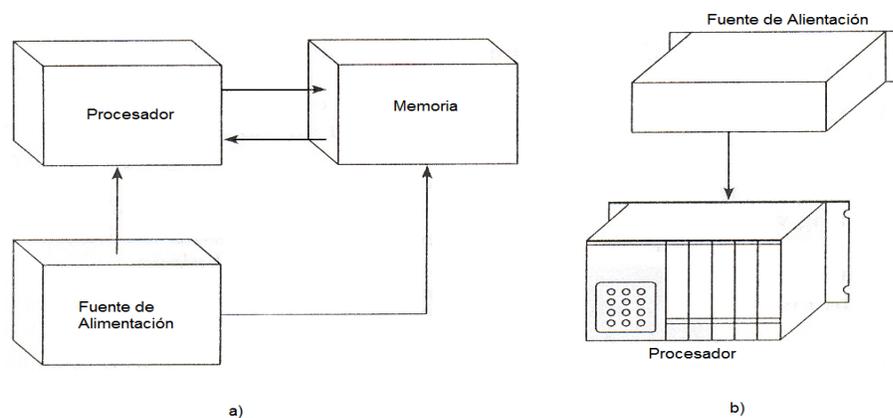


Figura 4.7: Componentes del CPU a) Ilustración simple del CPU b) Fuente de alimentación montada fuera del CPU

La CPU esta diseñada de tal manera que el usuario puede introducir el circuito deseado en lógica de escalera de relevadores. Ahora bien lo primero que hace el procesador es leer los datos de entrada que provienen de los sensores, ejecuta el programa que se encuentra guardado en la memoria por el usuario, y manda los comandos de salida apropiados para el control de dispositivos externos.

El termino CPU a veces es usado intercambiado con el termino procesador, sin embargo por estricta definición, el termino CPU abarca todos los elementos necesarios que forman la inteligencia del sistema. Hay una clara relación entre las secciones que conforman el CPU y la constante interacción entre ellos. El procesador esta continuamente interactuando con la memoria del sistema para interpretar y ejecutar el programa del usuario que controla la maquina o proceso.

El CPU contiene el mismo tipo de microprocesador encontrado en una computadora personal, la diferencia es que el programa usado con el microprocesador es escrito en lógica de escalera en vez de otros lenguajes de programa. El CPU ejecuta la operación del sistema, administra la memoria, monitorea las entradas, evalúa la lógica del usuario (diagrama de escalera), y prende las salidas apropiadas. El CPU de un PLC puede contener más de un microprocesador, la ventaja de usar multiprocesos es que el control de una tarea de comunicación se puede dividir, y la velocidad de operación es mejorada.

Además, el CPU tiene un interruptor llamado keyswitch, el cual permite seleccionar uno de los siguientes tres modos de operación (de lo contrario esos modos de operación deben de poder ser accedidos desde el dispositivo de programación) [12]:

Posición en RUN

- Pone al procesador en modo de operación.
- Ejecuta el programa de escalera y energiza el dispositivo de salida.
- Impide la edición en línea del programa en esta posición.
- Le impide utilizar el dispositivo de interfaz de programador/operador para cambiar el modo del procesador.

Posición en PROG

- Pone al procesador en modo de programación.
- Impide al procesador desde escanear o ejecutar el programa de escalera, y el control de las salidas es des-energizado.
- Permite introducir un programa y editarlo.
- Le impide utilizar el dispositivo de interfaz de programador/operador para cambiar el modo del procesador.

Posición en REM

- Pone al procesador en modo remoto: cualquiera, remoto RUN, remoto PROG o modo de prueba remoto.
- Permite cambiar el modo del procesador al dispositivo de interfaz de programador/operador.
- Permite realizar la edición en línea del programa.

4.2.4. El dispositivo de programación

El dispositivo de programación o Terminal de programación es usado para introducir el programa deseado en la memoria del procesador. Este programa es introducido utilizando la lógica de escalera de relevadores. El programa determina la secuencia de operación y el control que se hará del equipamiento o maquinaria utilizada. El dispositivo de programación debe de ser conectado al controlador solamente cuando se introduce o monitorea el programa.

La unidad de programación puede tener una pantalla (LCD) con una terminal hand-held, una unidad de pantalla LED de una línea, o un teclado y una unidad de pantalla de video. La pantalla de video ofrece la ventaja de mostrar grandes cantidades de lógica en la pantalla, simplificando la interpretación del programa. La unidad de programación se comunica con el procesador a través de un enlace de datos serial o paralelo. Si la unidad de programación no esta en uso, puede ser desconectada y removida, al removerla no afectará la operación del programa de usuario.

El dispositivo de programación permite al usuario introducir, cambiar o monitorear el programa del PLC. Hay varios programadores, por ejemplo el que vemos en la figura 4.8, tiene una terminal industrial que sirve para programar los controladores, cuenta con una pantalla de video, un teclado, y lo necesario para comunicarse con el CPU. Aunque las terminales industriales son dedicadas a una marca de PLC, lo cual es una desventaja ya que saldría muy caro usar un programador para cada marca de PLC.

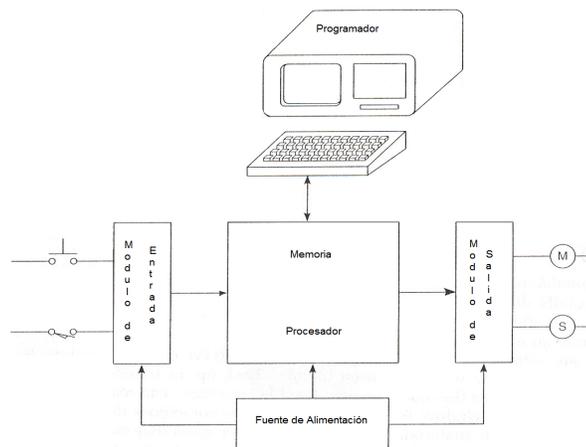


Figura 4.8: Comunicación del usuario con el PLC

Los miniprogramadores, también conocidos como programadores hand-held, son económicos, de fácil uso y portables para programar PLCs pequeños. La pantalla usualmente es LED o cristal líquido (LCD), y el teclado consiste de teclas numéricas, teclas de instrucción de programación, y teclas de función especial. Una vez conectado al PLC, puede ser usado para monitorear el status de las entradas, salidas, variables,

contadores, timers, etc., esto elimina la necesidad de acarrear un dispositivo de programación grande por toda el piso de la fabrica o empresa, figura 4.9.

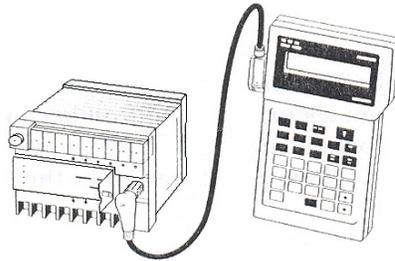


Figura 4.9: Miniprogramador de PLC's

Actualmente la computadora personal es comúnmente usada como dispositivo de programación. Esta es convertida en un dispositivo de programación de PLCs con la ayuda de un software suministrado en un disco compacto (CD). La misma computadora puede programar varias marcas de PLC teniendo el software hecho por el fabricante. También es posible acarrear la computadora personal para programar el PLC, y cuando la programación es completada, se guarda el programa en una ubicación de la computadora y permanece ahí para cuando sea requerida nuevamente. Además puede ser usada para documentar el programa, se pueden poner notas técnicas añadidas al diagrama de escalera y así poder imprimir para obtener una copia. Esta copia es muy útil para el entendimiento y la resolución de problemas del diagrama de escalera.

4.2.5. Memoria

La memoria es cuando el plan de control o el programa se mantiene o se almacena en el controlador. La información almacenada en la memoria se refiere a como la entrada y salida de datos deben de ser procesados. La complejidad del programa determina la cantidad de memoria requerida. Los elementos de la memoria almacenan individualmente piezas de información llamadas bits (para dígitos binarios). La cantidad de capacidad de memoria esta especificada en incrementos de 1000 o en "K", donde 1K es 1024 bytes de memoria de almacenamiento.

La memoria local se refiere a una dirección en la memoria de la CPU cuando una palabra binario se puede almacenar. Una palabra consiste usualmente de 8 a 16 bits. Un solo contacto puede utilizar una ubicación en la memoria de la maquina. El número total de dígitos, o bits, que pueden ser almacenados en la memoria RAM del PLC se llama capacidad de la memoria. El uso de memoria se refiere al número de localidades de memoria necesaria para almacenar cada tipo de instrucción.

La memoria del PLC se divide en secciones que tienen funciones específicas. Las secciones de memoria son usadas para almacenar la situación de entradas y salidas llamadas tablas de entrada y de salida.

Aunque existen muchos tipos, la memoria se puede colocar en dos categorías generales: volátil y no volátil. Volátil es aquella memoria cuya información se pierde al interrumpirse el flujo de corriente eléctrica. No volátil es un tipo de memoria cuyo contenido no se pierde al interrumpirse el flujo eléctrico que la alimenta.

La memoria del PLC ejecuta rutinas de control para asegurarse de que la memoria del PLC no ha sido dañada. Esto ayuda asegurar que el PLC no ejecute si la memoria está dañada.

4.2.5.1. Tipos de memoria

Actualmente los PLC hacen uso de muchos tipos diferentes de dispositivos de memoria volátiles y no volátiles. Algunas memorias de los PLC se utiliza para conservar la memoria del sistema y algunos se usa para conservar la memoria de usuario. Los datos son almacenados en la memoria local por un proceso de escritura. Los datos son obtenidos de la memoria por lo que se denomina lectura.

Una clasificación de memorias, atendiendo a sus características de lectura y escritura podría ser la que aparece a continuación:

- Memorias de lectura/escritura, RAM
- Memorias de sólo lectura, no reprogramables, ROM
- Memorias de sólo lectura, reprogramables, con borrado ultravioletas, EPROM
- Memorias de solamente lectura alteradas por medios eléctricos EEPROM.

Las memorias de lectura/escritura, RAM pueden ser leídas y modificadas cuantas veces sea necesario a través de los buses internos, y de forma rápida. Sus inconvenientes son su relativamente baja densidad de integración (poca capacidad de almacenamiento) y sobre todo, su carácter volátil, que provoca la pérdida de información cada vez que cae la tensión de alimentación. Las memorias RAM se utilizan principalmente como memorias de datos internos, y únicamente como memorias de programa en el caso de que pueda asegurarse el mantenimiento de los datos con una batería exterior.

Las memorias de solo lectura no reprogramables, ROM, no pueden ser modificadas en ninguna forma. Dentro del autómata, las memorias ROM se utilizan para almacenar el programa monitor, que contiene las siguientes rutinas, incluidas por el fabricante:

- Inicialización tras puesta en tensión o reset.
- Rutinas de test y de respuesta a error de funcionamiento.
- Intercambio de información con unidades exteriores.
- Lectura y escritura en las interfaces de E/S.

Además, este monitor puede contener el intérprete del programa de usuario, si existe. El contenido de esta memoria no es accesible desde el exterior. Las memorias reprogramables, EPROM, son memorias de sólo lectura que pueden programarse con un circuito especial, después de borrar su contenido. Las células de memoria son borradas con luz ultravioleta que penetra en el chip a través de una ventana de cuarzo en su cara superior. Este proceso obliga a su extracción del autómata y, por lo tanto, a la interrupción del funcionamiento. Normalmente, estas memorias se utilizan para almacenar el programa del usuario, una vez que ha sido convenientemente depurado.

Las EEPROM o memorias reprogramables son memorias de solo lectura alterables por medios eléctricos, es decir, reprogramables sobre el propio circuito, sin necesidad de extracción y borrado exterior. Los procesos específicos de almacenamiento y borrado de las memorias EEPROM hacen que los tiempos de acceso para la lectura, y especialmente para escritura, sean largos en comparación con los correspondientes a las memorias RAM/EPROM. Sin embargo, desde el punto de vista usuario, estos inconvenientes no los son tanto, y para él, en definitiva, las memorias EEPROM combinan la no volatilidad de las memorias ROM y EPROM con la reprogramabilidad de las memorias RAM, que se les permite ser modificadas directamente sobre el circuito mediante señales eléctricas.

Hay que advertir, sin embargo, que el número de operaciones de borrado/escritura está limitado a algunos cientos de miles, por lo que estas memorias, utilizadas como área interna de trabajo, se destruirán con rapidez bajo la acción del procesador.

Así, las memorias EEPROM se emplean principalmente para almacenar programas, aunque en la actualidad es cada vez más frecuente el uso de combinaciones RAM + EEPROM, utilizando estas últimas como memorias de seguridad que salvan el contenido de las RAM en caso de interrupción del suministro eléctrico. Una vez reanuda la alimentación, el contenido de las EEPROM se vuelca de nuevo a RAM, con lo que fue interrumpido por la pérdida de tensión.

Las soluciones de este tipo están sustituyendo a las clásicas RAM + batería, que, pese a ser profusamente utilizadas, no dejan de presentar problemas de mantenimiento.

4.3. Tamaño del PLC y su aplicación

Típicamente los PLC están divididos en tres categorías de tamaño: pequeños (también conocidos como micro), medianos y grandes, cada uno con características diferentes que los distinguen.

Los de tamaño pequeño son unidades que cubren hasta 128 entradas/salidas (I/Os) y memoria hasta de 2 Kbytes. Estos son capaces de proporcionar simples a avanzados niveles de control de la maquina. Los de tamaño mediano cubren hasta 2048 I/Os y memoria de hasta 32Kbytes. Módulos especiales de I/O

hacen a los PLC medianos adaptables a temperatura, presión, flujo, peso, posición o algún tipo de función analógica que comúnmente se encuentran en aplicaciones de control. Los PLC's grandes por supuesto son los mas sofisticados de la familia de los PLC. Estos tienen hasta 16,000 I/Os y memorias de hasta 2 Mbytes. Los PLC's de este tamaño tienen casi un numero ilimitado de aplicaciones. Los PLC de gran tamaño pueden controlar individualmente el proceso de producción, o bien las plantas enteras.

El factor clave para seleccionar un PLC es establecer exactamente lo que la unidad se supone que tiene que hacer. No es conveniente comprar un PLC que es más grande que las que dictan las necesidades actuales, aunque se debe de anticipar futuras condiciones para asegurar que el sistema es el tamaño adecuado para cubrir la actual y, posiblemente, las necesidades de una futura aplicación.

Hay tres tipos de aplicación del PLC: single-ended (una sola terminal), multitask (multitareas), y control management. La aplicación del PLC single-ended envuelve un PLC controlando solo un proceso. Este debe de ser una unidad autónoma y no debe de ser usado para comunicarse con otras computadoras o PLC's. Dependiendo del tamaño y sofisticación del proceso es la selección del PLC, tal vez la aplicación puede llegar a necesitar un procesador grande, pero usualmente esta categoría requiere de un PLC pequeño.

En la aplicación del PLC multitarea usualmente se usan los PLC de tamaño mediano y envuelve el control de varios procesos. Una adecuada capacidad de I/O es un factor importante en este tipo de instalación. Además, si el PLC fuera parte de un subsistema de un proceso grande y tiene la necesidad de comunicarse con el PLC central o una computadora, debe de estar dispuesta de una red de datos.

La aplicación de control management envuelve un PLC controlando a algunos otros. Este tipo de aplicación requiere de un PLC de tamaño grande diseñado para comunicarse con otros PLC's y la posibilidad con una computadora. Este tipo de aplicación supervisa varios PLC's por la descarga de programas diciéndoles a otros PLC que es lo que deben de hacer. Este debe de ser capaz de conectarse a todos los PLC's, también de poder conectarse con uno solamente si así lo desea, mediante una dirección propia.

4.4. Sistemas y códigos numéricos

El conocimiento de los diferentes sistemas numéricos y los códigos digitales es muy útil cuando se trabaja con PLCs o con la mayoría de cualquier equipo digital. Esto es cierto, porque un requisito básico de estos dispositivos es representar, guardar, y operar en números. En general, los PLCs trabajan en números binarios de una forma u otra, estos son usados para representar varios códigos o cantidades. Los números se pueden representar en distintos sistemas de numeración que se diferencian entre sí por su base. Así el sistema de numeración decimal es de base 10, el binario de base 2, el octal de base 8 y el hexadecimal de base 16. El diseño de todo sistema digital responde a operaciones con números discretos y por ello necesita utilizar los sistemas de numeración y sus códigos.

Sistema decimal

Su origen lo encontramos en la India y fue introducido en España por los árabes. Su base es 10. Emplea 10 caracteres o dígitos diferentes para indicar una determinada cantidad: 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9. El valor de cada símbolo depende de su posición dentro de la cantidad a la que pertenece. Veámoslo con un ejemplo:

$$136_{10} = 1 * 10^2 + 3 * 10^1 + 6 * 10^0 \quad (4.1)$$

$$136,42_{10} = 1 * 10^2 + 3 * 10^1 + 6 * 10^0 + 4 * 10^{-1} + 2 * 10^{-2} \quad (4.2)$$

Sistema binario

Es el sistema digital por excelencia, aunque no el único, debido a su sencillez. Su base es 2. Emplea 2 caracteres: 0 y 1. Estos valores reciben el nombre de bits (dígitos binarios). Así, podemos decir que la cantidad 10011 está formada por 5 bits. Veamos con un ejemplo como se representa este número teniendo en cuenta que el resultado de la expresión polinómica dará su equivalente en el sistema decimal:

$$10011_2 = 1 * 10^4 + 0 * 10^3 + 0 * 10^2 + 1 * 10^1 + 1 * 10^0 = 19_{10} \quad (4.3)$$

Sistema octal

Posee ocho símbolos: 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7. Su base es 8. Este sistema tiene una peculiaridad que lo hace muy interesante y es que la conversión al sistema binario resulta muy sencilla ya que, si se toman de 3 bits en tres bits resulta una conversión directa cada 3 bits del sistema binario a un dígito del sistema octal. Así, para convertir un número de base 8 a binario se sustituye cada cifra por su equivalente binario.

Sistema hexadecimal

Está compuesto por 16 símbolos: 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, A, B, C, D, E, F. Su base es 16. Es uno de los sistemas más utilizados en electrónica, ya que además de simplificar la escritura de los números binarios, todos los números del sistema se pueden expresar en cuatro bits binarios. La conversión de un número hexadecimal a uno binario es muy sencilla al igual que en el sistema octal. Cuando se trate de valores binarios grandes, con sólo las cifras 0 y 1, su escritura es muy engorrosa. Por ello, cuando se trate de valores binarios grandes, se emplean los signos del sistema de representación hexadecimal.

Sistema BCD

Cuando se representan números, letras o palabras mediante un grupo especial de símbolos se dice que están codificados y el grupo de símbolos se llama código. Hemos visto que cualquier número decimal se puede representar por un número binario equivalente, a esto se le llama codificación binaria directa.

Si cada dígito de un número decimal se representa por medio de su equivalente binario, el resultado es un código llamado decimal codificado en binario (BCD por sus siglas en inglés). Debido a que un dígito binario puede ser tan grande como 9, se requieren cuatro bits para codificar cada dígito (el código binario para 9 es 1001). Para ilustrarlo mejor tomaremos como ejemplo el número decimal 874. Cada dígito se cambia a su equivalente binario como sigue:

$$\begin{array}{r} 8 \ 7 \ 4 \text{ (decimal)} \\ 1000 \ 0111 \ 0100 \text{ (BCD)} \end{array}$$

Entonces, el código BCD representa cada dígito del número decimal mediante un número binario de cuatro bits. Es claro que solo se usan números binarios de cuatro dígitos de 0000 a 10001. En el código BCD no se utilizan los números 1010, 1011, 1100, 1101, 1110 y 1111. En otras palabras solo se usan 10 de los 16 grupos posibles del código binario de cuatro dígitos. Si se llegara a presentar una combinación “prohibida” en una máquina que usa el código BCD, por lo general indicará que ha cometido un error.

Es importante entender que el BCD no es otro sistema de numeración como el binario, el octal, el decimal o el hexadecimal. Es, de hecho, el sistema decimal con cada dígito codificado en su equivalente binario. También es importante entender que un número BCD no es lo mismo que un número binario directo. Para observar la diferencia tomamos como ejemplo el número decimal 137 y comparamos su código binario directo y BCD:

$$\begin{array}{r} 137 = 10001001 \text{ (binario)} \\ 137 = 0001 \ 0011 \ 0111 \text{ (BCD)} \end{array}$$

La ventaja principal del código BCD es la facilidad relativa de conversión a decimal y desde decimal. Solo es necesario recordar los grupos de código de cuatro bits para los dígitos decimales 0-9.

Código Gray

El código gray es un tipo especial de código binario que no usa la posición de ponderación. En otras palabras, cada posición no tiene un peso definido. El código gray está configurado de modo que el progreso de un número al siguiente, solamente cambien un bit. Este puede ser confuso para los circuitos contadores, pero es ideal para circuitos codificadores (encoders). Por ejemplo, los codificadores absolutos son transductores de posición que utilizan el código gray para determinar la posición angular.

El código gray tiene una ventaja de que por cada cuenta (cada transición de un número al siguiente) solamente un dígito cambia como se muestra en la tabla 4.2 junto con su equivalente binario para su comparación. En binario tantos como cuatro dígitos pueden cambiar para una sola cuenta, por ejemplo, la transición del binario 0111 a 1000 (decimal 7 y 8) envuelve un cambio en todos los cuatro dígitos.

Este tipo de cambio incrementa la posibilidad de error en ciertos circuitos digitales, por esta razón, el código gray es considerado como un código para minimizar el error [15].

Código Gray	Binario
0000	0000
0001	0001
0011	0010
0010	0011
0110	0100
0111	0101
0101	0110
0100	0111
1100	1000
1101	1001
1111	1010
1110	1011
1010	1100
1011	1101
1001	1110
1000	1111

Cuadro 4.2: Equivalencia de Código Gray y Binario

Código ASCII

El código alfanumérico mas utilizado es el Código internacional Estándar para Intercambio de Información (ASCII, por sus siglas en ingles). El código ASCII es un código de 7 dígitos y por ende tiene $2^7=128$ grupos de códigos posibles. Esto es más que suficiente para representar todos los caracteres estándar de un teclado. En la tabla se muestra una lista parcial del código ASCII.

El código ASCII se usa para la transferencia de información alfanumérica entre una computadora y dispositivos externos como una impresora u otra computadora

Codificación y decodificación

El PLC para la mayor parte, usa circuitos integrados digitales (CI) chips para la conversión de un sistema numérico o código a otro, un codificador CI es usado para convertir de un decimal a número binario, un decodificador es usado para volver a convertir de binario a número decimal.

Bit de paridad

Algunos sistemas de comunicación del PLC usan un dígito binario para checar la precisión de la transmisión de datos. Por ejemplo cuando un dato es transferido entre PLCs, uno de los dígitos binarios puede ser accidentalmente cambiado de 1 a 0, esto puede pasar debido a un transitorio o a ruido, o por el fallo en alguna parte de la red de transmisión. El bit de paridad es usado para detectar errores que tal vez puedan ocurrir mientras la información es movida.

Un bit de paridad es un bit extra que se agrega a un grupo de código que se transfiere de una ubicación a otra. El bit de paridad se compone de un 0 o un 1, dependiendo del número de unos contenidos en el grupo del código. Para lo anterior se usan dos métodos [15]:

- Bit de paridad par. Se pone a 1 si el número de unos en un conjunto de bits es impar, haciendo de esta forma que el número total de bits sea par.
- Bit de paridad impar. Se pone a 1 si el número de unos en un conjunto de bits es par, haciendo de esta forma que el número total de bits sea impar.

4.5. Fundamentos de lógica

Una de las principales aplicaciones de la electrónica digital es el diseño de dispositivos capaces de efectuar cálculos aritméticos, ya sea como principal objetivo (calculadoras, computadoras, máquinas registradoras, etc.) o bien, como una subfunción que les permita realizar su cometido principal (medidores, controladores, registradores, etc.) Por ello, y dado que los sistemas digitales sólo pueden manejar información binaria, es necesario entender las operaciones aritméticas fundamentales en términos del sistema de numeración binario.

El PLC al igual que todos los equipos digitales, opera en el principio binario. El termino principio binario se refiere a la idea que muchas cosas pueden ser consideradas como existentes en uno de los dos estados. Los estados pueden ser definidos como “alto” o “bajo”, “On” o “Off”, “si” o “no” y “1” o “0”. Por ejemplo, una luz puede ser On o Off, un switch abierto o cerrado, o un motor corriendo o parado.

Este concepto binario de dos estados, aplicado a compuertas puede ser la base para tomar decisiones. La compuerta es un dispositivo que tiene una o mas entradas con las cuales realizará una decisión lógica y producirá un resultado el cual será una salida.

La lógica es la habilidad de hacer decisiones cuando uno o mas factores diferentes deben ser tomados en cuenta antes de que una acción sea especificada. Esta es la base para la operación del PLC, donde es requerido por un dispositivo para operar cuando ciertas condiciones se han cumplido.

4.5.1. Funciones de AND, OR y NOT

Las operaciones realizadas por equipo digital están basadas en tres funciones lógicas fundamentales: AND, OR y NOT. Cada función tiene una regla que determinara los resultados y un símbolo que representa la operación. Como propósito de explicación llamaremos a los resultados o salidas “Y” y las señales de entradas las llamaremos A, B, C, etc. También el numero binario 1 representara la presencia de una señal o la ocurrencia de un evento, mientras el numero binario 0 representa la ausencia de una señal o no ocurrencia de un evento.

La función AND

El símbolo dibujado en la figura 4.10 es llamado compuerta AND. Una compuerta AND es un dispositivo con dos o más entradas y una salida. La salida de la compuerta AND será 1 solamente si todas las entradas son 1. La tabla de verdad, representada en la siguiente tabla 4.3 muestra la salida resultante de cada una de las combinaciones posibles de entrada.

En la figura 4.11 se muestra una aplicación práctica de la función de la compuerta AND, esta compuerta opera como si fuera un circuito en serie que produce un voltaje de salida cuando aparece un voltaje en las dos entradas.

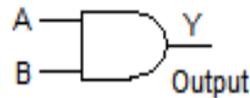


Figura 4.10: Compuerta AND

Entradas		Salida
A	B	Y
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

Cuadro 4.3: Tabla de Verdad compuerta AND

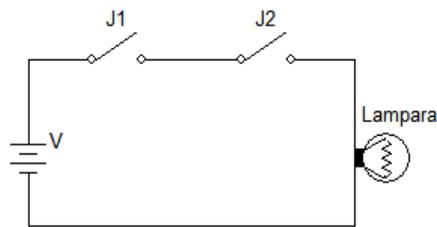


Figura 4.11: Ejemplo de función de compuerta AND

La función OR

El símbolo dibujado en la figura 4.12 es llamado una compuerta OR. Una compuerta OR puede tener un número variado de entradas pero solamente una salida. A la salida de la compuerta OR da resultado de 1 si una o mas entradas son 1, la tabla de verdad se muestra el resultado de la salida Y de cada combinación posible de entradas, ver en la tabla 4.4.

En la figura 4.15 se muestra una aplicación práctica de la función de la compuerta OR, esta compuerta es esencialmente un circuito en paralelo que produce un voltaje de salida cuando aparece un voltaje en cualquiera de las entradas.



Figura 4.12: Compuerta OR

Entradas		Salida
A	B	Y
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

Cuadro 4.4: Tabla de Verdad compuerta OR

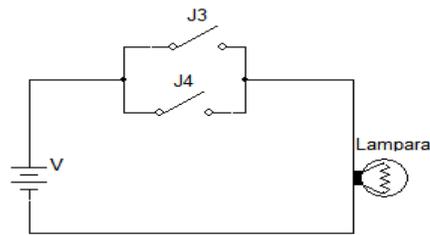


Figura 4.13: Ejemplo de función de compuerta OR

La función NOT

El símbolo dibujado en la figura 4.14 representa una compuerta NOT, a diferencia de la función AND y OR, la función NOT puede tener solamente una entrada. La salida de la NOT es 1 si la entrada es 0, y la salida es 0 si la entrada es 1. El resultado de la operación NOT es siempre lo inverso de la entrada por lo tanto la función NOT es llamada inversor. La función NOT es a menudo representada por una barra en la parte superior de la letra, indicando una salida invertida. El pequeño círculo de la salida de un la compuerta inversora es denominado como indicador de estado e indica que una inversión lógica de la función a tenido lugar.

En la figura se muestra un ejemplo de una aplicación práctica de la función NOT donde un pushbutton normalmente cerrado esta en serie con la salida, por tanto cuando el pushbutton no es actuado la salida es On, y cuando el pushbutton es actuado, la salida es Off.

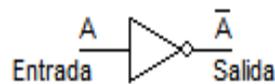


Figura 4.14: Compuerta NOT

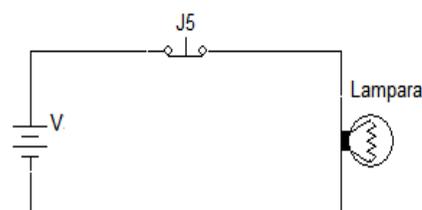


Figura 4.15: Ejemplo de función de compuerta NOT

La NOT es la más comúnmente usada en conjunción con la AND y la OR. Se pueden hacer combinaciones de las compuertas lógicas, por ejemplo en la figura 4.16 a) se muestra la función NOT conectada a una entrada de una compuerta AND. Por tanto el símbolo de la NOT se localiza a la salida de una compuerta AND, invirtiendo el resultado normal. Entonces una compuerta AND con la salida invertida es llamada compuerta NAND. El símbolo de la compuerta NAND se muestra en la figura 4.16 b) así también en la tabla 4.5 observamos la tabla de verdad.

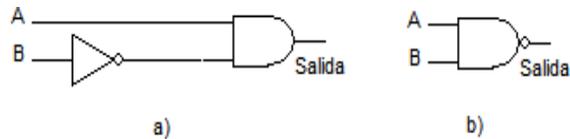


Figura 4.16: a) Combinación NOT y AND b) Compuerta NAND

Entradas		Salida
A	B	Y
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

Cuadro 4.5: Tabla de Verdad compuerta NAND

La misma regla es aplicada si el símbolo de la NOT se coloca a la salida de una compuerta OR. La salida normal es invertida, y la función es referida como una compuerta NOR. El símbolo de la compuerta NOR se muestra en la figura 4.17 y en la tabla 4.6 podemos ver su tabla de verdad.



Figura 4.17: Compuerta NOR

Entradas		Salida
A	B	Y
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	0

Cuadro 4.6: Tabla de Verdad compuerta NOR

Función OR exclusiva (XOR)

En otras combinaciones de compuertas se encuentra la OR exclusiva. En esta función la salida del circuito se pone en alto solamente cuando una entrada o la otra están en alto pero no ambas. La compuerta OR exclusiva es comúnmente utilizada para la comparación de dos números binarios. El símbolo de la compuerta XOR se muestra en la figura 4.18 y en la tabla 4.7 podemos ver su tabla de verdad.



Figura 4.18: Compuerta XOR

Entradas		Salida
A	B	Y
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

Cuadro 4.7: Tabla de verdad compuerta XOR

4.6. Algebra booleana

El estudio matemático de la lógica y el sistema numérico binario es llamado algebra booleana. El propósito de esta algebra es de proveer un camino simple de escribir complicadas combinaciones de estados de lógica. Hay varias aplicaciones donde el algebra booleana puede ser aplicada para resolver problemas de programación de un PLC, y de hecho en algunos controladores programables pueden ser programados directamente usando instrucciones booleanas como las que se muestran en la tabla 4.8. Comparadas con la

lógica de escalera de relé (RLL), la lógica booleana es más natural, ya que todos conocemos las palabras and, or y not. Por el contrario excepto para electrónicos y programadores de PLC, no todos están familiarizados con la lógica de escalera.

Instrucción y Función Booleana	Símbolo Gráfico
Store (STR) - Load (LD) Comienza un nuevo peldaño o una rama adicional en un peldaño con un contacto normalmente abierto.	
Store Not (STR) - Load Not (LD) Comienza un nuevo peldaño o una rama adicional en un peldaño con un contacto normalmente cerrado.	
Or (OR) La OR lógica es un contacto normalmente abierto en paralelo con otro contacto abierto en un peldaño.	
Or Not (OR NOT) La or lógica es un contacto normalmente cerrado en paralelo con otro normalmente abierto en el peldaño.	
And (AND) La AND lógica es un contacto normalmente abierto en serie con otro contacto abierto en un peldaño.	
And Not (AND NOT) La AND lógica es un contacto normalmente cerrado con otro contacto normalmente abierto en serie.	
And Store (AND STR) - And Load (AND LD) La AND lógica son dos ramas en un peldaño en serie.	
Or Store (OR STR) - Or Load (OR LD) La OR lógica son dos ramas en un peldaño en paralelo.	
Out (OUT) Refleja el estado del peldaño (on/off) y el estado de las salidas discretas (ON/OFF) hasta el punto del registro o localización de memoria.	
Or Out (OR OUT) Refleja el estado del peldaño (on/off) y el estado de las salidas discretas (ON/OFF) a la imagen de registro. Múltiples instrucciones OR OUT se refieren al mismo punto que puede ser usado en el programa.	
Output Not (OUT NOT) Refleja el estado del peldaño y pone la salida en OFF para ON y viceversa. La niega.	

Cuadro 4.8: Instrucciones booleanas

En la figura 4.19 resume las operaciones básicas del algebra booleana lo que se refiere a las funciones básicas AND, OR, y NOT. Las entradas son representadas por las letras mayúsculas A, B, C, etc., y la salida por la letra mayúscula Y. La multiplicación con signo (X) o con (*) representa la operación AND, y la suma con signo (+) representa la operación OR, y la barra sobre la letra representa la operación NOT. Los sistemas digitales pueden ser diseñados usando algebra booleana, en las figuras 4.21 y podemos ver unos ejemplos de como las funciones básicas AND, OR, NOT son usadas en forma de ecuaciones booleanas.

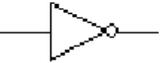
Símbolo lógico	Declaración de lógica	Ecuación booleana
	Y es 1 si A y B son 1	$Y = A * B$ O $Y = AB$
	Y es 1 si A o B son 1	$Y = A + B$
	Y es 1 si A es 0 Y es 0 si A es 1	$Y = \bar{A}$

Figura 4.19: Operaciones básicas del algebra booleana

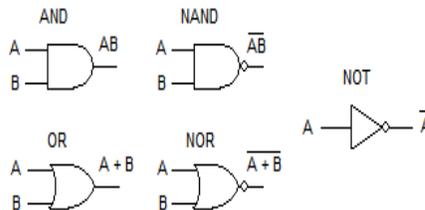


Figura 4.20: Ecuaciones booleanas ejemplo 1

El entendimiento de la técnica de escribir ecuaciones booleanas simplificadas para una lógica de estados compleja es una herramienta muy útil cuando se crean programas de control para el PLC. Algunas leyes de la algebra booleana son diferentes a las de la algebra ordinaria. Las tres leyes básicas son:

Ley conmutativa

$$A + B = B + A \tag{4.4}$$

$$A * B = B * A \tag{4.5}$$

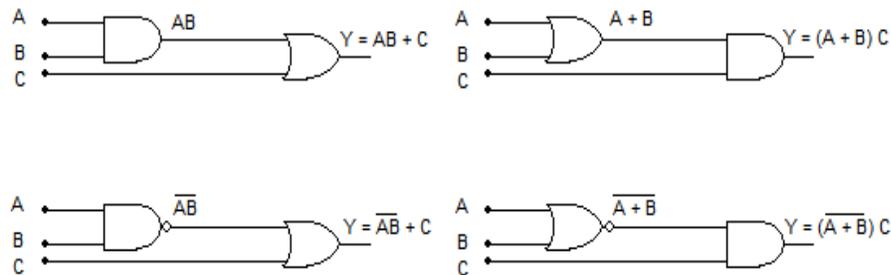


Figura 4.21: Ecuaciones booleanas ejemplo 2

Ley asociativa

$$(A + B) + C = A + (B + C) \quad (4.6)$$

$$(A * B) * C = A * (B * C) \quad (4.7)$$

Ley distributiva

$$A * (B + C) = (A * B) + (A * C) \quad (4.8)$$

$$A + (B * C) = (A + B) * (A + C) \quad (4.9)$$

La ley De Morgan es uno de los mas importantes resultados de la algebra booleana. Muestra como una función lógica puede ser implementada con compuertas AND e inversores o con compuertas OR e inversores. En la figura 4.22 vemos que la ley De Morgan declara que la suma de n variables globalmente negadas (o invertidas) es igual al producto de las n variables negadas individualmente; y que inversamente, el producto de n variables globalmente negadas es igual a la suma de las n variables negadas individualmente.

4.7. Lenguajes de programación del PLC

El termino lenguajes de programación del PLC se refiere al método por el cual el usuario comunica la información hacia el PLC. Las tres estructuras mas comunes son lenguaje de diagrama de escalera, lenguaje booleano, y diagrama de bloques. Aunque cada estructura de lenguaje es similar de un modelo de PLC a otro, hay diferencias entre fabricantes en el método de aplicación, sin embargo, esas diferencias son menores y fáciles de entender.

El lenguaje de diagrama de escalera o también conocido como KOP, es por mucho uno de los lenguajes de programación mas usados. En la figura muestra una comparación entre programación en lenguaje de escalera y programación booleana o AWL. En el inciso a) de la misma figura esta dibujado como seria

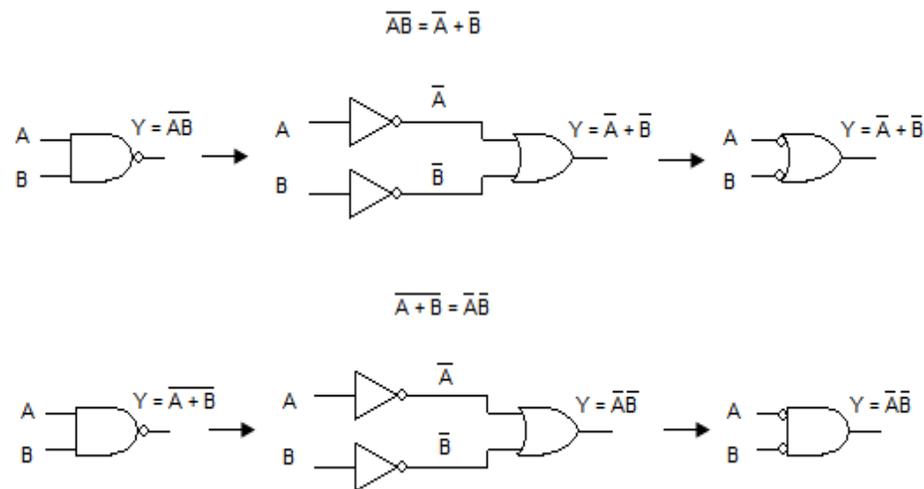


Figura 4.22: Ley De Morgan

si estuviera físicamente cableado, el inciso b) muestra el equivalente a diagrama de escalera que se utiliza en el controlador, y en el inciso c) podemos notar como se declara típicamente en booleano que podría ser usado en el original circuito. Esta declaración o forma de ponerlo se refiere a la función lógica básica de compuertas AND, OR y NOT, también incluye la ecuación booleana del circuito.

El diagrama de bloques o FUP originalmente fue desarrollado en Europa y fue llamado GRAFCET. Es un método de programación de un sistema de control que utiliza un enfoque más estructurado, este como su nombre lo dice está en forma de bloques, a menudo son controlados por expresiones booleanas. Es una representación pictórica o de un tipo especial de diagrama de flujo de un proceso de control secuencial, mostrando los posibles caminos de proceso que pueden tomar y las condiciones necesarias para ir de un bloque a otro [12].

Direccionamiento de instrucciones

Para continuar aprendiendo a utilizar las instrucciones de los lenguajes de programación se debe de asignar un número de dirección. Este número indicará cuál entrada del PLC fue conectada al dispositivo de entrada o bien a que salida del PLC es la que impulsará el dispositivo de salida. Esta dirección es la real para entradas y salidas como también lo es internamente, tanto para nosotros conocer cuál entrada o salida utilizaremos y el PLC también lo sepa, aunque depende mucho del modelo utilizado. Estas direcciones pueden ser representadas en decimal, octal, o hexadecimal, dependiendo del número del sistema usado por el PLC.

4.7.1. Introducción al diagrama de escalera

Para entrar mas a fondo en el diagrama de escalera o a la programación real debemos de conocer los siguientes aspectos.

El PLC es usualmente programado por una unidad de pantalla de video con un teclado o algún dispositivo hand-held, por lo tanto depende del hardware y técnicas de programación utilizadas, y estas varían dependiendo del fabricante, entonces es necesario recurrir al manual de usuario específico del PLC para determinar como las instrucciones son introducidas.

En nuestro caso vamos a utilizar la computadora como dispositivo de programación ya que hoy en día es lo que se utiliza comúnmente. La computadora es adaptable particularmente al modelo de PLC usado, solamente instalando el software necesario. Para programar el PLC Siemens de la familia S7-200 utilizaremos el software Step 7-Micro/Win 32 que viene originalmente con el PLC al comprarlo.

La lógica de escalera es un lenguaje de programación gráfico diseñado para representar estrechamente la apariencia del diseño cableado de relevadores. Esta es una gran ventaja para el control del PLC. No solamente es razonablemente intuitivo, especialmente para técnicos que tengan experiencia con relevadores, es particularmente eficaz en un modo de línea cuando se efectúa el control del PLC. El funcionamiento de la lógica se desprende de la valorización de los diversos contactos y bobinas de relé en la pantalla, que identifica a la lógica de estado en tiempo real. Una intensificación de la instrucción indica que la instrucción es verdadera y tiene continuidad lógica.

En el siguiente capítulo se retoma mas a fondo los lenguajes de programación a la par con la practica en el diseño del programa final, utilizando los simbolos vistos en la tabla 4.8. Esto con la finalidad de que quede completamente claro.

Capítulo 5

Diseño Final del Prototipo Automático

En esta parte de la obra aplicaremos la teoría expresada en los temas anteriores. Siendo este capítulo la última parte, desarrollamos el método para llegar al diseño final de la automatización.

5.1. Método manual empleado anteriormente

Para empezar y entender mejor el procedimiento que se lleva a cabo en el embolsado de congeladas, observaremos el material y el método manual empleado anteriormente.

Los objetos que interactúan en la producción de congeladas son: Depósito de acero inoxidable en donde se almacena el líquido antes de embolsar, llaves a la salida del depósito para controlar el flujo, tubos de plástico de grado alimenticio colocados después de las llaves, polietileno en forma de tubo de varios metros de longitud, y la máquina de pedal que se muestra en la figura 5.1.

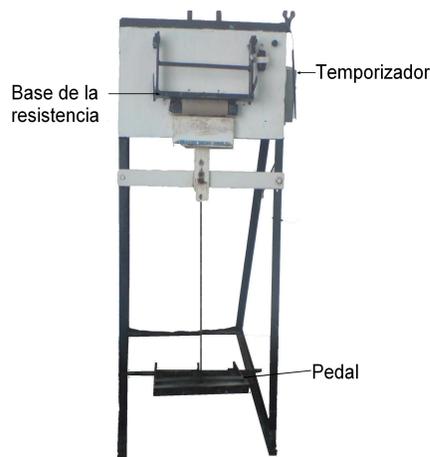


Figura 5.1: Máquina de pedal

Podemos ver que al accionar el pedal, mediante palancas y resortes se mueve una base donde va colocada una resistencia que se calienta cuando pasa corriente a través de ella. Dicha corriente se suministra mediante el siguiente circuito en la figura 5.2.

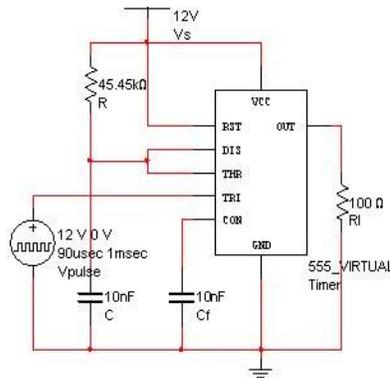


Figura 5.2: Circuito multivibrador monoestable

Se trata de un circuito multivibrador en configuración monoestable con un integrado 555 de bajo costo y de grandes prestaciones. Cuando se le da un pulso a la entrada, dependiendo de la configuración de resistencias y capacitores entrega a su salida un solo pulso de un ancho establecido por el diseñador, este pulso activa un relevador electromecánico alimentado con un transformador de 12v a 5A para proveer de corriente a la resistencia. El esquema de conexión es el que se muestra y la fórmula para calcular el tiempo de duración (tiempo en el que la salida está en nivel alto) en segundos es:

$$T = 1,1 * R_1 * C1 \quad (5.1)$$

Continuando con el procedimiento de embolsado, inicialmente en el depósito se vierte el líquido, el cual solamente por gravedad baja a través de las llaves alimentando a los tubos. Antes de colocar los tubos en las llaves, se efectúa el procedimiento de embobinado, el cual consta de cubrir el tubo con el polietileno. Teniendo listo el procedimiento anterior, se empieza a hacer el embolsado, cuando baja el líquido hacia el polietileno se le da el tamaño de la congelada jalándola manualmente, enseguida se sella y corta utilizando la resistencia caliente accionada por el pedal, también maniobrado por el operador de la máquina. Por lo tanto el operador hace una tarea monótona, tediosa y repetitiva por periodos largos de tiempo. Lo que lleva por consecuencia al operador a variar el tamaño, o bien, a no realizar bien el sello y desperdiciar producto, reflejándose notoriamente en los costos finales de fabricación. Cabe señalar que con este método se sella de una en una, de tal manera que se vuelve muy lenta la producción.

5.2. Diseño mecánico del prototipo y funcionamiento

Si se desea, se puede automatizar la mayor parte del proceso, aunque no es recomendable en este caso ya que es una microempresa que aun no necesita hacer una fuerte inversión para mejorar su productividad. Por tal motivo y analizando el proceso nos damos cuenta que solo hay una tarea repetitiva dentro del proceso de fabricación que es el proceso de embolsado y sellado, entonces ya que queremos mejorar tanto la calidad como los costos de producción, se deduce que es el proceso que inevitablemente se tiene que automatizar.

Para llevar a cabo el diseño mecánico se debe de cumplir con dos tareas para satisfacer nuestras necesidades:

1. Sellado.
2. Tamaño.

Sellado

El movimiento a realizar para el sellado es un movimiento completamente vertical que se generara con un sistema mecánico que llamaremos up-down como se muestra en la figura 5.3, el cual está armado con dos flechas de acero que sirven como guías para que corra libremente el sistema en los bujes ensamblados a la base que se encuentra fijada al cuerpo de la maquina, donde también en dicha base hay una resistencia que se calienta cuando el sistema llega a su punto más bajo haciendo contacto la base con la parte de arriba del sistema, y se enfría cuando el sistema sube o se encuentra en estado de reposo.



Figura 5.3: Sistema up-down

Para llevar a cabo esta primera tarea se tienen que incluir dos controles, que a diferencia del diseño anterior, para eliminar el movimiento de pedal se controla utilizando un motor de CA como se muestra en la figura 5.4, el motor mencionado es de cambio de giro, esto con la finalidad de que al girar a la izquierda con una leva acoplada al rotor, esta empuje hacia abajo al sistema de up-down, y al girar a la derecha, esta vez, la leva permitirá el regreso hacia arriba generado por los resortes que se muestran en la figura 5.4. Se efectuara el sellado igualmente que en el diseño anterior mediante la resistencia, aunque esta vez el control de temperatura será el PLC en lugar del circuito multivibrador monoestable, dicho control de temperatura esta dado por un potenciómetro que se encuentra a la entrada del PLC y varia solamente el tiempo que pasa la corriente por la resistencia, dando como resultado el calentamiento de la resistencia. Entonces como vemos, el PLC controla tanto el tiempo necesario para calentar la resistencia, como el tiempo de encendido y cambio de giro del motor, así cumpliendo con los dos controles que se necesitan para realizar el sellado.



Figura 5.4: Leva acoplada al rotor del motor de CA

Tamaño

La otra tarea a realizar es el tamaño, esta tarea sirve para cambiar el tamaño de la congelada en cuanto se necesite. Es muy importante que cuando se escoja un tamaño adecuado este no varíe en toda la producción por lo cual se crea un sistema estricto, en el que la precisión es su principal objetivo, para lograr esto, el sistema mecánico es muy importante. En este sistema que lo llamaremos deslizamiento influye el sistema de up-down para dar el tamaño como vemos en la figura 5.5.

Cuando el sistema de up-down llegue a su punto más bajo presiona el polietileno para sujetarlo, e inmediatamente el sistema de deslizamiento lo jala hasta darle el tamaño adecuado. Entonces como lo vemos, el sistema de up-down esta acoplado al sistema de deslizamiento que se va a mover de adelante a hacia atrás como si fuera un “carrito”, y también como en la tarea anterior tenemos dos controles, tanto



Figura 5.5: Sistema de deslizamiento

el tiempo de sujeción del polietileno antes de que empiece a calentar la resistencia, como la distancia que tiene que recorrer el sistema de deslizamiento, que además esta distancia a recorrer es variable dependiendo del tamaño a escoger. Entonces para el control del sistema de deslizamiento se utiliza un actuador lineal eléctrico que lo jala o lo empuja cuando lo necesita.

El sistema de deslizamiento trae acoplados en sus lados 6 baleros que corren sobre el cuerpo de la maquina por dos guías que utiliza como si fueran rieles, y también tiene una cubierta de lamina de acero inoxidable donde la congelada es soportada mientras se le da el tamaño.

Cuerpo de la maquina

El cuerpo de la maquina es la estructura de fierro soldada de la figura 5.6, la cual tiene un declive de 12° que sirve para que el liquido fluya a través de los tubos por gravedad, el cuerpo de la maquina funciona como base principal del sistema de up-down y el de deslizamiento, en este se soportan además los controles como son los sensores, motores, PLC y los botones de mando.

5.3. Materiales

Es importante señalar que el cuerpo de la maquina está cubierto con lamina de acero inoxidable ya que es resistente a la corrosión, se limpia fácil y la dura superficie metálica hace que sea difícil que las bacterias se adhieran y sobrevivan en ella por lo tanto son comúnmente usados en los utensilios de cocina y en las industrias de fabricación de alimentos por que es higiénico.



Figura 5.6: Cuerpo de la maquina

Como ya vimos en los capítulos anteriores, tenemos varias opciones a escoger dentro de la instrumentación, debido a la forma en que se trabaja en esta empresa, no utilizaremos actuadores hidráulicos ya que la presión ejercida en el sellado es mínima, y no utilizamos tampoco actuadores neumáticos ya que aumentaría el costo del proyecto.

En el caso del sistema de up-down utilizamos como actuador un motor eléctrico de CA a 127v, en motores monofásicos únicamente es necesario invertir las terminales del devanado de arranque para efectuar el cambio de sentido de giro. Además utilizamos 2 sensores de proximidad para conocer la posición física del sistema e interpretar si se encuentra arriba, abajo o en un estado intermedio. Utilizamos la resistencia que sella y corta al mismo tiempo y un relevador de estado sólido para suministrarle corriente.

En el caso del sistema de deslizamiento utilizamos un actuador lineal eléctrico que está compuesto por un husillo y un motor de CC a 24v como se ve en la figura 5.7, donde la tuerca del husillo se encarga de jalar o empujar el sistema dependiendo para que sentido gire el motor. Y como en el sistema de up-down también utilizamos 2 sensores de proximidad, de los cuales el que se encuentra colocado adelante sirve para conocer la posición y el que está colocado en la parte de atrás de la maquina es móvil, sirve para cambiar el tamaño de la congelada con una precisión para que se pueda reducir o aumentar el tamaño de la congelada desde 1 milímetro.

El cambio de giro del motor del sistema up-down se hace mediante 2 relevadores de estado sólido, haciendo la conmutación de polaridad del motor y así gire hacia la derecha o bien en sentido contrario. Para el cambio de giro del motor del sistema de deslizamiento se encarga un circuito puente H, nombre que surge, obviamente, de la posición de los transistores, en una distribución que recuerda la letra H.

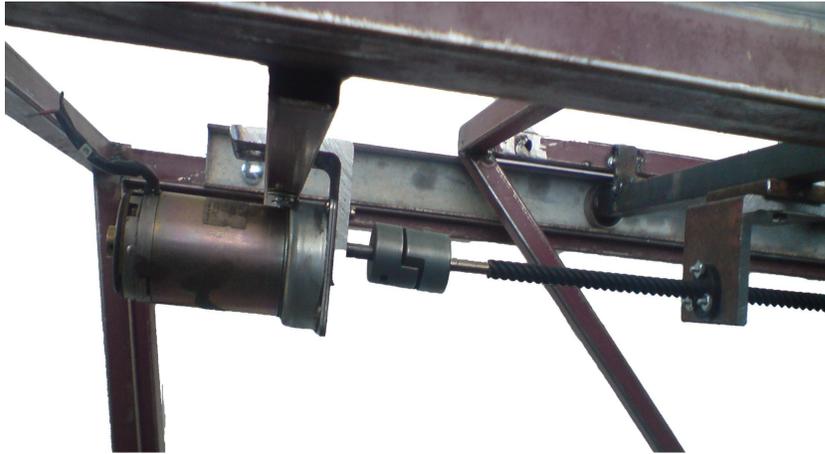


Figura 5.7: Actuador lineal electrico

Dicha configuración de puente H es una de las más utilizadas en el control de motores de CC, cuando es necesario que se pueda invertir el sentido de giro del motor, alimentado por una fuente de voltaje externa de 24v.

El PLC Siemens CPU 224XP AC/DC/relay (alimentación con CA / fuente de alimentación de CC de 24 volts para alimentar sensores / salida de relevador) que se muestra en la figura 5.8, uno de los principales dispositivos en nuestra automatización, ya que el sistema completo es controlado por este. La CPU 224XP es una versión conveniente para la ejecución de simples tareas de la unidad, con dos interfaces, dos entradas analógicas y una salida analógica, así como dos salidas de pulsos de 100 kHz y dos contadores de alta velocidad de 200 kHz. Cuenta con 14 entradas y 10 salidas, mas la opción de 7 módulos de expansión máximo, en total 224 E/S máximo.

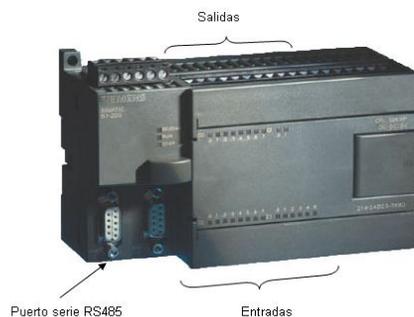


Figura 5.8: PLC Siemens CPU224XP.

Probado en todo el mundo con:

- Diseño compacto.
- Práctica funcionalidad.
- Opciones de expansión modular.
- Construido en la creación de redes de puertos serie RS 485.
- Excelente comportamiento en tiempo real.
- Extremadamente rápido y preciso en procesos y secuencias de control.
- Perfecto control de procesos de tiempo crítico por medio de las interrupciones de tiempo.
- Simple y fácil de usar, cables extraíble con bornes de la CPU y módulos de ampliación.

Destacados:

- Tarjeta de memoria para el registro de datos, la administración guardado en el proyecto de STEP 7-Micro/WIN, y el almacenamiento de la documentación en varios formatos.
- Función PID de auto-ajuste
- 2 puertos serie incorporados para mas opciones de comunicación, por ejemplo, con otros fabricantes de dispositivos.

La función del PLC es controlar el sistema de subida-bajada, el sistema de deslizamiento, el control de temperatura de la resistencia, el encendido y apagado de la maquina, el paro de emergencia en casos necesarios, y el reset que sirve para regresar la maquina a su posición original en casos de cortes de energía. Todo esto es controlado dependiendo del estado de los sensores y todas las demás entradas del PLC.

El material utilizado en el prototipo automático se señala en la tabla 5.1.

Cantidad	Artículo
1	Motor de CA.
1	Motor de CD.
1	Husillo.
1	PLC siemens CPU 224XP.
1	Fuente de poder externa de 24 V.
4	Sensores de proximidad finales de carrera.
3	Relevadores de estado solido.
1	Puente H.
1	Resistencia para el sellado y corte.
1	Interruptor de encendido/apagado.
1	Interruptor de parada de emergencia.
1	Interruptor de reset.
1m	Cable

Cuadro 5.1: Lista de material

5.4. Programa del PLC

La programación del PLC es lo más importante del control, con el se logra interpretar la posición del sistema up-down y el de deslizamiento mediante las entradas, procesa esa información y enciende o apaga las salidas que a su vez mueven los motores. Con el programa se logra que el control de la maquina sea muy flexible y se pueda modificar en cualquier momento sin hacer cambios físicos. Con un lenguaje de programación ocurre lo mismo que con cualquier idioma, en él se especifican las palabras (en este caso se denominan instrucciones), la ortografía y la gramática. Usando instrucciones se escribe un programa que se deposita en la memoria del PLC, este va ejecutando el programa paso a paso., al llegar a su fin comienza nuevamente desde el principio.

El software STEP7-Micro/WIN 32 está diseñado para trabajar con PLCs Siemens de la familia S7-200, por tal motivo en nuestro caso solo podremos utilizar este software de programación, aunque con la opción de optar entre los tres lenguajes de programación, KOP, AWL o FUP, dependiendo de cual se le facilite a cada programador. Cada fabricante tiene un software dedicado hacia sus PLCs. En la figura 5.9 se muestra una pantalla del Micro/WIN 32, en la cual donde está la barra de navegación encontramos funciones para administrar mejor nuestro programa y también para la comunicación del PLC a la computadora, en el árbol de operaciones encontramos las operaciones con bits, temporizadores, comparaciones, interrupciones, subrutinas, etc., y solo dando doble clic sobre la operación necesaria se ocupa en el editor de programa.

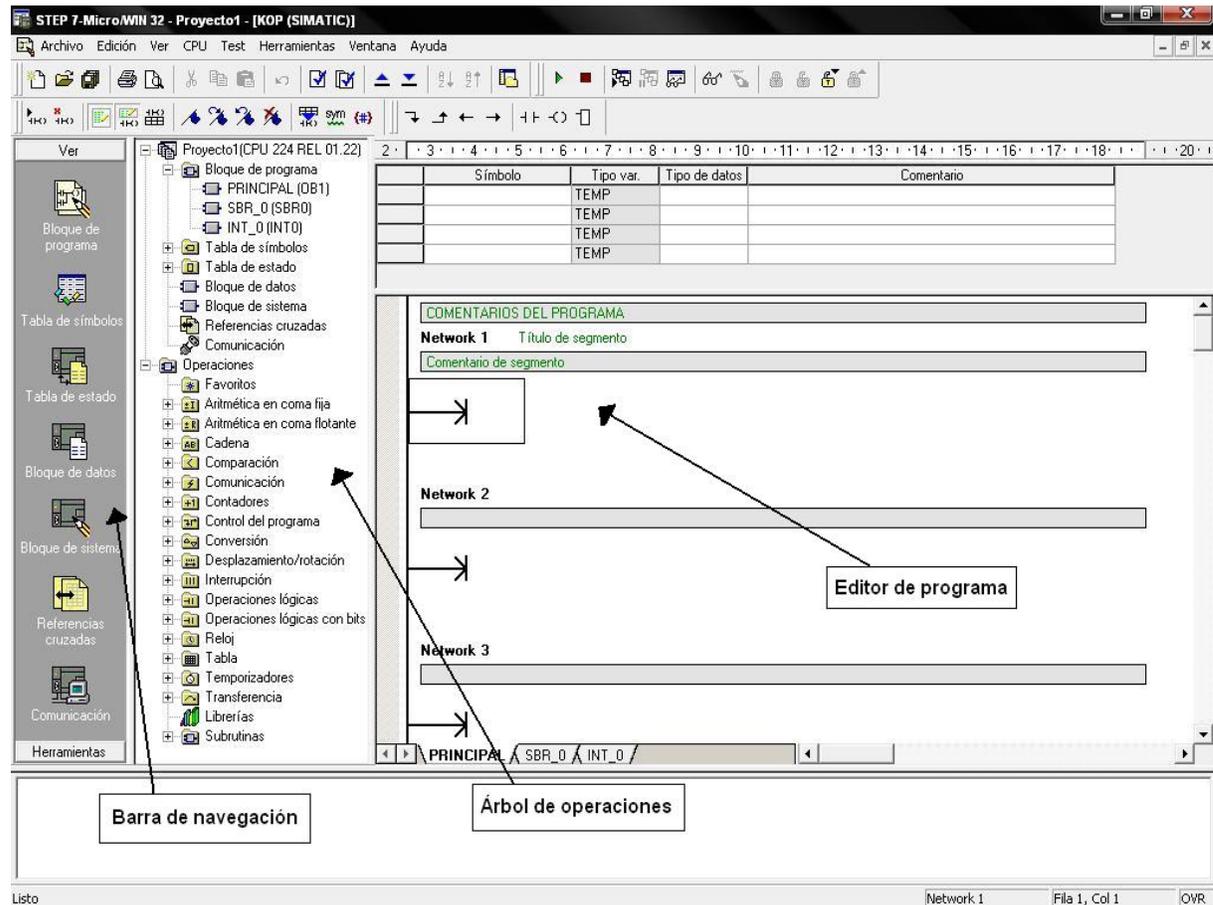


Figura 5.9: Pantalla principal de STEP7 Micro/WIN 32

El área de datos contiene una memoria de variables (V), la imagen de proceso de las entradas (E), la imagen de proceso de las salidas (A), marcas internas (M) y marcas especiales (SM). Los objetos pueden ser temporizadores (T), contadores (Z), entradas analógicas (AE), salidas analógicas (AA), acumuladores (AC) y los valores actuales de los contadores rápidos (HC). Las entradas y salidas analógicas así como los valores de los contadores rápidos (HC) se almacenan por lo general en elementos (módulos analógicos o contador rápido) más que en la memoria RAM. La memoria RAM provee espacio para las demás áreas de datos y objetos.

Comenzando con el programa, ponemos como primer elemento un interruptor normalmente abierto (NA) con la dirección I0.0 que como recordamos la “I” indica entrada y “0.0” la dirección física del bit en el PLC, seguido de otro contacto NA con la dirección I1.0. Como vemos en la figura 5.10 es una AND que solamente cuando las dos entradas del PLC están en alto se pondrá también en alto la bobina Q0.0 que en este caso la “Q” indica una salida física del PLC. En este caso accionamos una salida, pero si ponemos un

temporizador este comenzaría a contar el tiempo, o bien si ponemos una subrutina o interrupción, cuando los dos interruptores estén encendidos llamaremos a dicha subrutina o interrupción.

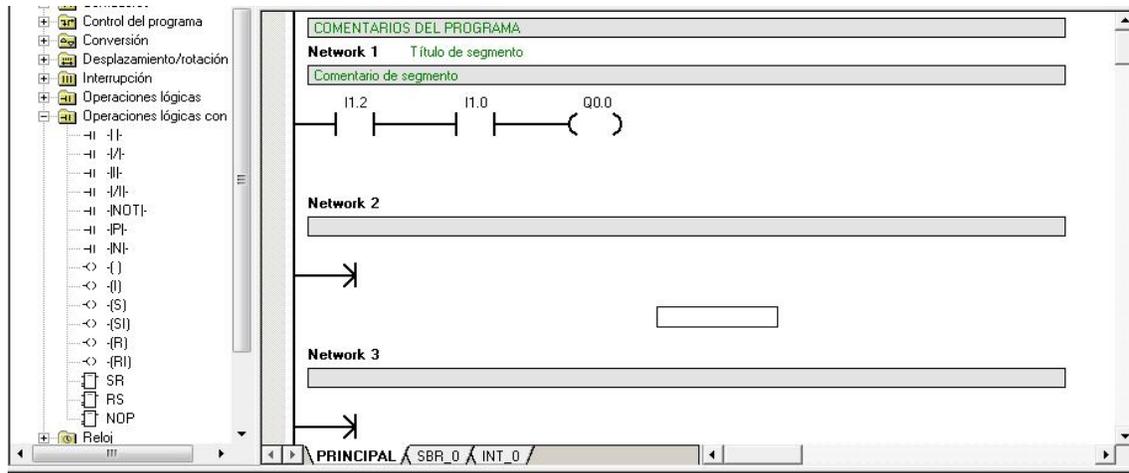


Figura 5.10: Ejemplo del diagrama de escalera

Las operaciones lógicas con contactos sirven para crear y conectar circuitos lógicos. En el lenguaje de programación KOP, los contactos pueden ser contactos normalmente abiertos y contactos normalmente cerrados. En KOP se usa una I (inmediata) para indicar que la operación se va ejecutar directamente. Esta operación directa, o contacto, lee el valor direccionado en la entrada física al ejecutarse la operación o contacto. Sin embargo, la imagen de proceso no se actualiza. La operación no directa, o contacto, lee el valor direccionado en la imagen de proceso. Las operaciones lógicas con salidas activan o desactivan salidas digitales, en el esquema de contactos (KOP), la lógica que controla el flujo de corriente activa o desactiva la bobina de salida. Cuando la corriente excita la bobina se activa la salida (o salidas) de la operación Poner a 1 (activar) y se desactiva la salida (o salidas) de la operación Poner a 0 (desactivar).

Es parecido a tener un diagrama eléctrico pero con mas funcionalidades, como por ejemplo el utilizar subrutinas. Las subrutinas facilitan la estructuración del programa. Las operaciones utilizadas en el programa principal determinan la ejecución de la subrutina en cuestión. Cuando el programa principal llama a una subrutina para que ésta se ejecute, la subrutina procesa su programa hasta el final. El sistema retorna luego el control al segmento del programa principal desde donde se llamó a la subrutina.

Las subrutinas sirven para estructurar o dividir el programa en bloques más pequeños y, por tanto, más fáciles de gestionar. Esta ventaja se puede aprovechar a la hora de realizar tareas de comprobación y mantenimiento del programa. Los bloques más pequeños facilitan la comprobación y la eliminación de errores tanto en las subrutinas como en el programa entero. La CPU también se puede utilizar más eficientemente, llamando al bloque sólo cuando se necesite, en vez de ejecutar todos los bloques en cada ciclo, y finalizando

la subrutina con la función RET.

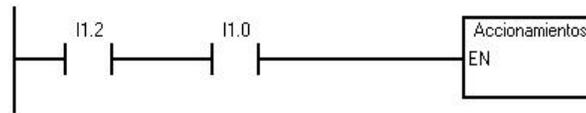


Figura 5.11: Diagrama de una subrutina

Por ejemplo si en lugar de poner la bobina que vimos anteriormente creamos una subrutina, esta será llamada cada vez que se pongan en nivel alto los dos contactos que se muestran en la figura. Esto con la finalidad de que cada movimiento que realiza la maquina ya sea para controlar el sistema de up-down o el de deslizamiento, este organizado mejor en una subrutina cada movimiento y sea menos confuso que si en el editor de programa se tuviera junto.

Las interrupciones son controladas por eventos. Antes de poder llamar a una rutina de interrupción es preciso establecer un enlace entre el evento de interrupción y la parte del programa que se desee ejecutar cuando se presente el evento. La operación Asociar interrupción (ATCH) sirve para asignar el evento de interrupción (indicado por el número de evento) a una parte del programa (indicada por el número de la rutina de interrupción). Cuando se asocia un evento a una rutina de interrupción, se habilita automáticamente el evento.

El S7200 soporta los siguientes tipos de rutinas de interrupción:

- Interrupciones del puerto de comunicación: El S7200 genera eventos que le permiten al programa controlar el puerto de comunicación.
- Interrupciones de E/S: El S7200 genera eventos para los diferentes cambios de estado de diversas entradas y salidas. Estos eventos le permiten al programa reaccionar a los contadores rápidos, a las salidas de impulsos, o bien a los flancos positivos o negativos en las entradas.
- Interrupciones temporizadas: El S7200 genera eventos que le permiten al programa reaccionar a determinados intervalos.

Al organizar los controles que debemos realizar los dividiremos en partes y queda como sigue:

1. Movimiento hacia abajo.
2. Movimiento hacia arriba.
3. Movimiento hacia enfrente.
4. Movimiento hacia atrás.

5. Control de temperatura de la resistencia.

6. Reset para poner o regresar a un estado inicial la maquina.

El estado inicial de la maquina es cuando se encuentra el sistema de up-down en su punto más alto, y el sistema de deslizamiento se encuentra ubicado en la parte de atrás.

Para entender mejor esta parte observemos la figura 5.25 de la página 126. Cuando la maquina esta en el estado inicial se encuentran accionados los sensores que están conectados a las entradas I0.0 y I0.3. Entonces cuando I0.0 y I0.3 están activadas el sistema up-down debe de bajar hasta presionar el polietileno mediante la salida Q0.1, obsérvese la figura 5.12 inciso a).

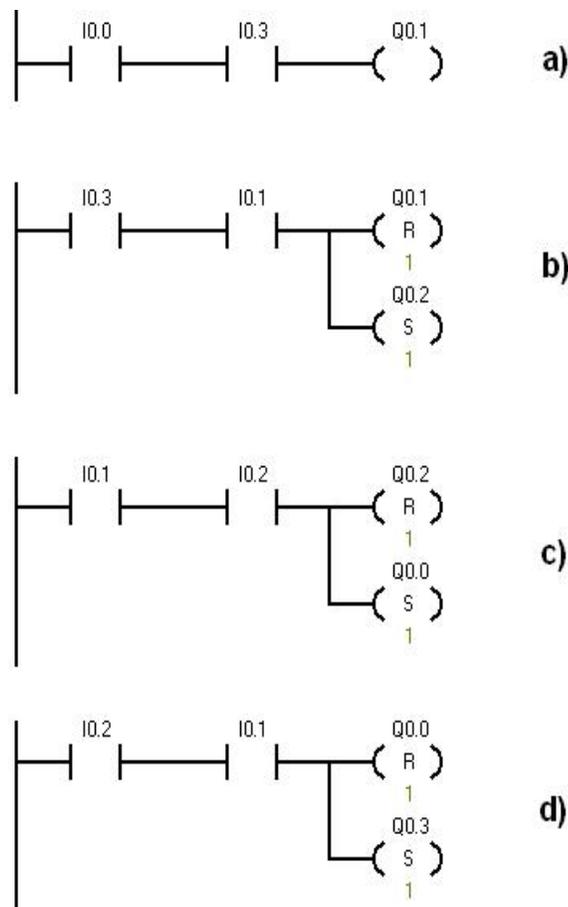


Figura 5.12: Diagrama de escalera utilizado para los movimientos

Cuando se acciona Q0.1 baja el sistema up-down y acciona el sensor I0.1, cuando este es activado quiere decir que ya sujeto al polietileno y se procede a desactivar la salida Q0.1 para ahora activar la salida Q0.2

que es la que mueve el sistema de deslizamiento hacia enfrente para darle el tamaño a la congelada, ver la figura 5.12 inciso b), nótese que la bobina de Q0.1 tiene una letra R, cuando tiene esta letra pone a cero o estado bajo dicha salida, y la bobina Q0.2 tiene una letra S, que pone a dicha salida en uno o estado alto.

Sin olvidar que sigue accionado el sensor I0.1, en el momento que llega el sistema de deslizamiento hasta enfrente acciona el sensor de la entrada I0.2 indicando que ya le dio el tamaño adecuado a la congelada, cuando este es accionado se procede a desactivar la salida Q0.2 y a activar la salida Q0.0 que es la que mueve el sistema de up-down hacia arriba, ver la figura 5.12 inciso c).

Ahora sigue accionado el sensor I0.2, en el momento que el sistema de up-down llega a su punto más alto acciona el sensor I0.0, procediendo a desactivar la salida Q0.0 y a activar la Q0.3 que es la que mueve al sistema de deslizamiento hacia atrás, ver la figura 5.12 inciso d). Regresando la maquina a su estado inicial, y comenzando de nuevo ya que el programa se corre en un estado cíclico.

Estos movimientos los podemos colocar cada uno de ellos dentro de una subrutina que será llamada cada vez que se necesite.

Falta el control de temperatura, el control fácilmente se puede hacer mediante un temporizador. Los temporizadores (TON ó TONR) son elementos que cuentan intervalos de tiempo. Los temporizadores del S7-200 tienen resoluciones (intervalos) de 1, 10 y 100 milisegundos.

La resistencia se debe de calentar cuando el sistema de subida-bajada presione el polietileno, entonces cuando I0.3 y I0.1 están en un nivel alto, la salida Q0.4 será accionada para calentar la resistencia y se apagará después del tiempo dado por el temporizador.

El diagrama de escalera quedaría como en la figura 5.13, el contacto con la letra P en el centro simboliza un flanco de subida, en el momento que I0.3 y I0.1 son accionadas, se manda solamente un flanco de subida a Q0.4 prendiendo la salida hacia la resistencia y manda a 0 la bobina T32 para reiniciar el temporizador que se encuentra en network 2 y comience a contar hasta que sea igual con el valor de 100 que se le asigna a PT, cierra el contacto T32 para poner a cero la salida de la resistencia Q0.4.

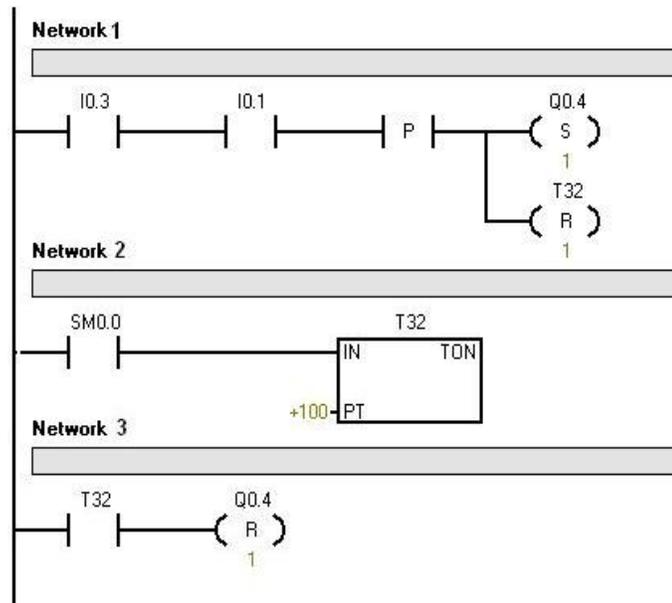


Figura 5.13: Diagrama de escalera del temporizador

Las marcas especiales ponen a disposición una serie de funciones de estado y control y también sirven para intercambiar informaciones entre el autómata y el programa. Las marcas especiales disponen de áreas de sólo lectura y de lectura/escritura. El área de sólo lectura comienza a partir de SM0 y termina en SM29. El autómata actualiza solamente las direcciones de sólo lectura que proporcionan diversas informaciones de estado. Las marcas especiales son de gran utilidad, y para aprender a utilizarlas es de mucha utilidad entrar al área de ayuda del software de Micro/WIN 32. La que utilizaremos es la SM0.0, es una marca que se encuentra siempre en estado alto.

Juntando todo el programa, poniendo cada uno de los movimientos en subrutinas y asignando como valor de comparación PT en el temporizador la entrada analógica para poder variar la temperatura de la resistencia desde el mando en la maquina. El diagrama de escalera en el bloque del programa queda como sigue:

El objeto principal del bloque del programa queda como en la figura 5.14, en donde se muestra como paro de emergencia a I1.2, este interruptor siempre se mantendrá cerrado a menos de que ocurra una emergencia, al apagarlo todas las salidas se mantendrán en cero. El contacto normalmente abierto I1.0 es el interruptor de encendido apagado el cual nos permitirá llamar a la subrutina de accionamientos cuando este encendido, y cuando la corriente fluya por el contacto normalmente cerrado I1.0 se llamara a la subrutina de reset, que como mencionamos sirve para regresar a su estado normal a la maquina.

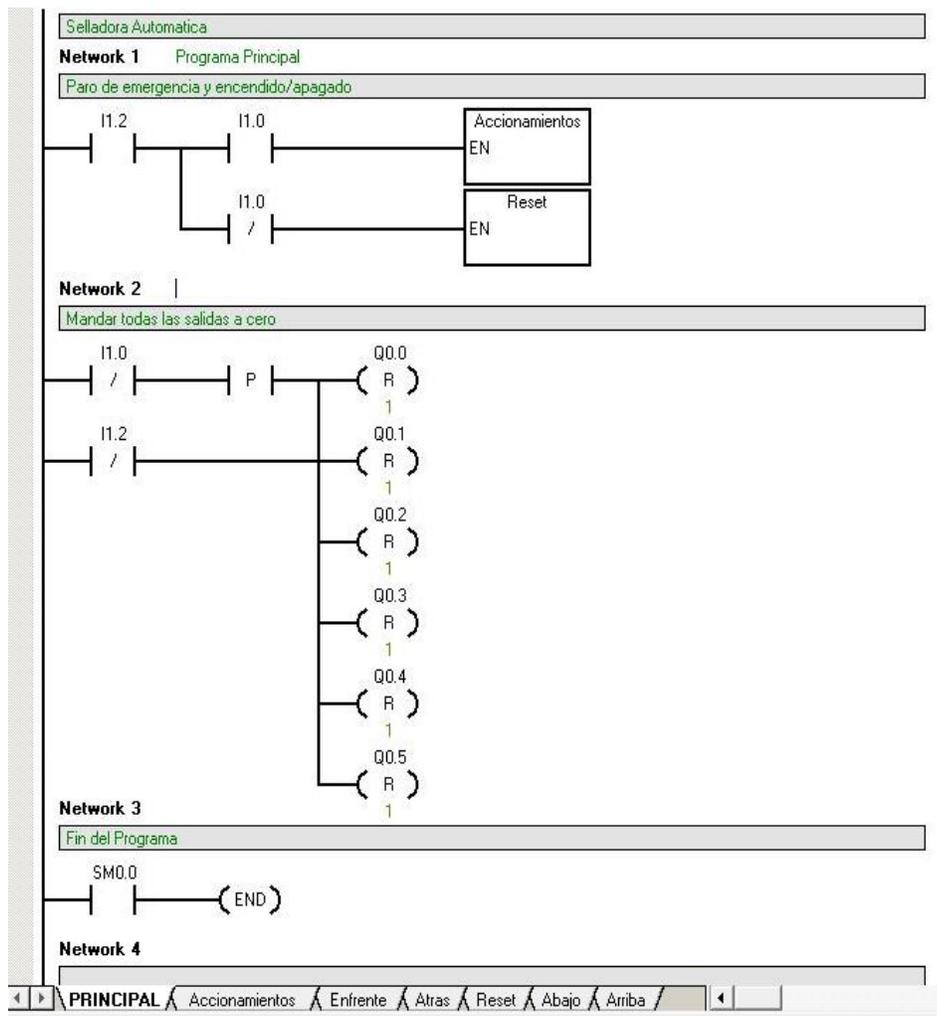


Figura 5.14: Diagrama de escalera principal del bloque del programa

En la figura 5.15 se muestra lo que hay dentro de la subrutina de accionamientos, donde se llama a cada movimiento dependiendo las entradas. Por ejemplo cuando la entrada I0.0 (sensor de proximidad arriba) pasa a nivel alto, se llama la subrutina del movimiento abajo.

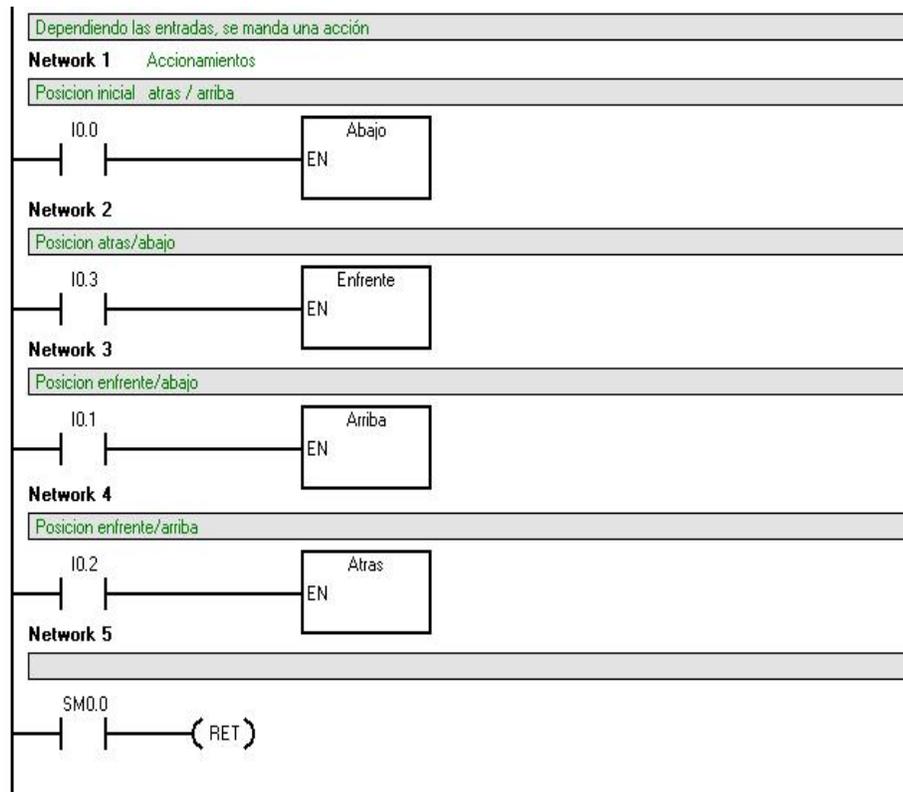


Figura 5.15: Diagrama de escalera de la subrutina Accionamientos

En la figura 5.16 se muestra lo que hay dentro de la subrutina Abajo. Como vimos en la figura anterior esta es llamada solamente cuando I0.0 está encendida, y se queda en espera hasta que I0.3 también sea accionada. En el momento que ambas entradas estén en un nivel alto se apaga Q0.3 y se enciende Q0.1 que es la salida conectada al motor que realiza el movimiento hacia abajo, finalizando la subrutina con la función RET.

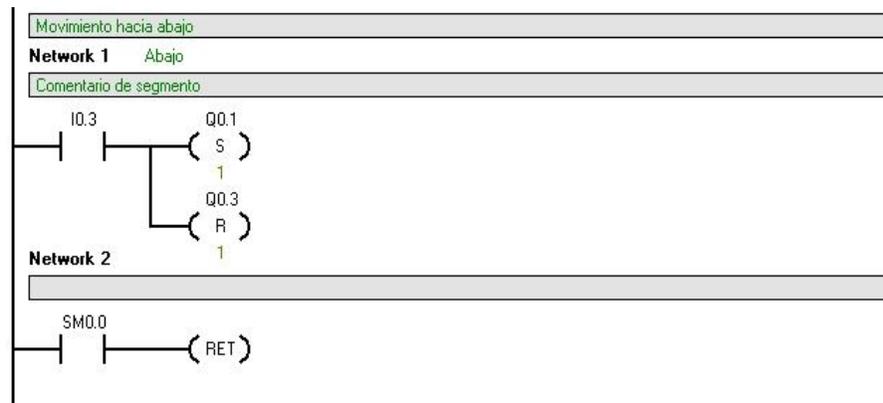


Figura 5.16: Diagrama de escalera de la subrutina Abajo

Cuando la entrada I0.1 es accionada se llama a la subrutina arriba que se muestra en la figura 5.17, al igual que en la subrutina anterior se queda en espera hasta que I0.2 se accione. Al quedar ambas entradas en nivel alto, se apaga Q0.2 y se enciende Q0.0 que es la salida que tiene conectada al motor que realiza el movimiento hacia arriba.

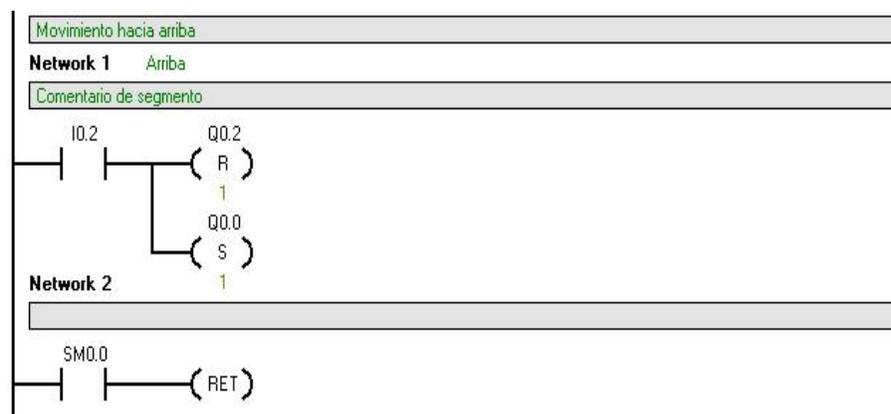


Figura 5.17: Diagrama de escalera de la subrutina Arriba

En la figura 5.18 vemos lo que hay dentro de la subrutina Enfrente, que es llamada cuando I0.3 se acciona. Entonces cuando I0.3 y I0.1 están en nivel alto se da un pulso de flanco de subida, y nos referimos a flanco de subida dado a que hay un contacto con la letra P, este flanco de subida apaga Q0.1 que como sabemos fue encendida en la subrutina Abajo, al mismo tiempo enciende Q0.2 que está conectada al motor que realiza el movimiento hacia enfrente y también enciende Q0.4, dicha salida está conectada hacia la resistencia de sellado, además pone a cero la cuenta de T32 para que comience a contar y convierte el valor que hay en ese momento en la entrada analógica a una variable VW100 el cual se compara con el de la cuenta de T32 y cuando son iguales cierra el contacto T32, para después apagar Q0.4. Dando el tiempo de sellado con un potenciómetro conectado a la entrada analógica.

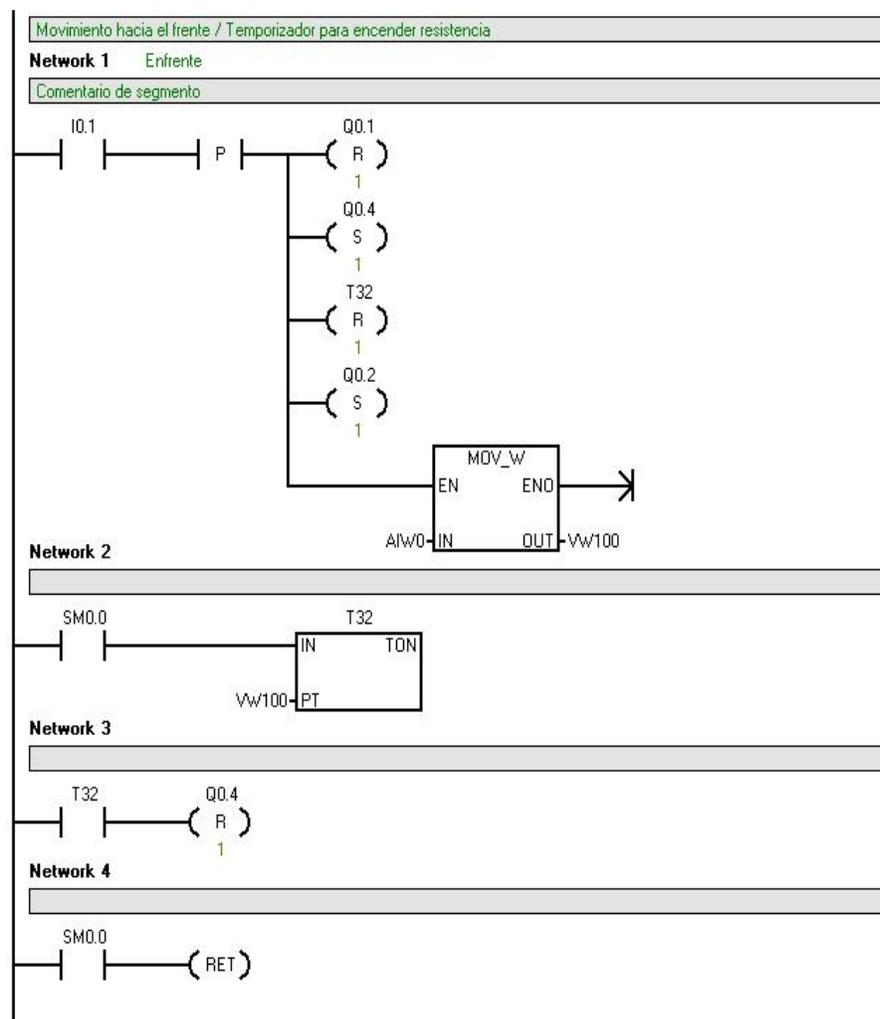


Figura 5.18: Diagrama de escalera de la subrutina Enfrente

En la figura 5.19 se muestra la subrutina Atrás.

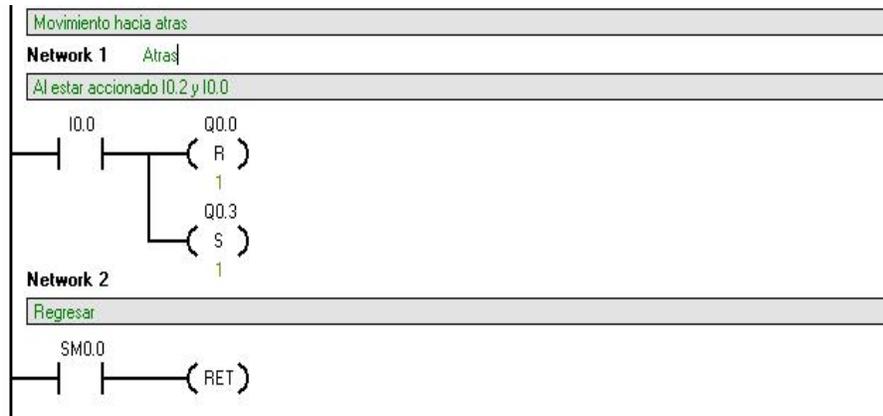


Figura 5.19: Diagrama de escalera de la subrutina Atrás

En la figura 5.20 se muestra la subrutina de Reset. Cuando se activa I1.1 se alimentan las bobinas Q0.0 y Q0.3 para regresar a la posición inicial de la maquina, y se desactivan cuando cada uno de los sensores de proximidad I0.0 e I0.3 se han accionado.

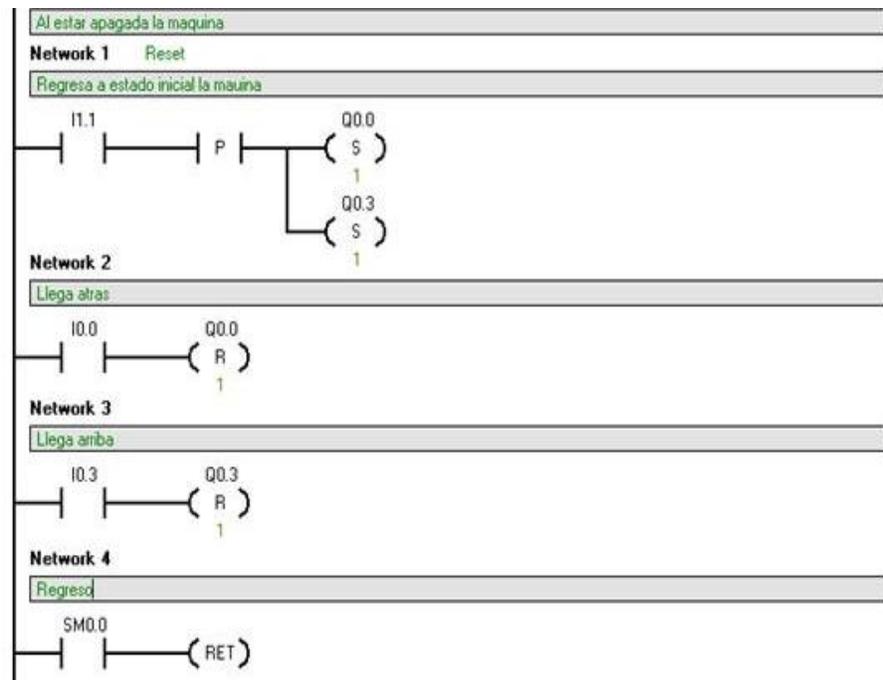


Figura 5.20: Diagrama de escalera de la subrutina Reset

5.4.1. Convertidor RS232 a RS485

Para poder cargar el programa al PLC se utiliza un cable PC/PPI manufacturado por SIEMENS pero debido a que implicaba un gasto adicional, decidimos hacer un convertidor RS232/485 para realizar la comunicación como en la figura 5.21

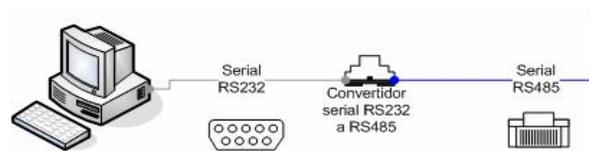


Figura 5.21: Comunicación PC a PLC

Con el convertidor de la figura 5.22 vamos a poder comunicarnos con otros sistemas, usando las normas de comunicación serie más habituales que existen en el entorno industrial. Estas normas son la RS-232 y RS-485, para las cuales se desarrollará un circuito que podrá funcionar con una u otra norma con pocos cambios.

Descripción:

Todo PLC de la familia SIEMENS S7-200 incluye un puerto serie que, mediante un sencillo hardware de adaptación de niveles de tensión, permite implementar un interfaz RS-232 y RS-485. Esto permitirá al PLC que se comunique fácilmente con otros equipos y, en especial, con los PCs. Se recomienda, en general, que los cables que interconectan los dispositivos no excedan de 15 metros. Para distancias mayores se recomiendan otros sistemas de interconexión, por ejemplo un RS-485.

El estándar RS-232-C describe 21 señales en un conector de 25 líneas tipo DB-25, pero ha degenerado y es normal encontrarlo con conectores de 9 patillas tipo DB-9 y con menos señales. Las líneas que más interesan son TRANSMIT y RECEIVE (líneas 2 y 3). Estas líneas son compatibles porque TRANSMIT es una señal de entrada al PLC y de salida para el computador. Lo mismo ocurre con la señal RECEIVE. El resto de líneas permiten conocer cuando se produce una llamada, manejar una comunicación full-duplex o half-duplex, evitar pérdidas de datos cuando uno de los dos elementos no puede absorber más datos.

En cuanto a los niveles de tensión, la norma RS-232-C define una tensión simétrica respecto a la referencia, y al menos 3 V para un nivel lógico 0 y -3 V. para un nivel lógico 1. En la práctica los niveles de tensión son de +12V y -12V.

El interfaz RS-232 utiliza una transmisión no balanceada, por lo que no es adecuada en ambientes industriales (ruido en modo común) y en longitudes de conexión largas.

Las velocidades de transmisión más utilizadas son: 300, 1200, 2400, 4800, 9600 y 19200 bps. En la práctica se logran alcanzar hasta 115.200 bps.

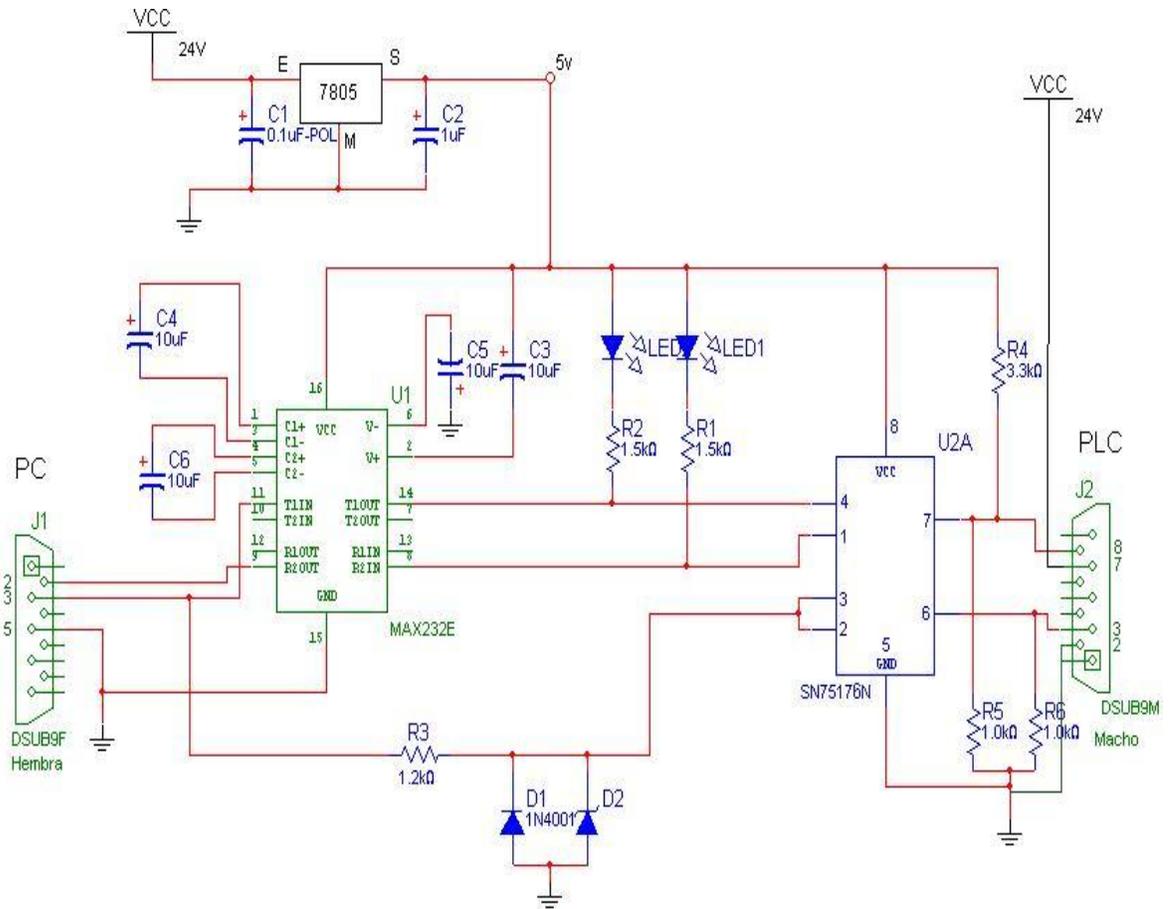


Figura 5.22: Diagrama del convertidor RS232/RS485

5.4.2. Simulación

Para llevar a cabo la simulación antes de cargar el programa al PLC y saber si funciona, se utiliza el simulador S7-200 el cual es muy práctico y amigable. Es un simulador completamente gráfico donde observamos el PLC como si realmente ya estuviera funcionando. En la figura se esta la primera pantalla que sale al abrir el simulador. Es muy sencillo de utilizar, pero demasiado útil ya que se comporta exactamente igual que el PLC.

Para comenzar a utilizarlo, se selecciona la pestaña de configuración, luego tipo de CPU como se muestra en la figura 5.23 a), pudiendo escoger entre todos los CPU de la familia S7-200 de siemens. Enseguida sale la ventana de la figura 5.23 b) y escogemos el CPU224XP.

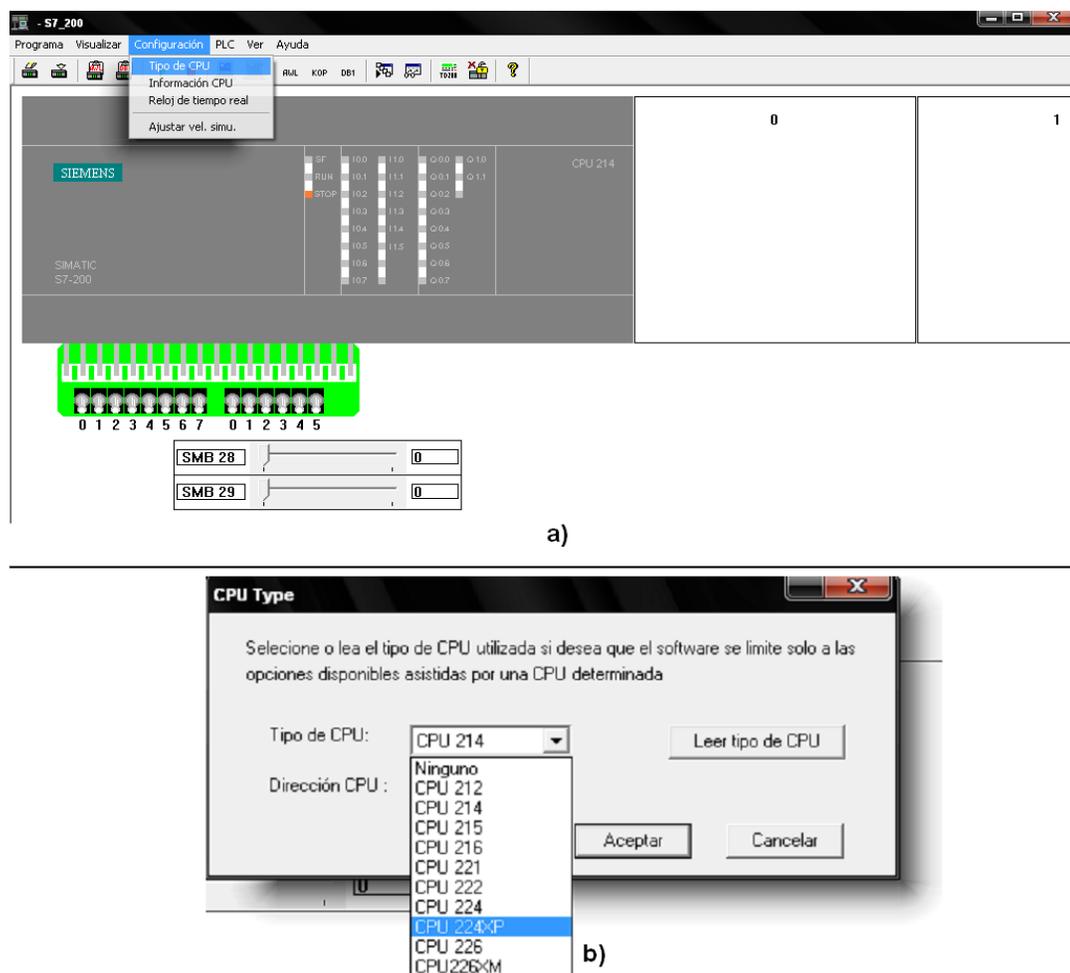


Figura 5.23: S7-200 SIM. a) Pantalla del simulador. b) Tipo de CPU

Ya que se escogió el tipo de CPU procedemos a abrir el programa que guardamos con STEP7 Micro/WIN 32 dando clic en la pestaña de programa y luego cargar programa, aunque es importante que el programa este en forma AWL que es el formato que acepta el simulador.

En la figura 5.24 esta señalado el botón de RUN que sirve para empezar la simulación, el de STOP para parar la simulación, las salidas representadas por unos leds verdes como en el PLC original, la parte de los interruptores dándole un clic con el mouse encima de ellos cambia de estado bajo a alto y viceversa, los potenciómetros incorporados se les cambia el valor entre 0 y 255, en las entradas analógicas también podemos escoger el valor deseado ya sea positivo o negativo, y en la parte de hasta abajo se muestra la salida analógica.

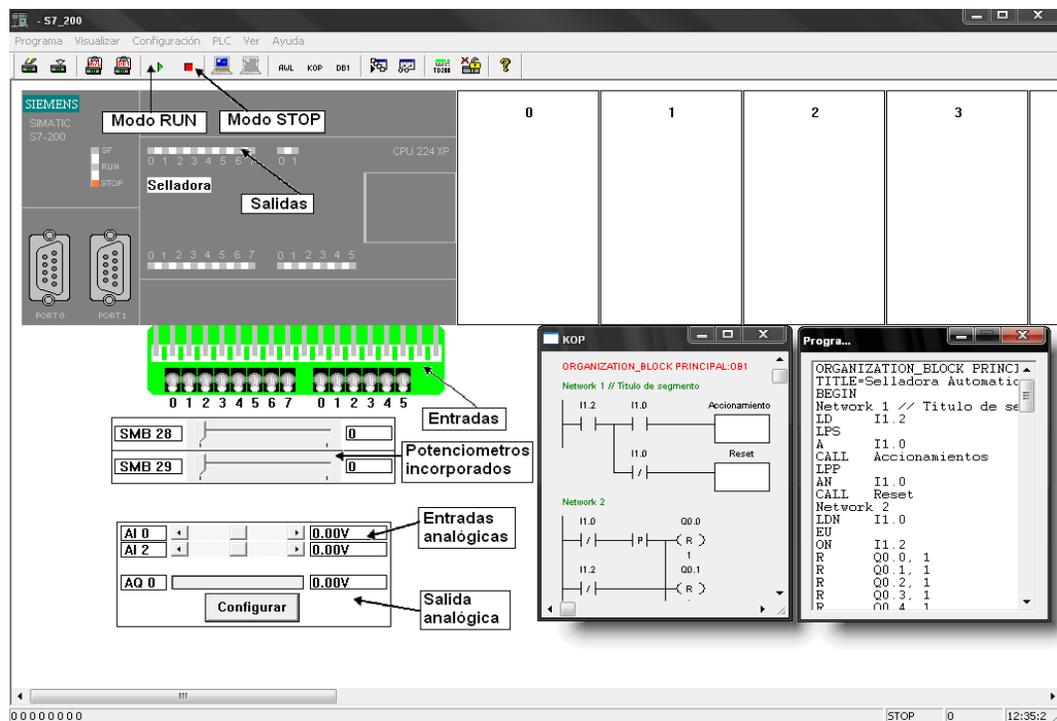


Figura 5.24: Funciones del simulador

5.5. Diagrama eléctrico

El diagrama electrico que utilizamos para el control queda como sigue en la figura 5.25.

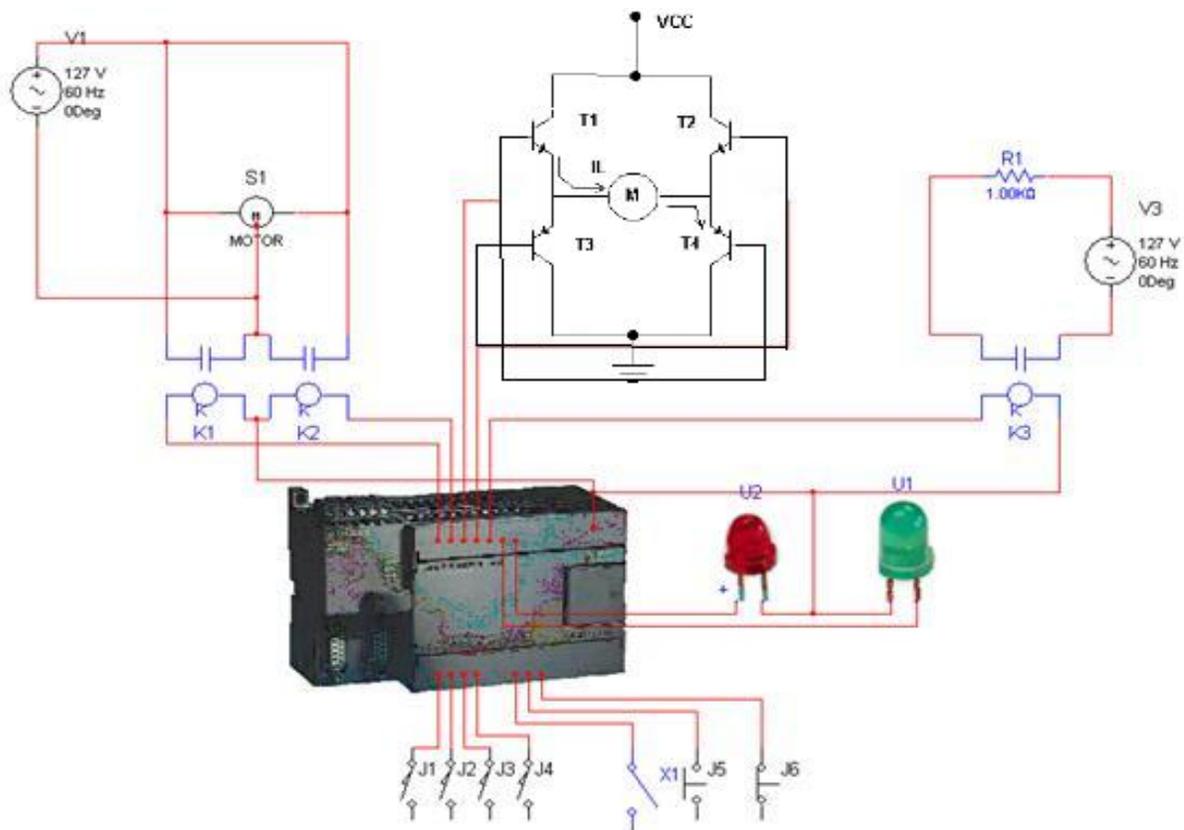


Figura 5.25: Diagrama eléctrico de conexiones al PLC

Donde las entradas son:

- J1 en I0.0.- Sensor de proximidad, atrás.
- J2 en I0.1.- Sensor de proximidad, enfrente.
- J3 en I0.2.- Sensor de proximidad, arriba.
- J4 en I0.3.- Sensor de proximidad, abajo.
- X1 en I1.0.- interruptor encendido/apagado.
- J5 en I1.1.- Pulsador Reset.
- J6 en I1.2.- Botón normalmente cerrado de paro de emergencia.

Donde las salidas son:

- K1 en Q0.0.- Relevador de estado sólido para girar el motor, baja.
- K2 en Q0.1.- Relevador de estado sólido para girar el motor, sube.
- Q0.2.- Hacia puente H, empuja.
- Q0.3.- Hacia puente H, jala.
- K3 en Q0.4.- Relevador de estado sólido para calentar la resistencia.
- U1 en Q1.1.- Led verde de encendido.
- U2 en Q1.2.- Led rojo indicador de paro de emergencia.

Donde:

- S1.- Motor de 127V CA.
- S2.- Motor de 24V CC.
- V1.- Alimentación de 127V CA.
- V2.- Fuente de voltaje de 24V CC.

5.6. Puesta en marcha

Se muestra una tabla comparativa donde exponemos los dos métodos de producción de congeladas, tanto el método manual como el automático.

Características	Maquina manual	Maquina automática
Necesita un operador todo el tiempo	si	no
Producción simultanea	De 1 en 1	De 4 en 4
Tamaño del producto final	Varia	Siempre igual
Nivel de inversión económica	Menor	Mayor
Calidad en el sellado	Media y variable	Alta y estable
Higiene	Media	Alta
Capacidad para producciones altas	no	si

Cuadro 5.2: Comparación entre la maquina manual y el prototipo automático



Figura 5.26: Prototipo final.

En las siguientes figuras se encuentra el prototipo de la maquina para embolsar congeladas, donde vemos la forma en que trabaja con el producto. En la primera, en la figura 5.27 se observa el momento en que el liquido está bajando a través de los tubos y la maquina se encuentra en su estado inicial.



Figura 5.27: Prototipo final, vista lateral.

En la figura 5.28 se observa el momento en que el sistema up-down baja para sujetar el polietileno con el líquido adentro, y la desplaza para proporcionar el tamaño indicado a la congelada, en este mismo movimiento se efectúa el sellado de la misma.



Figura 5.28: Prototipo final, vista lateral 2.

5.7. Conclusiones

Como se mencionó en el capítulo anterior, el diseño electromecánico propuesto en esta investigación resultó el más adecuado para satisfacer las necesidades de automatización del proceso de fabricación y elaboración de congeladas. Dentro de las opciones que se analizaron para dicho propósito, nuestro diseño destaca por el bajo costo de sus componentes, su mantenimiento más esporádico y que no requiere una compleja infraestructura, estos criterios han sido fundamentales para considerar a los actuadores eléctricos como la decisión más viable dado que el bajo costo del diseño no sacrifica la calidad del producto final. Los actuadores hidráulicos o neumáticos son opcionales y pueden desarrollarse de acuerdo al interés de la empresa.

En suma, con nuestro diseño logramos, mediante una lista pequeña de material, fabricar una máquina automática de bajo costo. Mientras el PLC es el encargado del control general, el programa cargado en él se adapta con flexibilidad a los requerimientos de la empresa “Congeladas Reyna” sin mayor complicación operativa. De tal modo conseguimos uniformidad en el sello, en las dimensiones del producto así como en la rapidez de su fabricación. Consecuentemente, una mayor productividad y rentabilidad se ve reflejadas aumentando las horas máquina, disminuyendo las horas hombre, y como ventaja adicional, la inversión realizada en la fabricación del diseño se recupera en un periodo corto de tiempo.

No se ocupan todas las entradas ni todas las salidas del PLC, esto con la finalidad de dejar la opción para seguir con la automatización más adelante ya sea con las E/S disponibles o módulos expandibles de E/S. Siguen habiendo varias opciones de automatización como por ejemplo controlar el flujo del líquido mediante electroválvulas para que segregue la cantidad de líquido exacta requerida o cerrarlas por ejemplo si se rompe el polietileno., también hay la opción de colocar sensores de nivel en un depósito de almacenamiento grande y una bomba que abastezca al depósito de acero inoxidable que se encuentra en la parte de arriba para que cuando se acabe el líquido en los dos depósitos parar la máquina., también cuando se acabe el polietileno no siga trabajando la máquina., y así todas las tareas que hace un operador se pueden seguir automatizando mediante el mismo PLC.

Bibliografía

- [1] Balcells, J., y J. Romeral, “*Autómatas programables*”, Marcombo, España, 1997.
- [2] Córdoba Nieto, E., “*Manufactura y automatización*”, Ing. Investig., sep./dic. 2006, vol.26, no.3, pp.120-128.
- [3] Cruz Teruel, F., “*Control numérico y programación: Sistemas de fabricación de máquinas automatizadas*”, Marcombo, España, 2005, pp.1-15.
- [4] Enríquez Harper, G., “*El ABC de la instrumentación en el control de procesos industriales*”, Editorial Limusa, México, 2000.
- [5] Fowler, R., y C. Schuler, “*Electricidad: Principios y aplicaciones*”, Reverté, Barcelona España, 1994. pp.79-90.
- [6] Maloney Timothy J., y C. Mendoza Barraza, “*Electrónica industrial moderna*”, Edition: 5, Pearson Educación, 2006. pp.491-495
- [7] Mandado, E., “*Autómatas Programables: Entorno y Aplicaciones*”, International Thomson Paraninfo, España, 2005, pp.370-450.
- [8] Martínez Gea, J., M. Villar Matínez, J. Martínez Asís, y F. Cabeza Muños, “*Tecnología*”, MAD-Eduforma, Volumen IV, pp 525-550.
- [9] Mileaf, H., “*Electricidad*”, Limusa, Mexico, 1978, tomo 7, pp5-69.
- [10] Millan Teja, S., “*Automatización neumática y electroneumática*”, Marcombo, Barcelona España, 1996. pp105-125
- [11] Pallás Areny, R., “*Adquisición y distribución de señales*”, Marcombo, 1993. pp 54-64
- [12] Petruzella Frank, D., “*Programmable Logic Controllers*”, McGraw-Hill, Second Edition, EU, pp 4-100.
- [13] Senner, A., “*Principios de Electrotecnia*”, Reverté, Barcelona España, 1994. pp95-130
- [14] Timothy, M., C. Mendoza Baraza, y V. González Pozo, “*Electrónica industrial moderna*”, Pearson Educación, Edition: 5, 2006, pp 75-90.

- [15] Tocci, R., y S., Widmer Neal “*Sistemas digitales: Principios y Aplicaciones*”, Pearson Educación, Edition: 8, 2003, pp 40-50.
- [16] [http : //www.merriam – webster.com](http://www.merriam-webster.com)
- [17] [http : //www.eumed.net/libros/2007b/299/46.htm](http://www.eumed.net/libros/2007b/299/46.htm)
- [18] [http : //sifunpro.tripod.com/automatizacion.htm](http://sifunpro.tripod.com/automatizacion.htm)
- [19] [http : //kefamare.galeon.com/automata.htm](http://kefamare.galeon.com/automata.htm)
- [20] [http : //www.esid.uji.es/asignatura/obtener.php?letra = 3ANDcodigo = 65ANDfichero = 1128352872365](http://www.esid.uji.es/asignatura/obtener.php?letra = 3ANDcodigo = 65ANDfichero = 1128352872365)
- [21] [http : //es.wikipedia.org/wiki/Control_numerico_por_computadora](http://es.wikipedia.org/wiki/Control_numerico_por_computadora)
- [22] [http : //www.elprisma.com/apuntes/ingenieria_mecanica/controlnumericocnc/default.asp](http://www.elprisma.com/apuntes/ingenieria_mecanica/controlnumericocnc/default.asp)
- [23] [http : //www.fing.uach.mx/MatDidactico/Legislacion/autopro.htm](http://www.fing.uach.mx/MatDidactico/Legislacion/autopro.htm)
- [24] [http : //www.monografias.com/trabajos14/manufaccomput/manufaccomput.shtml](http://www.monografias.com/trabajos14/manufaccomput/manufaccomput.shtml)
- [25] [http : //www.ing.uc.edu.ve/emescobar/automat1/contenido_menu/Unidad1/Contenido/pagina1/pagina1.htm](http://www.ing.uc.edu.ve/emescobar/automat1/contenido_menu/Unidad1/Contenido/pagina1/pagina1.htm)
- [26] [http : //www.uhu.es/diego.lopez/ICI/Tema2SensoresyActuadores2005.pdf](http://www.uhu.es/diego.lopez/ICI/Tema2SensoresyActuadores2005.pdf)
- [27] [http : //www.gestiopolis.com/recursos6/Docs/Ger/transduc.htm](http://www.gestiopolis.com/recursos6/Docs/Ger/transduc.htm)
- [28] [http : //www.dccia.ua.es/dccia/inf/asignaturas/ROB/optativos/Sensores/externos.html](http://www.dccia.ua.es/dccia/inf/asignaturas/ROB/optativos/Sensores/externos.html)
- [29] [http : //www.profesormolina.com.ar/tecnologia/sens – transduct/tipos.htm](http://www.profesormolina.com.ar/tecnologia/sens-transduct/tipos.htm)
- [30] [http : //www.wikiciencia.org/electronica/electricidad/reles/index.php](http://www.wikiciencia.org/electronica/electricidad/reles/index.php)
- [31] [http : //www.forosdeelectronica.com/proyectos/rele – estado – solido.htm](http://www.forosdeelectronica.com/proyectos/rele-estado-solido.htm)
- [32] [http : //www.schneider – electric.com.ar/recursos/contacto/contacto54.pdf](http://www.schneider-electric.com.ar/recursos/contacto/contacto54.pdf)
- [33] [http : //www.elprisma.com/apuntes/ingenieria_industrial/actuadoresneumaticos/](http://www.elprisma.com/apuntes/ingenieria_industrial/actuadoresneumaticos/)