



**Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica**

AUTOMATIZACIÓN DE UNA INYECTORA DE PLÁSTICO

HARLEY WILLIAM JERÓNIMO MORALES

**ASESORADO POR
ING. JOSÉ GUILLERMO BEDOYA BARRIOS**

Guatemala, abril de 2005.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

AUTOMATIZACIÓN DE UNA INYECTORA DE PLÁSTICO

TRABAJO DE GRADUACIÓN

**PRESENTADO A JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR**

HARLEY WILLIAM JERÓNIMO MORALES

**ASESORADO POR
ING. JOSÉ GUILLERMO BEDOYA BARRIOS**

**AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

GUATEMALA, ABRIL DE 2005

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
VOCAL I	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL II	Lic. Amahán Sánchez Álvarez
VOCAL III	Ing. Julio David Galicia Celada
VOCAL IV	Bach. Kenneth Issur Estrada Ruiz
VOCAL V	Bach. Elisa Yazminda Vides Leiva
SECRETARIO	Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
EXAMINADOR	Ing. Pablo Rodolfo Zúñiga Ramírez
EXAMINADOR	Ing. Gustavo Benigno Orozco Godínez
EXAMINADOR	Ing. Marvin Marino Hernández Fernández
SECRETARIO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los conceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

Automatización de una inyectora de plástico

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Mecánica Eléctrica, con fecha 11 de octubre de 2002.

Harley William Jerónimo Morales

AGRADECIMIENTO

Al ingeniero José Ricardo Cordón, que con sus conocimientos y experiencia en el ramo de las automatizaciones, colaboró e hizo posible el desarrollo del presente trabajo de graduación.

Al ingeniero José Guillermo Bedoya Barrios, por su orientación, confianza y por proporcionarme los conocimientos que he adquirido a través de su esfuerzo.

DEDICATORIA

- A DIOS** Padre Universal
- Por las bendiciones y la luz divina con que guía mi camino.
- A MIS PADRES** Augusto Jerónimo Sis y
María del Carmen Morales Román de J.
- Por su amor y apoyo incondicional, por ser un ejemplo a seguir y sin cuyo esfuerzo no habría alcanzado esta meta.
- A MIS HERMANOS** Auggie, Mónica Fabiola y Moisés Salvador.
- Con amor fraternal.
- A MI SOBRINO** Pablo David Jerónimo Guzmán
- Que sea un ejemplo para él.
- A MIS ABUELOS** Agustín Jerónimo (QEPD)
Estanislada Sis (QEPD)
Alejandra Xitumul
Adrián Morales (QEPD)
Pedrina Román
- Con infinito amor.
- A MIS TÍOS Y PRIMOS** Con mucho cariño.
- A MIS AMIGOS** Emilio López, Ludwing Tun, Édgar Manzo, Carlos Fuentes, Érick Ralda.
- Por su sincera amistad.
- A LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA** por el más generoso de los obsequios: La enseñanza.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	IV
LISTA DE SÍMBOLOS	VI
GLOSARIO	VII
RESUMEN	XIII
OBJETIVOS	XV
INTRODUCCIÓN	XVI
1. INYECTORAS DE PLÁSTICO	1
1.1. Introducción	1
1.2. Proceso de productos plásticos, ciclo de trabajo	4
1.3. Partes importantes de la máquina de inyección de plástico	6
1.3.1. Cámara de plastificación	6
1.3.2. Prensa de molde	8
1.3.3. Botadores	10
1.3.3.1. Mecánicos	10
1.3.3.2. Hidráulicos	10
1.3.3.3. Neumáticos	11
1.3.4. Sistema hidráulico	11
1.3.4.1. Bomba hidráulica	14
1.3.4.2. Válvulas de control de presión	17
1.3.4.3. Válvulas de control de flujo	18
1.3.4.4. Válvulas direccionales	19
1.3.5. Sistema de control	23
1.3.5.1. Modo manual	24
1.3.5.2. Modo semiautomático	24

1.3.5.3. Modo automático	24
1.4. Materia prima	25
1.5. Clasificación de máquinas de inyección	26
1.6. Preparación de la máquina para producir	27
2. AUTÓMATAS, (CONTROL LÓGICO PROGRAMABLE, PLC)	29
2.1. Introducción	29
2.2. Estructura	31
2.3. Comunicación	37
2.4. <i>Software</i> industrial	43
2.4.1. Gráfico secuencial de funciones (<i>grafcet</i>)	44
2.4.2. Lista de instrucciones	46
2.4.3. Texto estructurado	47
2.4.4. Diagrama de contactos	49
2.4.5. Diagrama de funciones	51
2.5. <i>Hardware</i> industrial	52
2.6. Medición de parámetros físicos	54
2.6.1. Microinterruptores	55
2.6.2. Sensores inductivos	55
2.6.3. Sensores capacitivos	56
2.6.4. Sensores de reluctancia variable	57
2.6.5. Sensores fotoeléctricos	58
2.6.6. Neumáticos de proximidad	60
2.6.7. Sensores ultrasónicos	60
2.6.8. Sensores magnéticos	61
2.6.9. <i>Encoders</i>	61
2.6.10. Sensores de presión	64
2.6.11. Sensores de nivel	65
2.6.12. Sensores de temperatura	65

2.6.13. Termopares	65
2.6.14. RTD	66
2.6.15. Termistores	66
2.6.16. Sensores de flujo	67
2.7. Adquisición de datos	68
3. AUTOMATIZACIÓN	71
3.1. ¿Por qué automatizar?	71
3.2. Costos de la automatización	72
3.3. Tiempo requerido para la automatización	73
3.4. Ventajas y desventajas de la automatización	76
4. AUTOMATIZACIÓN DE UNA INYECTORA DE PLÁSTICO, 400TD	77
4.1. Pasos para la automatización de una inyectora	77
4.1.1. Conocer el proceso de trabajo de la inyectora de plástico	77
4.1.2. Determinar las variables de control de la inyectora de plástico	82
4.1.3. Diseño de mecanismos para el control de variables	83
4.1.4. Diseño de entradas y salidas del autómata	84
4.1.5. Elección del <i>hardware</i>	90
4.1.6. Diseño del panel de control	93
4.1.7. Diseño del <i>software</i>	95
4.1.8. Instalación	109
4.1.9. Mecanismo para poner a funcionar el nuevo sistema de control	110
4.1.10. Graduación de algunos dispositivos	112
4.1.11. Controlar el funcionamiento	113
CONCLUSIONES	114
RECOMENDACIONES	115
BIBLIOGRAFÍA	116

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1	Máquina por moldeo por inyección	2
2	Tornillo sinfín	7
3	Mecanismo de cierre de una MMI	9
4	Circuito hidráulico	12
5	Pistón hidráulico	13
6	Rotor dirigido por un árbol	16
7	Simbología de válvulas de control de presión	18
8	Variantes de válvulas de control de flujo hidráulico	19
9	Válvula direccional	20
10	Diagrama PVT para polímeros	21
11	Diagrama hidráulico con una bomba de 20 GPM	23
12	Estructura del autómeta	31
13	Ciclo scan del autómeta programable	34
14	Topología de redes	39
15	Gráfico secuencial de funciones	45
16	Elementos básicos de un programa AWL	46

17	Ejemplo de programación en texto estructurado	47
18	Ejemplo de programación a base de LD	50
19	Elementos básicos de diagrama de funciones	51
20	Diagrama de conexión de entradas analógicas para una MMI	85
21	Diagrama de conexión de entradas digitales para una MMI	87
22	Diagrama de conexión de salidas digitales del autómata	89
23	Graficet de funcionamiento para el ciclo de una MMI	96

TABLAS

I	Bombas hidráulicas	15
II	Datos de polímeros	25
III	Tipos de termopares	66
IV	Tiempo y costo de la automatización	75
V	Electroválvulas de una MMI 400TD mod 75	82
VI	Variables de entradas analógicas de una MMI 400TD mod 75	85
VII	Variables de entrada digital de la MMI 400TD mod 75	86
VIII	Salidas digitales de la MMI 400TD mod 75	88
IX	Opciones de PLC's de posibles opciones para la automatización de la MMI	91

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
MPa	Megapascales
PSI	Libras por pulgada cuadrada
Mlb _f	Megalibras fuerza
GPM	Galones por minuto
Min	Minutos
Seg	Segundo
DCV	Voltios corriente directa
VAC	Voltios corriente alterna
V	Voltio
π	Constante pi, igual a 3.1416

GLOSARIO

Actuadores	Elementos externos al autómatas que ejecutan las órdenes dadas por él y que se conectan a las tarjetas de salida.
Asíncrona	Se dice de una transmisión en la que el receptor se resincroniza, es decir, regula su reloj sobre el emisor a cada inicio de carácter.
Autómata programable PLC	(<i>Programmable logic controller</i> , por sus siglas en inglés). Es un equipo electrónico, programable en lenguaje no informático, diseñado para controlar en tiempo real y en ambiente de tipo industrial, procesos secuenciales.
Bit	Unidad mínima de información en el sistema binario dentro de un ordenador y que puede tomar valores de 0 y 1. 1 Megabit = 1.000.000 bites.
Byte	Equivale a 8 bits. (1 Byte=8bit). Unidad de medida en el almacenamiento de memoria. Equivalencias: 1 Kbyte = 1.024 bytes; también 1 K = 1.024 bytes. 1 Megabyte = 1.000.000 bytes.

Bus	Enlace común. Vía a la que varios elementos de un ordenador pueden estar conectados en paralelo de tal forma que puedan pasar señales entre sí.
Bus paralelo	Sistema de transmisión de información que permite transmitir varias señales digitales a la vez, sobre hilos diferentes (por ejemplo, 16 ó 32 bits a la vez en el caso de los BUS de ordenadores). Estos BUS disponen en general de hilos suplementarios que permiten el control de la transmisión.
Bus serie	Sistema de transmisión de información en el que estas informaciones, incluidas las de control, se transmiten sucesivamente una tras otra.
Canal	Camino por el que circulan informaciones; vía que permite transferir datos.
Codificación	Conjunto de reglas que establecen una correspondencia entre dos conjuntos de elementos.
Componentes periféricos	Elementos externos y que son complementarios del autómata: Teclado. Equivalente al teclado de una máquina de escribir y sirve para transmitir órdenes y programar. Monitor. Pantalla en la que aparecen caracteres, gráficos, programas, esquemas, etc.

	<p>Impresora. Aparato en el que escriben los mensajes emitidos por el autómata.</p> <p>Calculador. Aparato que gestiona la función de varios autómatas, permitiendo realizar el control de la gestión.</p>
Convertidor analógico/digital	Dispositivo electrónico que convierte una señal analógica en señal digital.
Diversos tipos de memoria	<p>RAM. (<i>Random-access memory</i>, por sus siglas en inglés). Memoria de acceso aleatorio. Dispositivo semiconductor de memoria de escritura y lectura cuyo elemento básico consiste en una sola celda capaz de almacenar un bit de información. Se borra al faltarle corriente.</p> <p>ROM. (<i>Read-only memory</i>, por sus siglas en inglés). Memoria sólo de lectura. Dispositivo de memoria semiconductor no volátil utilizado para el almacenamiento de datos que nunca necesitarán modificación.</p> <p>PROM. (<i>Programmable read-only memory</i>, por sus siglas en inglés). Memoria programable sólo de lectura. Forma de memoria semiconductor sólo de lectura, ROM, cuyo contenido se añade mediante un proceso separado, posterior a la fabricación del dispositivo.</p> <p>EPROM. (<i>Ereaseble programmable read-only memory</i>, por sus siglas en ingles). Memoria de sólo lectura programable borrrable. Tipo de PROM que</p>

	puede ser programado varias veces por el usuario.
Disco duro	Disco de gran capacidad de almacenamiento para el que hace falta muy poco tiempo para acceder a su programa y recabar una información.
Hardware	Componentes físicos de un ordenador. Parte física de un ordenador incluyendo los componentes eléctricos/electrónicos (dispositivos y circuitos), componentes electromecánicos (unidad de discos), componentes metálicos (armario).
Instrucciones	Cada una de las órdenes de trabajo de un programa, pudiendo ser de tipo aritmético, lógicas, memorias. E/S (entradas/salidas) y otras.
Lenguaje	También llamado como código de la máquina, es el medio que interpretan los microprocesadores (μ P) y se expresa en código binario. Los lenguajes más conocidos son los siguientes: <i>Basic</i> , Fortran, Cobol, Logo, Pascal, Lotus, P11, Ada, Emsamblador, <i>Forth</i> , Dinamic C y otros muchos.
Lógica cableada	Se dice que un automatismo está realizado en lógica cableada cuando se ejerce con módulos intercalados, dependiendo su funcionamiento del cableado, pudiendo ser los módulos electromagnéticos, neumáticos, hidráulicos o eléctricos. La lógica cableada es rápida en la

	ejecución de maniobra, pero resulta voluminosa y tiene limitaciones en cuanto a posibilidades.
Periféricos	Aparatos y elementos del autómata u ordenador, que están en comunicación directa con ellos, como son las impresoras, monitores, teclados, etc.
Polímero	Compuestos orgánicos o sintéticos caracterizado por pequeñas unidades llamadas meros.
Protocolo de transmisión de datos	Conjunto de reglas necesarias que permiten a los ordenadores comunicarse. En particular para establecer y mantener intercambios de información entre dichos ordenadores.
Rack	Bastidor que recoge la configuración del autómata programable de forma modular.
Reset	Acción por la que se pone a cero un contador, un temporizador. Por extensión, volver una situación a sus valores iniciales.
Sensores	Elementos externos al autómata por medio de los cuales se transmiten señales a los autómatas y que se conectan a las tarjetas de entrada.
Síncrona	Se dice de aquella transmisión en la que el emisor y el receptor están exactamente sincronizados, es decir, que tienen un reloj idéntico al menos durante

	todo el tiempo de duración de un mensaje.
Software	Programa. Término genérico que se aplica a los componentes de un sistema informático que no son tangibles o físicos. Corresponde a los programas escritos por el usuario o por otras personas.
Termoestables	Plásticos que al calentarse no se ablandan ni quedan flexibles.
Termoplásticos	Plásticos que consisten en cadenas desconectadas, cuando se calientan quedan blandos y deformables.

RESUMEN

Las MMI sirven para tratar polímeros y revertir a formas de utilidad. La materia prima es llevada a temperatura de derretido en la unidad de inyección. Ésta, a su vez, inyecta el plástico al molde que está sujetado por la prensa de molde. En donde se enfría y es extraído por los expulsores. Esto pasa en un ciclo de trabajo controlado por un PLC.

El PLC es un equipo electrónico programable diseñado para controlar en tiempo real y en ambiente de tipo industrial procesos secuenciales. Trabaja sobre la base de información recibida por los sensores y programa lógico interno, actuando sobre accionadores de la instalación, haciendo de la automatización una herramienta esencial para la industria.

Las automatizaciones pueden ser tan completas como un SCADA o sencillas con lógica cableada. Y es que con ello se logra control y ejecución de acciones automática sin intervención del operador; agiliza procesos, aumenta eficiencia y costos bajos. Además, se confía en la continuidad de servicio. La estructura básica de un PLC es alimentación eléctrica, CPU, interfases de entrada e interfases de salida. Se tienen cinco tipos de programación que son:

- a. Gráfico secuencial de funciones
- b. Lista de instrucciones
- c. Texto estructurado
- d. Diagrama de contactos
- e. Diagrama de flujo

Conociendo los componentes de la MMI, desde su ciclo completo, materia prima, etc., y conocer los PLC's desde sus estructura, *software* y *hardware*, se lleva a cavo el proyecto de automatización.

OBJETIVOS

- General:

Automatizar una inyectora de plástico.

- Específicos:

1. Conocer las variables a controlar en la automatización de una inyectora de plástico.
2. Conocer generalidades de los PLC'S.
3. Conocer las ventajas de una automatización.
4. Conocer los pasos para una automatización de una inyectora de plástico.

INTRODUCCIÓN

Guatemala cuenta con una variedad de industrias, entre las cuales tenemos las fábricas de artículos de plástico que tienen gran aceptación en el mercado debido a su bajo costo. Entre los productos podemos mencionar baños, canastas, vasos, cubiertos, sillas, mesas, juguetes, lapiceros, reglas, escuadras, etc.

El éxito de las industrias plásticas, en general, depende del uso eficiente de sus máquinas de inyección, ya que constituyen un equipo destinado a la producción en serie. Los equipos trabajan 24 horas, más de 5 días a semana todo el año, y en la mayoría de casos tienen de 10 a 20 años de haberlos adquirido. Tienen de dos a tres paneles para el control de la máquina. Esto hace tardado el proceso de graduación de moldes, ya que se deben conocer detalladamente los paneles de control.

Uno de los inconvenientes para la producción, son los controles que dan muchos problemas debido a su deterioro por su constante trabajo, antigüedad y estar controlados a base de tecnologías antiguas, lo cual requiere de mucha atención a la hora de sufrir con una falla, y en algunos casos no se tienen repuestos a la mano, sino únicamente en el mercado extranjero.

Lo anterior da como resultado el paro de la máquina, lo cual crea pérdida de tiempo, y esto viene a afectar directamente en la producción, energía y pagos de operarios. Para eliminar estos problemas, se deben usar dispositivos

de fácil acceso y bajo precio en el mercado. Esto se logra automatizando la máquina.

Las automatizaciones se están dando a gran escala, a nivel mundial. Esto es debido a que hace agilizar los trabajos, es de fácil manejo de equipos y maquinaria, y se tiene mayor control. Se automatizan las entradas al trabajo, se pone el pulgar y se tiene una clave que identifica al usuario la computadora da el informe de la hora de entrada y salida del individuo mensualmente. Esto da como resultado un beneficio no sólo a los trabajadores sino a los jefes que tienen un mejor control de sus subordinados.

En el presente trabajo de graduación se trabaja una automatización de una inyectora de plástico, ó máquina por molde por inyección, MMI. Para ello es necesario conocer el funcionamiento de la misma. Se debe profundizar en las características de la materia prima que va ser transformada, lo cual nos ayudará a conocer el ciclo de la MMI. De aquí partimos para conocer los accionamientos de las partes móviles a través de los circuitos hidráulicos accionados por mandos eléctricos.

Conociendo la MMI se elige el autómeta adecuado para el proyecto. Para ello se debe tener conocimientos sobre su estructura, tipos de comunicación, *software* utilizado, *hardware* del mercado, tipos de sensores, etc. Así como los precios de la tecnología usada, mano de obra, tiempo para ejecución del proyecto, y ventajas que nos trae el proyecto de automatización.

1. INYECTORAS DE PLÁSTICO

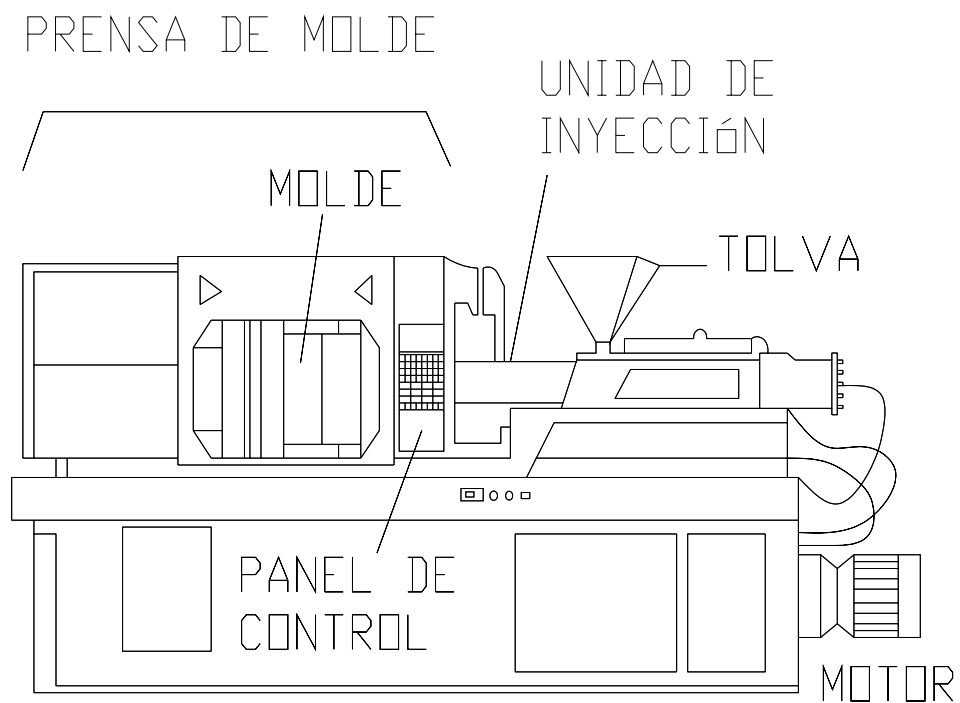
1.1. Introducción

El moldeo por inyección constituye uno de los principales procedimientos para revertir resinas, polvos, pelets y otras formas de plástico en productos útiles. Es apropiado para todos los termoplásticos. Las máquinas de moldeo por inyección (MMI), para termoestables sirven para tratar polímeros. En todos los casos, los materiales granulados absorben suficiente calor para facilitar su viscosidad, lo que permite la inyección del plástico caliente en molde cerrado, en el que se crea la forma deseada. Cuando se enfría, se extrae las piezas del molde con un sistema de expulsión. Las MMI constan de unidad de inyección y prensa de molde, como se ve en la figura 1.

La unidad de inyección se encarga de alimentar, fundir e inyectar los polímeros; para lograrlo, consta principalmente de: tambor que almacena el material; una tobera permite paso del material hacia la cavidad del molde; el tornillo determina la velocidad y eficacia de la inyección además de la plastificación de granzas; la válvula de retención sirve para impedir que el material retroceda durante la inyección; bandas de calor encargadas de proporcionarle calor al tambor a temperatura preajustada; motor de carga que se encarga de rotar el tornillo, y cilindro hidráulico que acciona el tornillo hacia atrás y adelante.

Los sistemas de control mantienen las temperaturas en los niveles seleccionados e inician y cronometran la rotación del tornillo y los impulsos de inyección.

Figura 1. Máquina por moldeo por inyección



La unidad de sujeción o prensa de molde sirve para abrir y cerrar el molde y para expulsar las piezas. Los dos métodos más corrientes para generar fuerzas de sujeción usan modelos de abrazaderas hidráulicas directas, que eliminan las uniones mecánicas pero requieren de cilindros de sujeción de dimensiones superiores.

Las MMI se clasifican de acuerdo al tonelaje de fuerza máxima de cierre, presión de sostenimiento, y al volumen de carga máxima de material.

El ciclo de trabajo tiene cinco tiempos que son:

a) Carga. Necesario para que se desplace el material plástico en el tambor y dejarlo listo para la inyección.

b) Tiempo de inyección. Período en el que comienza a ingresar el material a la cavidad y que es proporcional tanto a la velocidad de inyección como a la presión de inyección hasta que se congela la colada.

c) Tiempo de sostenimiento. El necesario para mantener presión en la cavidad y evitar la deformación de la parte.

d) Tiempo de enfriado. El necesario para que se enfríe y asiente suficientemente para extraerlo de la cavidad y evitar la deformación de la parte.

e) Cierre y apertura de platina y expulsión de la parte.

El plástico derretido en el tambor se compone de macromoléculas amorfas, que se retuercen, enrollan y envuelven unas con otras. Cuando un plástico fundido fluye por el diámetro de la tobera hacia la cavidad, algunas moléculas se estiran. Si la velocidad de flujo es elevada, las moléculas se estirarán hasta quedar prácticamente rectas, en un fenómeno conocido como por orientación.

Cuando un plástico amorfo muy orientado se enfría, algunas moléculas retornan al estado enrollado y retorcido si tienen oportunidad, lo cual depende de la velocidad. Sin embargo es lento, tendrán tiempo suficiente para moverse a reorganizar y enrollarse. Si es muy corto, las moléculas estiradas se congelarán antes de enrollarse. Al congelarse las moléculas estando estiradas,

se sentirán tensas. En cuanto tienen posibilidad, si se calentara material suficiente cambiará de forma.

Cuando el material fluye por la cavidad del molde su velocidad es reducida en las paredes del molde debido a su viscosidad. Esto ocasiona un enfriamiento y reducción de la cavidad, aumentando moderadamente la velocidad del material. El molde consta de circuitos de enfriamiento por convección de calor del material.

Los fabricantes de maquinaria incluyen dispositivos para proteger tanto a los operarios como a la propia máquina. La protección del personal técnico se basa en las guardas, puertas, sistemas de seguridad de moldeo cerrado, guardas de purga y sistemas de puerta trasera.

El moldeo por inyección es muy extendido, permite insertos de metal, altos índices de productividad, control de acabado superficial con la textura deseada y una buena precisión en las dimensiones. El proceso de moldeo por inyección es complicado. En ocasiones, un diseño defectuoso de la pieza o del molde puede traducirse en resultados poco aceptables. Cuando no vigilan los procesos, aumenta el índice de desechos y el rechazo de piezas por parte del cliente puede suponer importantes pérdidas financieras.

1.2 Proceso de inyección de productos plásticos, ciclo de trabajo

El molde se coloca en la unidad de sujeción, y consta fundamentalmente de dos limitantes, fijadas respectivamente; a la platina fija del lado de la tobera; y la platina móvil del lado del extractor. El movimiento de cierre se efectúa previo a iniciar la inyección, y se realiza empujando la platina

móvil por medio de un accionamiento hidráulico de pistón o mecánico de rodillera con pistones hidráulicos auxiliares.

El polímero es depositado en la tolva del dispositivo dosificador que alimenta la cámara de plastificación generalmente por gravedad. Esta porción de material es empujado hacia delante cuando el tornillo es puesto a girar. El cilindro hidráulico ejerce una fuerza en la parte posterior del tornillo, desplazándose hacia atrás, acarreando hacia la zona de dosificación la porción de material.

Debido a las bandas de calor situadas en la superficie exterior del tambor y al calor friccional generado por la rotación del tornillo, se lleva el material a una temperatura que produce una fusión termoplástica homogénea. Esta temperatura es regulada por controles de temperatura a un valor determinado.

Las características propias del proceso de inyección hacen que el avance de material no sea permanente, sino que haya una cierta permanencia de material en el tambor, sin embargo, con cada avance se obtiene una fusión plástica homogénea lista para la inyección. El molde es cerrado con el tonelaje de cierre necesario y la tobera ya ha hecho contacto con el bebedero del molde, se inicia entonces el ciclo de inyección de la parte.

El material inyectado atraviesa el bebedero, llega a las cavidades del molde, que corresponde a la forma de la parte a producir. La velocidad máxima de inyección depende de las propiedades del polímero y las características del molde que se empleen. El cilindro puede moverse lento o rápidamente y con la presión que se seleccione según el diseño de la máquina; y es que la presión de inyección está dada por la viscosidad y velocidad del material.

La cantidad de material dosificado debe ser tal que su volumen baste para llenar las cavidades del molde. La presión de sostenimiento después de la inyección permite que la parte mantenga su volumen a medida que se enfríe. El material enfría al poco tiempo dentro del molde.

Un sistema de enfriamiento por donde circula agua baja la temperatura, disipa el calor y acelera el proceso de solidificación de la parte. Durante el tiempo que dura el enfriamiento de la parte, se aprovecha para cargar una nueva dosis de material. Luego la unidad de inyección retrocede de su posición de apoyo sobre el bebedero del molde, este movimiento puede ser programado dependiendo de la aplicación.

Una vez finalizado el proceso de la solidificación, se procede a abrir el molde, por medio del mecanismo de apertura del molde, para luego extraer la parte por medio de expulsores. Ocurre cuando la platina móvil ha alcanzado la suficiente posición de apertura. Al expulsar la parte, termina el ciclo de trabajo, y se está en condiciones de repetir el ciclo.

1.3 Partes importantes de la máquina de inyección de plástico

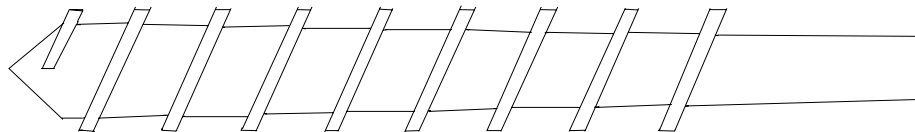
1.3.1 Cámara de plastificación

Su función es introducir en la cavidad del molde una cantidad de material previamente determinada, que corresponde al volumen de las cavidades del molde y fundida mediante el sistema de plastificación. Sus componentes más importantes son:

a. **El tornillo:** que se muestra en la figura 2, es un tornillo sinfin que tiene la profundidad variable de los filetes. Esto determina la razón de compresión del material fundido, y es la que asegura que podrá ser conducido hacia delante bajo el efecto de una presión positiva.

La primera sección del tornillo, donde los gránulos ingresan, se llama zona de alimentación (que está debajo de la tolva), la segunda zona se llama zona de compresión. Es aquí donde se lleva a cabo la transferencia de calor por acción friccional del tornillo hacia paredes del tambor, y la tercera zona, que es donde el material termina de plastificarse hasta quedar preparado para ser inyectado a las cavidades del molde.

Figura 2. Tornillo sinfín



b. **Válvula de retención:** esta válvula está generalmente en la punta del tornillo con el propósito de evitar el reflujo del material plástico durante el período de inyección, es pues, una válvula cheque.

c. **Tobera:** permite el paso del material fundido hacia la cavidad del molde, guiándolo como un camino estrangulado. Se encarga de asegurar el sello hermético entre el tambor y el molde.

Sistema de plastificación: para la plastificación se debe poner a rotar el tornillo. Éste se encarga de empujar el material hacia delante dejándolo listo para la inyección. Para la rotación de tornillo se usan dos métodos, el primero es por medio de un motor hidráulico, y el segundo por medio de un motor eléctrico con algún sistema reductor de velocidad, engranajes o fajas.

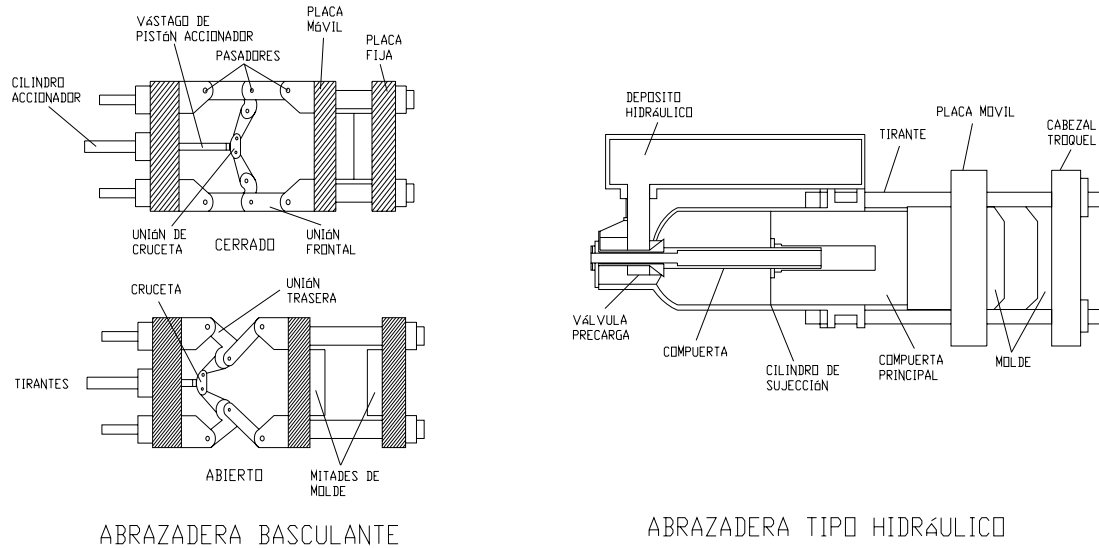
Bandas de calor: en la parte exterior del tambor, están situadas las bandas de calor o resistencias de bandas. Éstas son las encargadas de proporcionarle al tambor para que pueda realizarse la plastificación del material. Generalmente se dividen por sectores o zonas de calefacción, zona frontal, zona central, zona trasera y tobera.

1.3.2 Prensa de molde

Existen varios sistemas para la prensa de molde, estos difieren entre ellos de acuerdo a los fabricantes. La unidad de sujeción como también se le llama a la prensa de molde, tiene como función asegurar la apertura y cierre de molde. Para ello es importante conocer algunos factores que son necesarios para la obtención de buenos productos y asegurar el buen funcionamiento de la máquina de inyección.

Existen dos tipos de mecanismos de cierre para una máquina de inyección, el mecanismo cilindro hidráulico, y el mecanismo de palanca, mostrados en la figura 3.

Figura 3. Mecanismo de cierre de una MMI



El sistema de cilindro hidráulico ejecuta los movimientos de cierre y apertura del molde mediante uno o más pistones hidráulicos pequeños, y la fuerza final de cierre se obtiene mediante un cilindro de mayores dimensiones que actúa directamente sobre la platina móvil. El mecanismo de palanca es útil cuando se trata de desarrollar fuerzas de cierre a distancia fija. Este sistema es generalmente el más usado, ya que la utilización de cilindros más pequeños y por lo tanto con bajos requerimientos de caudal de aceite están acorde a las elevadas velocidades obtenidas en comparación al sistema de cilindro hidráulico, puede ser más eficiente en términos de energía, más barato y simple en su construcción.

1.3.3. Botadores

Para la extracción de los artículos plásticos existen varios sistemas, los cuales actúan cuando el molde ha abierto una distancia suficiente, para permitir el desprendimiento de la parte de la superficie del molde. Esto significa un circuito adicional, ajustado a los dispositivos del ciclo automático de la MMI, con el propósito de acelerar la producción.

En la industria se conocen tres sistemas de botadores: mecánicos, hidráulicos y neumáticos.

1.3.3.1. Mecánicos

Aprovechan la acción de la apertura del molde para expulsar la parte por medio de una placa móvil. El accionamiento de la placa puede hacerse por medio de cadenas o barras con una adecuada graduación.

1.3.3.2. Hidráulicos

Algunos moldes traen montados cilindros hidráulicos usados para separar partes de moldes de construcción compleja. Estos botadores pueden tener varias formas de accionamiento, dependiendo de la aplicación del molde. Cuando el molde está abriendo los cilindros son accionados, haciendo salir las piezas del molde; a 90 grados, 45 grados hacia arriba, abajo y laterales.

1.3.3.3. Neumáticos

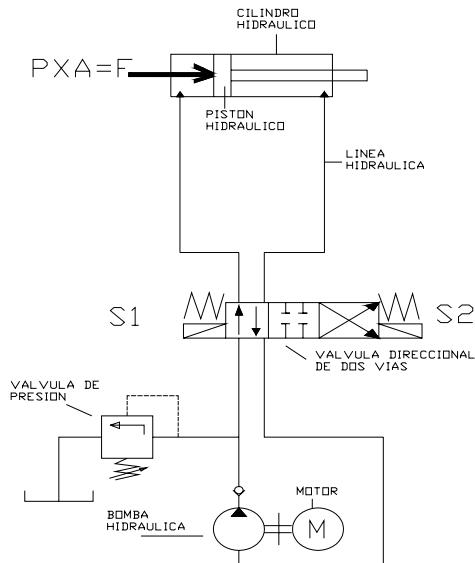
Los botadores neumáticos son usados para extracciones que requieren de poca fuerza y con diseños cilíndricos. El aire hace presión entre las paredes del molde y el producto es despegado y expulsado.

1.3.4 Sistema hidráulico

Una de las condiciones básicas del moldeo con una MMI eficiente consiste en tener un buen sistema hidráulico. Los materiales plásticos se moldean por calor y presión y la aplicación correcta de ambos es esencial para la producción eficiente.

La presión hidráulica se genera cuando un fluido encuentra una resistencia, generalmente relacionada con la carga que está moviéndose. En la figura 4, se muestra un circuito hidráulico sencillo, en el cual notamos que la presión desarrollada actúa sobre el área del pistón, cuando tiene cierta área. La siguiente fórmula relaciona la presión por el área generando una fuerza específica.

Figura 4. Circuito hidráulico



$$P_h \times A = F$$

Fórmula 1

Donde

P_h = presión hidráulica

A = área

F = fuerza

Si la presión de sostenimiento de 4.8 MPa (700 PSI), actuando en un área de 1 m^2 , nos genera una fuerza de 4.82 MN (1.08 Mlb_f).

En nuestro estudio es importante mencionar la ley de Pascal que dice: una presión actuando en un fluido determinado es transmitido igualmente y unidimensionalmente en todas las direcciones. Este principio es importante cuando se considera esta presión en algún circuito del sistema hidráulico de la MMI, que es igual para todo el sistema.

Una de las principales ventajas del uso de la hidráulica para energizar la MMI, es la eficiente transmisión de fuerzas y un único sistema hidráulico para toda la máquina, al contrario si fuera sistema eléctrico se necesitarían un motor para cada movimiento.

La velocidad de un componente hidráulico puede ser calculado con la siguiente fórmula:

$$S_v = \frac{V/t}{A} \quad \text{Fórmula 2}$$

Donde:

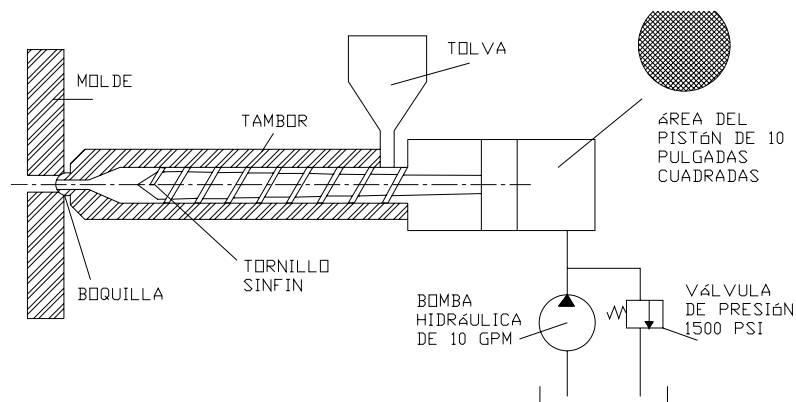
S_v = velocidad del pistón

V/t = volumen del aceite por tiempo

A = área del pistón

La figura 5 muestra un pistón de 25 centímetros cuadrados, que mueve un tornillo de inyección. Tiene una bomba de 10 GPM ($6.3 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{min}$), y una válvula de alivio de presión de 1500 PSI (10.3 Mpa), que representa el cierre completo de la MMI. La velocidad se calcula así:

Figura 5. Pistón hidráulico



$$S = \frac{10 \text{ GPM}}{25 \text{ cm}^2}$$

$$S = \frac{6.3 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{min}}{0.0025 \text{ m}^2}$$

$$S = 0.252 \text{ m/seg.}$$

La selección y mantenimiento del fluido hidráulico son de mayor importancia. Los aceites no solamente han de ser claros y poseer la debida viscosidad, sino que debe ser antioxidantes y completamente saturados. De otro modo la sedimentación y los aumentos de espesor no tardarán en hacer su aparición.

Cuando se trata de seleccionar equipo para una MMI, se necesita considerar la presión de sostenimiento, requisitos para cierre de molde así como la presión de otros accesorios.

1.3.4. Bomba hidráulica

La bomba es probablemente el componente más importante y constituye un campo muy complejo, ya que se construyen en varios modelos y tamaños, con muchos y diferentes mecanismos de bombeo a la vez que para múltiples y numerosos propósitos.

Su función es la convertir la energía mecánica suministrada por el motor de arrastre (eléctrico o de combustión interna), en energía hidráulica al empujar el fluido dentro del sistema. Una bomba tiene por objeto proporcionar un caudal líquido venciendo para ello determinadas resistencias, una evaluación de las cuales la constituye la presión que da origen. Es decir, sólo proporcionan caudal a su salida.

Para garantizar una larga vida de la bomba y demás elementos del circuito, los mandos hidráulicos consta de filtro y accesorios.

Seguidamente mostramos la tabla I advirtiendole que se trata de los modelos más significativos de las bombas hidráulicas que pueden trabajar a caudal constante o variable, para circuito cerrado o abierto. No obstante, en el mercado se puede encontrar una amplia gama de modelos, añadiendo con ello una dificultad más para una correcta elección.

Tabla I. Bombas hidráulicas

Desplazamiento	Modelos	
	paletas	
Hidrostáticas	pistones	radiales
Desplazamiento positivo		Axiales
	Engranajes	Externos

Fuente: E. Carnicer Royo. **Oleohidráulica**. Pág. 56.

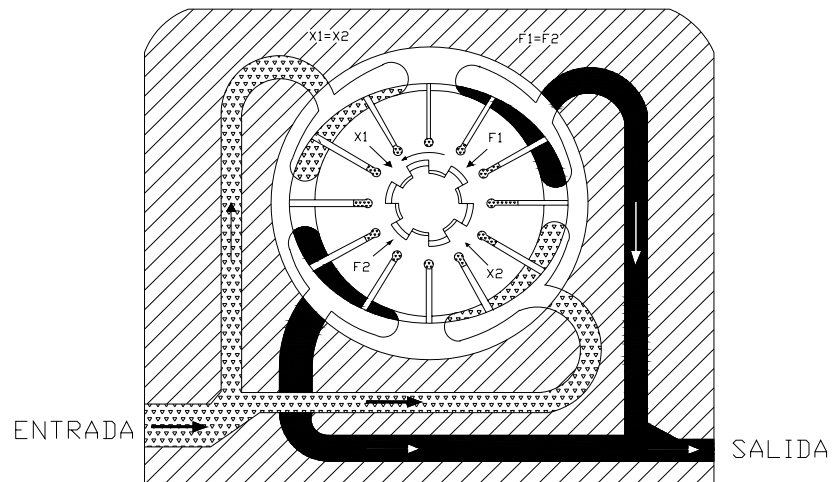
Las bombas más usadas en las inyectoras de plástico son las bombas veletas, (Vickers, Inc). En la figura 6 se muestra el rotor dirigido por un árbol con ranuras profundas, en las cuales se insertan otras veletas de acero templado. Cuando el rotor gira, la fuerza centrífuga lanza las veletas, que sigue el hueco ovalado de eje mayor horizontal.

La presión líquida posterior a las veletas les ayuda a sostenerse contra el duro aro perfilado. Tiene dos canales internos, en X1 y X2, y dos de descarga, en F1 y F2, al girar las veletas, los espacios adyacentes a los canales internos se dilatan, creando un vacío que fuerza la entrada de líquido en la bomba. Este líquido es conducido hacia espacios adyacentes al de salida donde las veletas están deprimidas por el contorno del aro, forzando el líquido a que pese

a los canales de descarga. La bomba es de autoalimentación, si bien se suele situar a corta distancia sobre el nivel del líquido del tanque.

Es esencial una buena alimentación para reducir el desgaste en los soportes y empaquetaduras, pues se producirán ruidos en caso de entrar aire en la bomba a través de las empaquetaduras.

Figura 6. Rotor dirigido por un árbol



Es conveniente instalar una válvula de seguridad para evitar la bomba actúe por encima de su valor de presión y perjudique el envolvente de equipo.

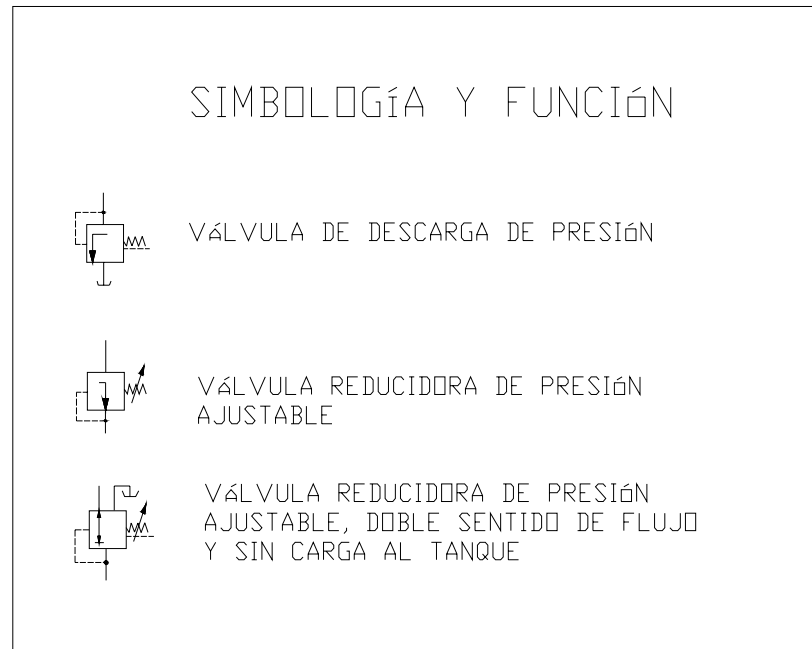
Existen otras modificaciones de ese tipo de bombas de veleta, incluyendo una construcción doble, en que una de las unidades suministra gran volumen a baja presión, para un rápido acercamiento al cerrar la prensa, mientras que la otra mitad sirve poco volumen a presión alta, para generar plena presión que requiere la operación de moldeo. La diferencia de diseño entre la bomba de gran volumen y baja presión y poco volumen, reside en el mayor espacio entre las veletas y aro en la unidad de gran volumen. Ambas

bombas están encerradas en el mismo cuerpo y tienen el mismo árbol de impulsión.

1.3.4.2. Válvulas de control de presión

Este tipo de elementos hidráulicos sirve para controlar la presión del fluido según la necesidad de los diferentes usuarios del sistema. Por lo regular se ajustan mutuamente, comprimiendo un resorte calibrado que las ajusta a la presión requerida. En la figura 7 se muestra la simbología de las válvulas de tipo limitadoras de presión que actúan por medio de un comando piloto hidráulico o eléctrico, el cual al momento de presentarse libera el aceite, y de esta manera mantienen un valor de presión predeterminado.

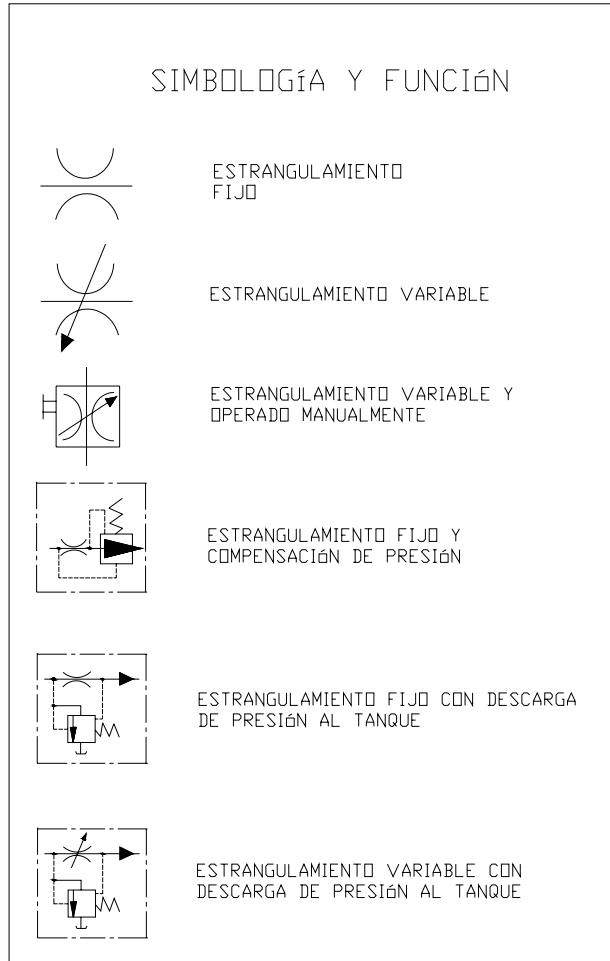
Figura 7. Simbología de válvulas de control de presión



1.3.4.3 Válvulas de control de flujo

Este elemento hidráulico es el encargado de regular la velocidad, o en una palabra, de control de flujo de aceite que necesitan los diferentes usuarios del sistema. Aunque existen válvulas de este tipo operadas manualmente, en la actualidad son más usadas las válvulas de flujo de control remoto, ya que permiten ajustes al tamaño del estrangulador, por medio de una señal eléctrica. La figura 8 presenta algunas variantes de válvulas de control de flujo.

Figura 8. Simbología de variantes de válvulas de control de flujo hidráulico

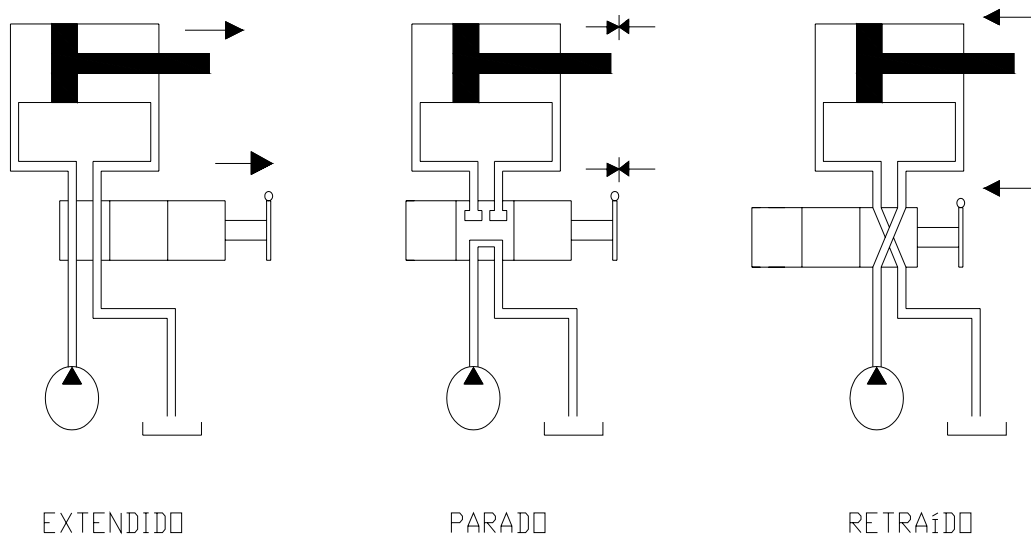


1.3.4.4 Válvulas direccionales

A la salida de los dispositivos hidráulicos de regulación se conectan los diversos órganos de mando direccional que, por lo general, son electro válvulas (de una, dos, tres, cuatro vías, etc.), que dependen básicamente, de señales eléctricas que actúan sobre bobinas y las cuales, a su vez, por medio del campo electromagnético generado, mueven un núcleo mecánicamente

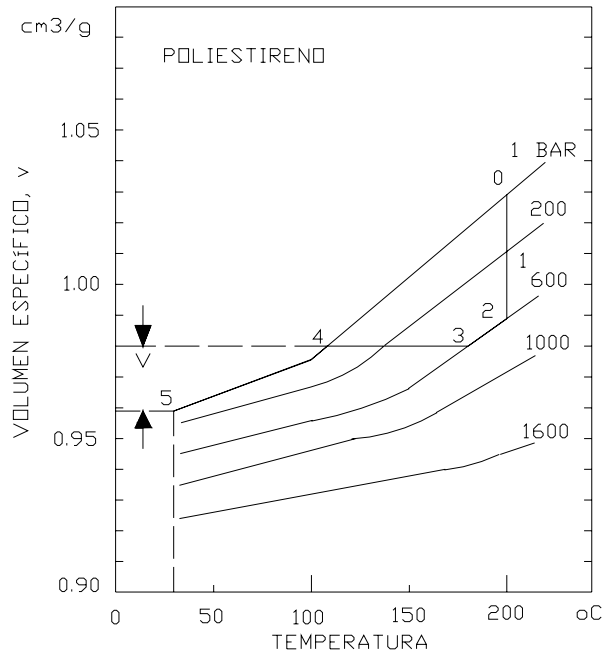
acoplado al carrete distribuidor del flujo hidráulico, el que va de esta manera directamente hacia los actuadores, cilindros o motores. Por lo general, son válvulas que operan con señal eléctrica *on-off*. En la figura 9 se muestra una válvula direccional.

Figura 9. Válvula direccional



Por ejemplo, para determinar el tonelaje de una MMI necesitamos conocer el material a trabajar, hacemos uso del diagrama PVT en la figura 10. Existen una gama de materiales polímeros en donde cada uno tendrá su propio comportamiento en el diagrama PVT.

Figura 10. Diagrama PVT para polímeros. Se muestra el trazo de un ciclo de moldeo por inyección en un diagrama PVT



El diagrama revela cuatro pasos básicos. Una inyección (0-1), en un proceso isotérmico y con alta presión mantenida (1-2), un isobárico, proceso de enfriamiento durante el sostenimiento de (2-3), un isovolumétrico, después del enfriamiento se congela al abrir la puerta con una presión atmosférica (3-4) y entonces el enfriamiento isobárico a temperatura ambiente.

El sostenimiento (2-3), es el paso de interés para determinar la máxima presión que necesita la máquina para trabajar. En la figura 6 el sostenimiento alcanza 600 bar de presión equivalente a $600 \times 10^5 \text{ N/m}^2$.

En el tiempo de sostenimiento, la prensa de molde debe soportar la presión de sostenimiento sin abrirse. Las platinas de la prensa de molde tienen

un área cuadrada de 0.25 m de lado, ($A = 0.0625 \text{ m}^2$) en la cual la presión generará una fuerza de acuerdo con la fórmula 3, así:

$$\begin{aligned} F &= P_h \times A && \text{Fórmula 3} \\ F &= 600 \times 10^5 \text{ N/m}^2 \times 0.0625 \text{ m}^2 \\ F &= 1200 \times 10^5 \text{ N} \quad (383 \text{ toneladas}) \end{aligned}$$

La MMI debe tener un tonelaje mínimo de 383 toneladas en el cierre del molde.

Para el cálculo de la bomba, supondremos un cilindro de área de 60 cm^2 y necesitamos de una velocidad del pistón de 0.1 m/seg . De tal manera que el volumen por unidad de tiempo será según la fórmula 4.

$$V/t = S_v \times A \quad \text{Fórmula 4}$$

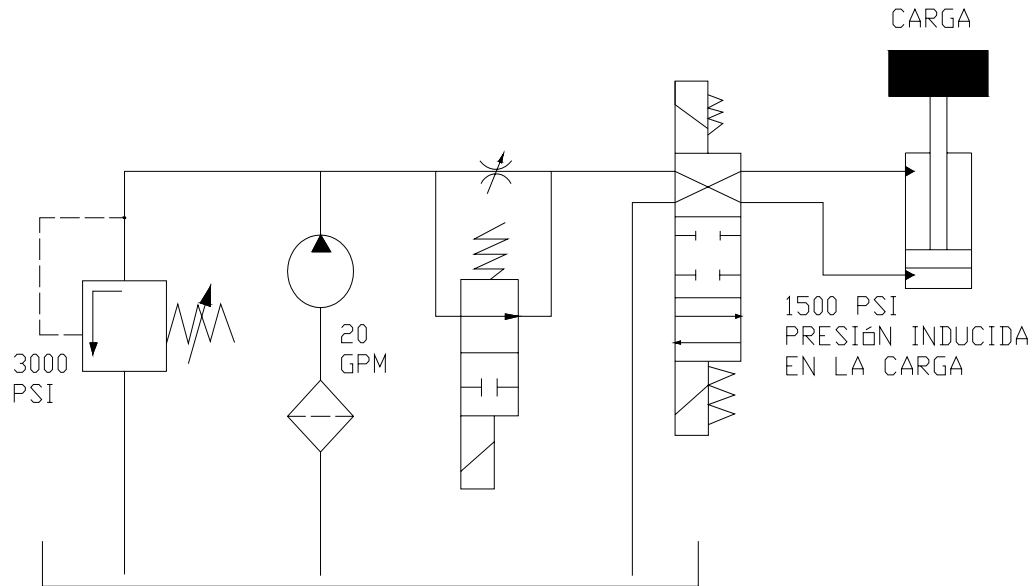
$$V/t = (0.1 \text{ m/seg}) \times (6 \times 10^{-3} \text{ m}^2)$$

$$V/t = 6 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{seg}$$

$$V/t = 0.1585 \text{ G/seg} \quad \text{ó} \quad 9.51 \text{ GPM}$$

Se efectúan más de un movimiento al mismo tiempo, sumando también las pérdidas de presión; la mayoría de las máquinas incluye un caudal piloto de 5 a 10 GMP para su efecto. Tomando en cuenta esto se usa una bomba de 20 GPM, regulados por una válvula de presión de acuerdo a la necesidad del circuito, como se ve en la figura 11.

Figura 11. Diagrama hidráulico con bomba de 20 GPM



1.3.5. Sistema de control

El tipo de sistema de control proporciona la ejecución manual, semiautomática y automática de todas las operaciones relacionadas con el moldeo por inyección. Para ello debe ser capaz de controlar las variables de molde, de inyección, tipos de botadores, temperaturas adecuadas, temperatura de aceite, conteo de producción, diferentes velocidades y presiones, protección tanto para el molde y máquina como para los operarios. Por ejemplo, para la protección de operarios, el molde nunca cerrará si la puerta de la máquina no está cerrada, o nunca inyecta si no tiene protecciones de inyección.

1.3.5.1. Modo manual

En este modo de funcionamiento, cada operario debe realizarse por separado, y es el operador quien ejecuta por medio de pulsadores, directamente en la botonera de comandos manuales. La operación dura exactamente el tiempo que el operador mantiene presionado el pulsador.

1.3.5.2. Modo semiautomático

Para este modo de funcionamiento la máquina esta en la capacidad de realizar un ciclo de inyección completo. Es decir, cierra el molde, inyecta, el producto se enfría, carga, abre el molde, expulsa y queda listo para el siguiente ciclo. Necesita un comando de arranque, que normalmente es una señal de arranque, que le da la puerta de la máquina, en la mayoría de los casos. Para empezar de nuevo un ciclo, es necesaria la intervención del operario para abrir y cerrar la puerta.

Este modo es muy conveniente en productos que debido a su forma o alguna falla en la máquina, el producto no puede desprenderse del molde, para lo cual el operario debe abrir la puerta para quitarlo manualmente.

1.3.5.3. Modo automático

La forma básica de esta función, es similar a la de modo semiautomático, con la única condición que la máquina al terminar el ciclo de inyección, no necesita que el operario realice maniobra alguna para empezar el nuevo ciclo. Este modo normalmente se usa en artículos que no tiene dificultad para

desprenderse del molde, y algunos para asegurarse de esto tienen dispuesto un dispositivo que sensa la caída del producto.

1.4 Materia prima

Aunque existe una división de materiales plásticos, sus descripciones se salen del contexto de este trabajo. Centrando nuestro estudio en los materiales más usados a nivel de empresas locales, que se muestran en la tabla 2.

Tabla II. Datos de polímeros

Material	Densidad (g/cm ²)	Temperatura de derretido °C	Temperatura de transición de cristal °C
Polietileno de baja densidad	0.910 para 0.926	105 para 115	-90 para -80
Polietileno de alta densidad	0.940 para 0.972	130 para 135	-120 para -90
Polipropileno homopolímero	0.900 para 0.910	165 para 176	-10 para 0
Poliestireno homopolímero	1.04 para 1.200	Amorfo	80 para 113
Poliestireno de alto impacto	1.000 para 1.100	Amorfo	-60 para -20
Estireno	1.07 para 1.25	Amorfo	95 para 105
Acronitril	1.04 para 1.060	Amorfo	80 para 125

Fuente: Hanser. **Injection Holding Processing Data.** Páginas 43-118.

Cada material tiene sus propiedades que difieren uno de otro como densidad, punto de derretido, temperatura de transición de cristal, también gráficas de curvas de enfriamiento, viscosidad, diagrama PVT, capacidad calorífica, conductividad, entalpía. Estas propiedades son necesarias para la elección adecuada de la MMI.

1.5 Clasificación de las MMI

Las MMI se pueden clasificar de acuerdo a dos de sus características para describirlas, tamaño de la carga de inyección y tonelaje de sujeción, de acuerdo a Richardson & Lokensgard, Industrias del plástico, página 171.

a) Tamaño de la carga de inyección, que es la cantidad máxima de material que inyecta la máquina en cada ciclo. Teniendo en cuenta las grandes variaciones de densidad de los plásticos comerciales, debe acudir a la comparación con un patrón de referencia para medir el tamaño de la carga, siendo el poliestireno el generalmente aceptado. Una máquina pequeña de laboratorio puede aceptar una carga de inyección máxima de 20 gramos. En el caso de las máquinas de gran capacidad puede alcanzar de 9,000 gramos o 9 kilogramos.

b) Tonelaje de sujeción, que es la fuerza máxima que puede aplicar una máquina a un molde. Un método para clasificar las MMI consiste en distinguir entre tamaños pequeño, medio y grande. Generalmente, las máquinas pequeñas tienen tonelajes de sujeción de 99 toneladas o menos; las de tamaño medio, entre 100 y 999 toneladas, y las grandes de 1,000 a 5,000 toneladas dentro de la normalidad, para tamaños mayores se necesita un pedido especial.

1.6 Preparación de la MMI para producir

Los plásticos orgánicos requieren en su manejo no sólo gran habilidad al escoger el equipo correspondiente, sino una comprensión por parte del individuo encargado de la producción, no solamente a los principios mecánicos de la operación, sino que ha de incluir un conocimiento a fondo de cambios, tanto químicos como físicos que tiene lugar en las materias.

Los moldes tienen características propias del tipo de material a usar, tonelaje necesario para producir, entre otras. Esto nos ayudará a escoger el tipo de maquinaria a utilizar, temperatura de derretido, abertura del molde, expulsores, enfriamiento, y nos dará el ciclo al que debe trabajar la máquina.

2. AUTÓMATAS, (CONTROL LÓGICO PROGRAMABLE)

2.1 Introducción

El autómata programable PLC, (*Programmable Logic Controller*), es un conjunto de elementos industriales que construyen un equipo electrónico a través del cual pueden controlarse a tiempo real procesos secuenciales para aplicaciones industriales de muy diversos tipos. Ha supuesto una innovación tecnológica muy importante en el campo de los automatismos eléctricos, sustituyendo a las funciones lógicas, que durante un cuarto de siglo, ha sido la base de los automatismos industriales.

Es el corazón de la actual automatización de instalaciones, ya que es el elemento al que llega y controla la información y después distribuye las señales a los actuadores para que ejecute órdenes de realización. En general están en constante evolución, ahí están los variadores de velocidad para motores de c.a., para motores c.c., arrancadores estáticos, controladores electrónicos y otros.

Este trabajo es amplio en contenidos al recoger estudios y aplicaciones de una parte muy importante de los autómatas programables AP (como también se le llama), ya que abarca desde conocimientos teóricos hasta sus aplicaciones prácticas en el campo del telemando. Sus posibilidades en cualquier entorno (industrial, comercial, domestico, etc.) y su funcionamiento, tanto a nivel de material (*hardware*) como de programación (*software*). Es necesario conocer los materiales y tecnologías que a diario se aplican, para

la realización de estudios y presupuestos que lleva a la elección aparatos eléctricos que se ajustarán a las necesidades del proceso de automatizar.

La capacidad de un PLC está directamente relacionada con la velocidad de ejecución del programa y las variables tratadas. Un PLC del mercado actual tarda unos 0,15 ms por cada Kinstrucciones, o sea que el resultado aceptable para el control de cualquier automatismo. El fin de dicha ejecución es provocar el cambio de las variables tratadas. Este cambio sobre las variables se realiza antes, durante y al final del programa.

Antes del programa se realiza la lectura de las entradas (inicio de ciclo), al final se realiza la escritura de las salidas (fin de ciclo y enlace con el inicio). Durante la ejecución del programa se realiza la lectura y/o escritura de las variables internas según el contexto programado. El programa se interrumpen por instrucciones para realizar otras tareas consideradas prioritarias, pero el aspecto más importante es la garantía de ejecución completa del programa principal.

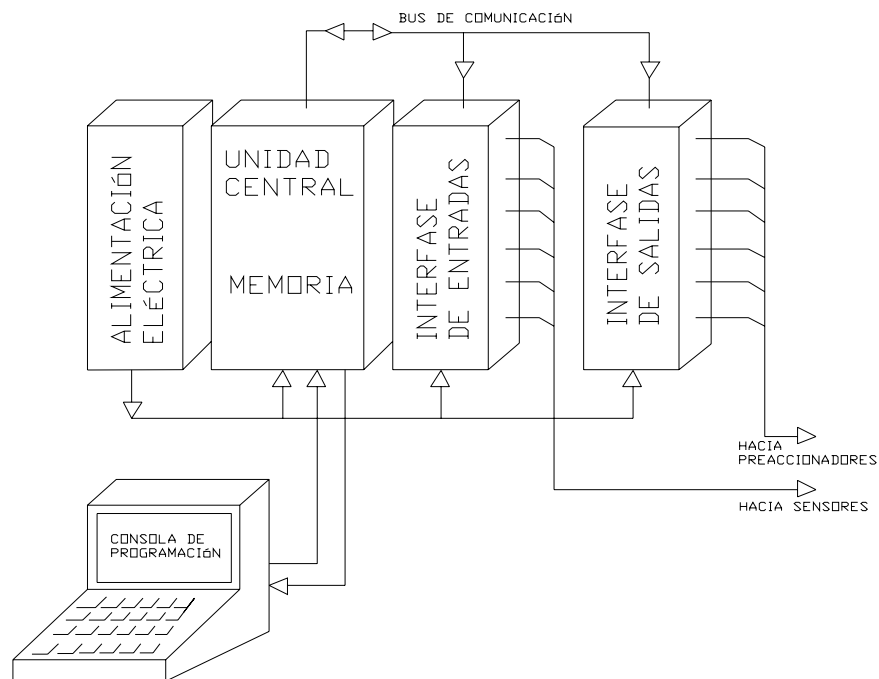
Otro punto importante es la programación del PLC. Se tiende a programar con *software* para PC actuales, se utilizan entornos gráficos intuitivos, agradables. Esto implica un conocimiento, en la mayoría de los casos de un ordenador, casi siempre portátil, con el fin de depurar el programa desarrollado en la propia instalación. Otra forma de programar es una pequeña consola, la cual nos va a permitir una mayor autonomía; el desembolso, en un principio es menos costoso que un ordenador.

El mayor problema estriba en que estas consolas, hoy día, están pensadas para programar PLC's pequeños (de hasta 48 E/S). Es evidente que en PLC's superiores una programación con estas consolas se convierte en un proceso tedioso ya que se visualizan, normalmente, una o dos líneas del programa escrito. Estas consolas sí tienen utilidad, para modificar datos, bien de autómatas pequeños como de un calibre superior.

2.2 Estructura

La estructura básica de un autómata programable es alimentación eléctrica, unidad central CPU e interfases de entradas y salidas como se puede ver en la figura 12.

Figura 12. Estructura del autómata



a) Alimentación eléctrica

Los PLC's normalmente se alimentan con voltajes de 220 y 110 VAC. Estos voltajes son transformados a niveles bajos y rectificadas para obtener 24 , 10 y 5 VDC, que son los que utiliza para alimentar el cpu, sensores, entradas locales, bobinas de relés, y módulos de ampliación. Algunos PLC's, no traen rectificación interna por lo cual necesitan de una fuente de poder externa de 24 VDC. Se debe tener información para determinar cuanta energía (o corriente) puede suministrar el modulo central a la configuración en cuestión.

Si se conecta una fuente de alimentación externa de 24 VDC en paralelo con la fuente de alimentación para sensores DC, puede causar un conflicto entre ambas fuentes ya que cada una intenta establecer su propio nivel de tensión de salida. Este conflicto puede tener como consecuencia una reducción de la vida útil o la avería inmediata de una o ambas fuentes de alimentación y, en consecuencia, el funcionamiento imprevisible del sistema de automatización.

Un funcionamiento imprevisible puede ocasionar la muerte o lesiones graves al personal, y/o daños al equipo o bienes materiales. La fuente de alimentación para sensores y la fuente de alimentación externa deben alimentar diferentes puntos. Se permite una conexión común de los cables neutros.

b) Unidad central

Es el cerebro del PLC. Consta de uno o varios microprocesadores (según fabricante) y la memoria.

El microprocesador es un circuito integrado (*chip*), que realiza una gran cantidad de operaciones, agrupadas en operaciones de tipo lógico, de tipo aritmético y control de transferencia de la información del autómata.

Se programan mediante un *software* propio. La mayoría de ellos ofrecen varias formas de programación (lenguaje contactos, lenguaje nemónico o instrucciones, lenguaje de funciones, *grafcet*, etc). Trabajan según la lógica de 0 y 1, esto es, dos estados para un mismo bit. Normalmente trabajan con bases de 16 bits, del 0 al 15 aunque los nuevos equipos trabajan con bases de 32 bits. Según los modelos de CPU ofrecen en principio más o menos capacidad de memoria, pero también va ligado esto a un aumento de la velocidad del reloj del procesador y prestaciones de cálculo o funciones matemáticas especiales.

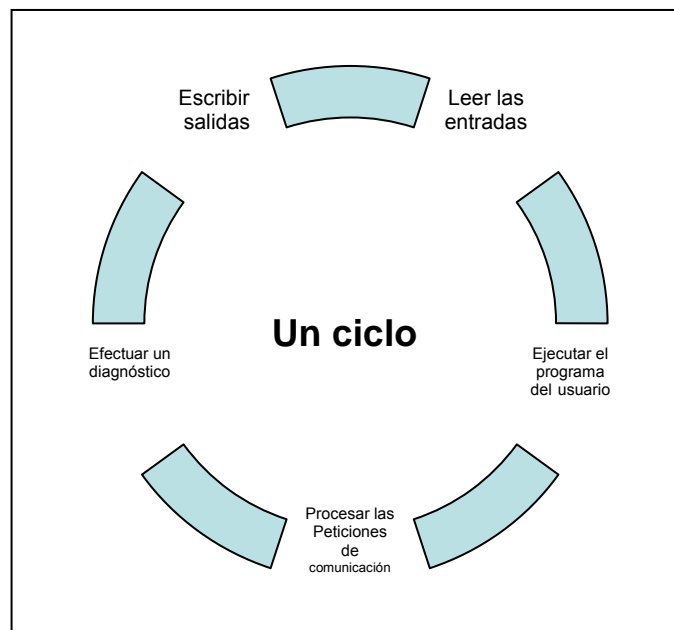
La memoria es todo dispositivo electrónico que permite almacenar información en forma de bits (1 y 0). Existen diferentes tipos de memorias: **RAM:** memoria temporal de escritura/lectura, con acceso libre y escritura/lectura eléctrica. Se borra al faltarle corriente; **ROM:** memoria de valores fijos. Sólo lectura sobre la memoria. Se introduce el programa durante el proceso de fabricación. No se puede borrar; **PROM:** Memoria programable con valores fijos y no se puede borrar. Programación eléctrica; **EPROM:** Memoria modificable con valores fijos. Se puede borrar con rayos ultravioleta; **EEPROM:** Memoria ROM que se borra y se programa eléctricamente.

Hoy en día la capacidad de cálculo de estos PLC's es grandísima, sobre todo si se trabaja con números reales o coma flotante, dando unas resoluciones mas que deseables. Trabajando con programas digitales puede alcanzarse un ciclo de scan de 10 ms y con programas analógicos puede llegarse a los 40 ms, mucho más rápido que cualquier sistema de lectura analógico o válvula de control.

El programa alojado en la CPU va escrito en un lenguaje propio de la misma, se ejecuta en una secuencia programable y tiene un principio y un final. El tiempo que transcurre entre los dos se llama ciclo de scan y hay un temporizador interno que vigila que este programa se ejecute de principio a fin, llamado perro guardián o *watchdog*. Si este temporizador finaliza y el programa no ha ejecutado la instrucción END, el PLC pasará a estado de *STOP*.

Durante el ciclo de scan que se muestra en la figura 13, la CPU ejecuta la mayoría de las tareas o todas ellas.

Figura 13. Ciclo scan del autómata programable



Lee las entradas

Ejecuta el programa del usuario

Procesa las peticiones de comunicación

Efectúa un diagnóstico

Escribe las salidas

c) Interfases entradas/salidas digitales

Se enchufan o conectan al *rack* y comunican con la CPU a través de la citada conexión. En el caso de las entradas digitales transmiten los estados 0 ó 1 del proceso (presostatos, finales carrera, detectores, conmutadores, etc) a la CPU. En el caso de las salidas, la CPU determina el estado de las mismas tras la ejecución del programa y las activa o desactiva en consecuencia.

Normalmente se utilizan tarjetas de entradas de 24 DCV y salidas de 24 DCV, aunque también las hay de 110 y 220 VAC, depende de las preferencias y normativas locales. Las hay de 8, 16 y 32 entradas o salidas o mezclas de ambas.

d) Interfases entradas/salidas analógicas

Se enchufan o conectan al *rack* de igual manera que las anteriores, pero teniendo en cuenta que en algunos modelos de PLC's han de estar situadas lo más cerca posible de la CPU. Estas tarjetas leen un valor analógico e internamente lo convierten en un valor digital para su procesamiento en la CPU. Esta conversión la realizan los convertidores analógico-digitales internos de las tarjetas que en algunos casos es uno para todos los canales de entrada o salida aunque actualmente se tiene uno por cada canal. En este último caso el procesamiento de las señales analógicas es mucho más rápido que en el otro.

Estas tarjetas son normalmente de 2, 4, 8 ó 16 entradas/salidas analógicas, llamándose a cada una de ellas canal y empezando por el 0, esto es, una tarjeta de 4 canales analógicos comenzaría por el 0 y terminaría en el 3. Los rangos de entrada están normalizados siendo de más frecuencia de 4-20

mA, sin importar la carga, ya que están a prueba de corto circuito, y 0-10 DCV, aunque también existen de 0-20 mA, 1-5V, 0-5V, etc.

Lo más importante a la hora de elegir una tarjeta analógica es que ésta disponga de separación galvánica u óptico para cada canal, es decir, que los canales sean totalmente independientes electrónicamente unos de otros dentro de la propia tarjeta para que no se afecten mutuamente por efecto de una mala tierra o derivación a la misma de uno de ellos.

e) Tarjetas especiales para expansión

Se enchufan o conectan al *rack* y comunican con la CPU a través de buses de conexión. Se utilizan normalmente para control o monitorización de variables o movimientos críticos en el tiempo, ya que usualmente realizan esta labor independientemente de la CPU. Son algunas muestras las siguientes:

Tarjetas de posicionamiento de motores

Tarjetas de regulación, y otros.

2.3 Comunicación

La interfaz de comunicación se encarga de la transferencia de información entre hombre máquina, entre ésta y es resto de elementos en gestión a través de puertos y buses, constituyendo así algún tipo de red.

Hay varios tipos de redes con las cuales se pueden conectar los PLC's:

a) Redes locales (LAN), son aquellas que conectan una red de ordenadores normalmente confinadas en un área geográfica, como un solo edificio o un campus de la universidad. El desarrollo de varias normas de protocolos de red y medios físicos han hecho posible la proliferación de LAN's en grandes organizaciones multinacionales, aplicaciones industriales y educativas.

b) Redes de área extensa (WAN), a menudo una red se localiza en situaciones físicas múltiples. Esto se realiza conectando las diferentes LAN's mediante servicios que incluyen líneas telefónicas alquiladas (punto a punto), líneas de teléfono normales con protocolos síncronos y asíncronos, enlaces vía satélite, y servicios portadores de paquetes de datos.

c) Los sitios *World Wide Web* (WWW) de Internet proporcionan ahora recursos personales, educativos, políticos y económicos a cada esquina del planeta.

d) Una Intranet es una red privada que utiliza herramientas del tipo de Internet, pero disponible sólo dentro de esa organización. Permite un modo de acceso fácil a información corporativa para los empleados a través del mismo tipo de herramientas que emplean para moverse fuera de la compañía.

e) Ethernet es la capa física más popular; la tecnología LAN usada actualmente. Ethernet es popular porque permite un buen equilibrio entre velocidad, costo y facilidad de instalación. Estos puntos fuertes, combinados con la amplia aceptación en el mercado y la habilidad de soportar virtualmente todos los protocolos de red populares, hacen a Ethernet la tecnología ideal para la red de la mayoría los usuarios de la informática actual.

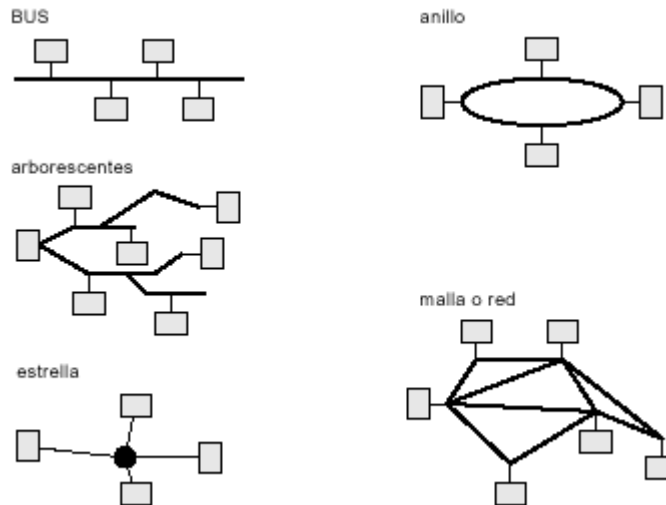
La norma de Ethernet fue definida por el Instituto para los Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE) como IEEE Standard 802.3. Adhiriéndose a la norma de IEEE, los equipos y protocolos de red pueden interoperar eficazmente.

Para redes Ethernet que necesitan mayores velocidades, se estableció la norma Fast Ethernet (IEEE 802.3u). Esta norma elevó los límites de 10 Megabits por segundo (Mbps.) de Ethernet a 100 Mbps. con cambios mínimos a la estructura del cableado existente.

Se diseñan redes Ethernet típicamente en dos configuraciones generales o topologías: bus y estrella. Estas dos topologías definen cómo se conectan entre sí los nodos. Un nodo es un dispositivo activo conectado a la red, como un ordenador o una impresora. Un nodo también puede ser dispositivo o equipo de la red como un concentrador o conmutador.

Una topología de bus consiste en que los nodos se unen en serie con cada nodo conectado a un cable largo o bus. Muchos nodos pueden conectarse en el bus y pueden empezar la comunicación con el resto de los nodos en ese segmento del cable. Una rotura en cualquier parte del cable causará, normalmente, que el segmento entero pase a ser inoperable hasta que la rotura sea reparada.

Figura 14. Topología de redes



Fuente: Internet. avalleandres@usuarios.retecal.es 15/03/2002

Los repetidores se emplean para conectar dos o más segmentos Ethernet de cualquier tipo de medio físico. Según los segmentos exceden el máximo número de nodos o la longitud máxima, la calidad de las señales empieza a deteriorarse. Los repetidores proporcionan la amplificación y resincronización de las señales necesarias para conectar los segmentos. Al partir un segmento en dos o más subsegmentos, permitimos a la red continuar creciendo.

Una conexión de repetidor cuenta en el límite del número total de nodos de cada segmento. Por ejemplo, un segmento de cable coaxial fino puede tener 185 metros de longitud y hasta 29 nodos o estaciones y un repetidor, ya que el número total de nodos es de 30 por segmento. Un segmento de cable coaxial

grueso puede tener 500 metros, 98 nodos y 2 repetidores (para un total de 100 nodos por segmento).

Los protocolos de red son normas que permiten a los ordenadores comunicarse. Un protocolo define la forma en que los ordenadores deben identificarse entre si en una red, la forma en que los datos deben transitar por la red, y cómo esta información debe procesarse una vez que alcanza su destino final. Los protocolos también definen procedimientos para gestionar transmisiones o paquetes perdidos o dañados.

Aunque cada protocolo de la red es diferente, todos pueden compartir el mismo cableado físico. Este concepto es conocido como independencia de protocolos, lo que significa que dispositivos que son compatibles en las capas de los niveles físicos y de datos permiten al usuario ejecutar muchos protocolos diferentes sobre el mismo medio físico, con la condición que usen la misma velocidad de transferencia.

Dependiendo de la capacidad del microprocesador del autómata utilizado, la red puede asistir uno o varios de los siguientes protocolos de comunicación: interfase punto a punto (PPI), es un protocolo maestro/esclavo. Los maestros (otros autómatas, unidades de programación o visualizadores de texto), envían peticiones a los esclavos y éstos últimos responden. Los esclavos no inician mensajes, sino que esperan a que un maestro les envíe una petición o solicite respuesta.

El protocolo PPI no limita la cantidad de maestros que pueden comunicarse con un autómata cualquiera que actúe como esclavo. Puede ser un protocolo maestro/maestro, o bien maestro/esclavo, dependiendo del equipo utilizado algunos autómatas siempre serán maestros, y otros serán siempre esclavos debido a su capacidad. Un enlace (conexión privada) entre dos

dispositivos, no puede ser interferida por otro maestro. Un maestro puede establecer un enlace por tiempo definido o indefinido.

Protocolo PROFIBUS (*Process Field Bus*, por sus siglas en inglés), se ha diseñado para una comunicación rápida con unidades periféricas descentralizadas. Hay varios dispositivos PROFIBUS ofrecidos por diversos fabricantes, que abarcan desde los módulos sencillos de entradas y salidas hasta controladores de motores y sistemas de automatización.

Las redes PROFIBUS incorporan un maestro y varios esclavos. Los maestros inicializan la red, reconocen los tipos de esclavos que están conectados, sus direcciones y verifica sus configuraciones. Una vez un maestro haya configurado correctamente a un esclavo, este último le pertenecerá. Si hay otro maestro en la red tendrá apenas un acceso limitado a los esclavos del primer maestro.

Los protocolos PPI, MPI, y PROFIBUS, se implementan en una red *token ring* (red de anillo con testigo), conforme al estándar PROFIBUS, descrita en la norma europea EN 50170. Se trata de protocolos asíncronos de carácter que utilizan un bit de inicio, ocho bits de datos, un bit de paridad y un bit de parada. Los bloques de comunicación dependen de los caracteres especiales de inicio y de parada de las direcciones de estación de fuente y de destino de longitud de dichos bloques y de la suma de verificación para garantizar la integridad de los datos.

La familia PROFIBUS está compuesta de tres versiones compatibles: PROFIBUS-DP, alta velocidad, bajo costo, diseñado para la comunicación entre sistemas de control y entradas/salidas distribuidas a nivel de dispositivos. PROFIBUS-PA, conecta sensores y actuadores con un bus común, aun con seguridad intrínseca, permite datos y energía utilizando 2 cables según norma

IEC1158-2. PROFIBUS-FMS, comunicaciones de alto nivel para propósitos generales.

Con tanta información pendiente de ser recogida, es evidente que se desee recoger tanta y tan rápida como sea posible. Aunque hay una amplia variedad de interfaces de comunicación, nos centraremos a la norma RS-485. Diseñada para permitir múltiples dispositivos unidos (hasta 32 dispositivos en un segmento e red, y hasta 127 con repetidores), por una red multidrop de dispositivos serie RS-485, con la ventaja de soportar una mayor distancia (1200 metros de longitud máxima y con repetidores hasta 9600 metros), y velocidad de transmisión desde Kbit/seg hasta 12 Mbit/seg. Esto mejora lo ofrecido por las normas RS-232/RS-423 y RS-422.

El rendimiento del PLC global depende de numerosas variables complejas, no obstante dos factores básicos la determinan, la velocidad de transferencia y el número de estaciones conectadas a la red.

2.4. Software industrial

El *software* corresponde al programa específico de una determinada instalación. La programación se realiza con lenguajes enfocados a la industria (como es la electricidad, electrónica, neumática, hidráulica, etc.), y basados en los mismos principios que los esquemas que se realizan con relés, lógica cableada o paso a paso.

En el programa se designan mediante direcciones los registros, los contadores, los temporizadores, entradas y salidas. En los PLC's pequeños estas direcciones comúnmente están asignadas por el fabricante, pero en los mayores, pueden ser definidas por el programador, con mayor aprovechamiento de la memoria. Un PLC debe ser capaz de iniciar su programa siempre que exista una falla de energía, por lo que todas las eventualidades deben ser programadas en él.

Los PLC's trabajan únicamente con dos estados lógicos, ALTO y BAJO, ON y OFF, 1 y 0, etc., lo cual no es práctico desde el punto de vista de enlace hombre-máquina, por lo que se requiere de lenguajes de programación que traduzcan las ideas humanas a estados lógicos.

Debido a la complejidad en la programación de los autómatas programables requiere la estandarización de la misma. Bajo la dirección del IEC el estándar IEC 1131-3 (IEC 65) para la programación de PLC's alcanzó el estado de Estándar Internacional en agosto de 1992. Los lenguajes gráficos y textuales definidos son una fuerte base para entornos de programación potentes en PLC's. Con la idea de hacer el estándar adecuado para mayores aplicaciones, cinco lenguajes han sido definidos en total:

- a. Gráfico secuencial de funciones (*grafcet*).
- b. Lista de instrucciones (LDI o AWL).
- c. Texto estructurado.
- d. Diagrama de contactos (KOP)
- e. Diagrama de flujo.

2.4.1 Gráfico secuencial de funciones (*grafcet*)

El gráfico secuencial de funciones (SFC o *grafcet*) es un lenguaje gráfico para describir ciclos automáticos mediante símbolos. Desarrolla los automatismos de una forma simple y de fácil comprensión para el que analiza esta representación gráfica. Soporta selecciones alternativas y secundarias paralelas. Los elementos básicos son etapas y transiciones. Una etapa puede ser inactiva o activa.

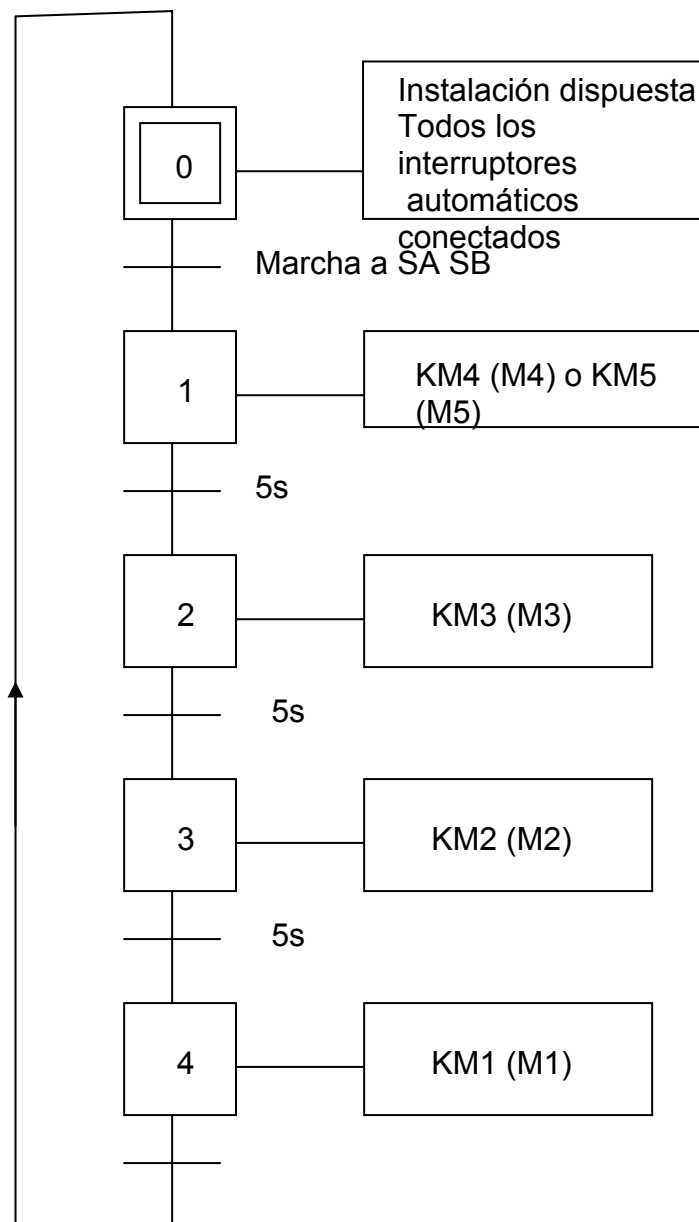
En todo el *grafcet* solo una etapa puede ser activa en un momento dado. Para que una etapa sea activa ha tenido que preceder una transición en la que se han producido unas acciones. El franqueamiento de una transición provoca el paso de una etapa a otra dentro del ciclo de mando. Una transición es válida cuando ya han sido activas las transiciones anteriores.

El SFC es la forma lógica de especificar y programar el más alto nivel de un programa para PLC.

Este lenguaje fue inventado por ingenieros de la marca francesa Telemecanique, y posteriormente se hizo lenguaje estándar IEC, y son ahora muchos los fabricantes que tienen su propia versión.

Este lenguaje es muy apropiado para el manejo de posicionadores, alimentadores, y todo aparato cuyos movimientos mecánicos sean repetitivos. En la figura 15, se muestra un ejemplo del gráfico secuencial de funciones de cuatro motores con encendido retardado entre cada uno de 5 segundos.

Figura 15. Gráfico secuencial de funciones



2.4.2. Lista de instrucciones

La lista de instrucciones (IL o AWL) es un lenguaje de bajo nivel, en el que cada línea del programa contiene una operación que utiliza una abreviatura nemotécnica para representar una función de la CPU, (ejemplo, almacenar un valor en un registro). Las operaciones se unen y combinan en un programa, creando así la lógica de control de la aplicación.

Las operaciones AWL hacen uso de una pila lógica en la CPU para resolver la lógica. Leen sólo los valores de la pila lógica, muchas otras modifican también los valores ahí almacenados.

Este lenguaje es adecuado para pequeñas aplicaciones y para optimizar partes de una aplicación. Es el preferido por los ingenieros europeos. Son los más matemáticos de los lenguajes, al requerirse manejo de tablas de verdad y simplificación de funciones lógicas booleanas para su empleo.

Figura 16. Elementos básicos del programa AWL

```
//Programa para tren transportador
NETWORK          //Marcha del motor:
LD  "Marcha1"    //Si I0.0 está activada (on)
AN  "Paro_Em1"  //e I0.1 no está activada ,
=   Q0.0        //poner en marcha el motor del transportador

NETWORK          //Paro de emergencia transportador
LD  I0.1        //si Paro_Em1 está activada
O   I0.3        //o si Paro_Em2 está activada,
R   Q0.0, 1     //parar el motor del transportador.

NETWORK          //Fin del programa
MEND
```

2.4.3. Texto estructurado

El texto estructurado (*structured text* o ST, por sus siglas en inglés) es un lenguaje de alto nivel estructurado por bloques que posee una sintaxis parecida al PASCAL. El ST puede ser empleado para realizar rápidamente sentencias complejas que manejen variables con un amplio rango de diferentes tipos de datos, incluyendo valores analógicos y digitales. También se especifica tipos de datos para el manejo de horas, fechas y temporizaciones, algo importante en procesos industriales. El lenguaje posee soporte para bucles iterantes como *repeat until*, ejecuciones condicionales empleando sentencias *if-then-else* y funciones como SQRT() y SIN().

Comprende tres partes básicas: el programa principal, que es la parte del programa que dispone las operaciones que controlan la aplicación, en forma secuencial en cada ciclo de la CPU; las subrutinas, estos elementos opcionales del programa se ejecutan sólo cuando se llaman desde el programa principal; y las rutinas de interrupción, son elementos opcionales del programa se ejecutan cada vez que presente el correspondiente evento de interrupción. En la figura 17, se muestra un programa a base de texto estructurado.

Figura 17. Ejemplo de un programa a base de programación de texto estructurado

```
*****  
                          Relay Borrada Demo - for BL1100  
*****  
  
#define ON 1  
#define OFF 0  
  
main ()
```

```

int board,relay,found,list[64];
Reset_PBus();           //always do this, first thing
Stall(3000);           //pause ~1sec for reset
                       //Locate relay boards. Build list
                       //and print board IDs

found=0;
printf("\nLogical relay addresses found: ");
for(board=0; board<64;board++){
    if(Poll_PBus_Node(Relay_Board_Addr(board)) ){
        list [found++] = board;
        if( found%10 == 0) printf ("\n");
    }
}
// Activate relays on each board
// found

while( 1 ) {           // loop forever
    for( board=0; board<found; board++){
        for(relay=0; relay<8; relay++ ) {
            Set_PBus_Relay(list[board],relay,ON);
            Stall(1000);
            Set_PBus_Relay(list[board],relay,OFF);
        }
        for(relay=0; relay<8; relay++ ) {
            Set_PBus_relay(list[board],relay,ON);           //all
        }
        Stall(2000);
        for( relay=0; relay<8; relay++ ) {
            Set_PBus_Relay(list[board],relay,OFF);//all
        }
    }
}
}

```

Fuente: ZWord. **User's Manual**. Pág. 3-8.

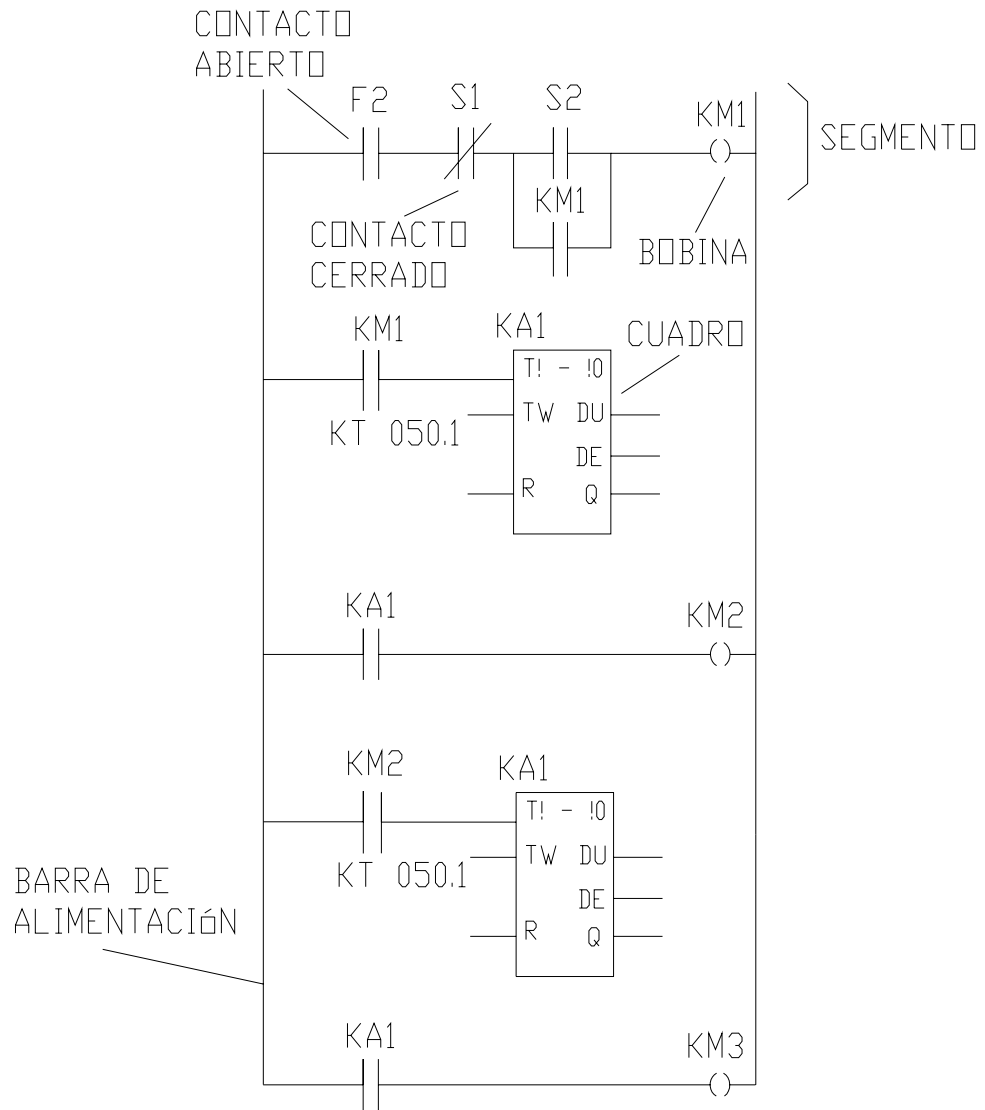
2.4.4. Diagrama de contactos

El diagrama de contactos (*Ladder Diagram* LD, por sus siglas en inglés) es un lenguaje que utiliza un juego estandarizado de símbolos de programación. En el estándar IEC los símbolos han sido racionalizados (se ha reducido su número). Es el más conocido en el área de influencia norteamericana, ya que invariablemente todos los PLC de fabricación americana o japonesa permiten su programación en este lenguaje; ya sea para emplear los mismos diagramas de control alambrado existentes en las máquinas que se reconvierten o, ya sea para capacitar fácilmente al personal de mantenimiento en el manejo y arreglo de estos aparatos.

Los elementos principales representados en la figura 18, son contactos, bobinas, cuadros y segmentos. Un contacto representa un interruptor por el que circula corriente cuando está cerrado, pueden ser entradas digitales, salidas digitales y marcas, también llamadas banderas o memorias internas. La bobina representa un relé que se excita cuando se le aplica tensión. Es el resultado de la operación y enciende cuando las condiciones precedentes se cumplen, o en términos eléctricos, existe un camino de contactos en serie cerrados. Existen dos tipos de bobinas, retentiva y no retentiva.

Un cuadro representa una función que se ejecuta cuando la corriente circula por él. Pueden ser temporizadores, contadores. Y los segmentos son electos que constituyen un circuito completo. La corriente circula desde la barra de alimentación izquierda pasando por los contactos cerrados para excitar las bobinas o cuadros.

Figura 18. Elementos básicos de programación con diagrama de contactos

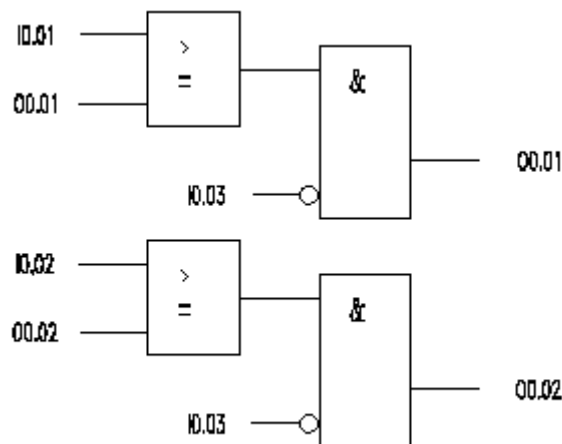


2.4.5. Diagrama de funciones

El diagrama de funciones (*Function Block Diagram* o FBD, por sus siglas en inglés) es un lenguaje gráfico que permite programar elementos que aparecen como bloques para ser cableados entre si de forma análoga al esquema de un circuito. FBD es adecuado para muchas aplicaciones que involucren el flujo de información o datos entre componentes de control. Es el tipo más poderoso de los lenguajes de programación en cualquier marca de aparato, ya que es lo más cercano al lenguaje máquina y, puede hacer uso de particularidades de los mismos microprocesadores, y con ello hacer más rápido un programa o, más compacto.

Los bloques de funciones (FB's) son bloques estándar que ejecutan algoritmos. Utiliza operadores lógicos para la realización del programa: AND, OR, NOT y las instrucciones de salida de codificación nemónica.

Figura 19. Elementos básicos de diagrama de funciones



Fuente: **Intenet.**

2.5 *Hardware industrial*

Existen PLC's compactos y modulares.

Los autómatas compactos se distinguen por presentar en un solo bloque todos sus elementos: fuente de alimentación, CPU, memorias, entradas/salidas, etc.

Son autómatas de gama baja o nanoautómatas. Su potencia de proceso suele ser muy limitada, dedicándose a controlar máquinas muy pequeñas o cuadros de mando. Nos van a permitir programar hasta 48 E/S. Son potentes a nivel de programación y comunicación con equipos externos, sobre todo terminales de diálogo. Están pensados para aplicaciones pequeñas pero no olvidemos que disponen desde cálculos matemáticos básicos, hasta calendario real con la posibilidad de activar variables en función del tiempo, o sea durante un determinado espacio de tiempo, desde segundos hasta años.

Además de la memoria de trabajo, RAM, disponen de otra memoria EEPROM o FLASHRAM la cual permite asegurar la salvaguarda del programa por tiempo ilimitado. Para la alimentación de sus entradas, ofrecen una tensión de 24 Vcc y unos 250 mA, para mayores consumos (detectores y fotocélulas principalmente) se implementa una fuente externa de mayor calibre. Casi todos disponen de la posibilidad de utilizar algunas de sus entradas como entradas rápidas y detectar impulsos desde 100us; o bien de utilizarlas como contadores rápidos hasta 10 kHz.

Tienen también salidas especiales para generar impulsos para control de motores paso a paso o equipos que requieran impulsos alta frecuencia.

Existen en el mercado nanoautomatas que disponen de un diálogo automático, entre ellos; es digno de reseñar las características de esta comunicación Inter automatas integrada en el propio equipo; se conectan varios equipos con sólo 2 hilos y hasta 200 metros, ideal para intercambio de información en instalaciones o líneas más o menos lejanas entre ellas. La programación se realiza con software de programación o con consolas de programación.

La característica principal de los automatas modulares es que existe un módulo para cada uno de los diferentes elementos que lo componen, como puede ser una fuente de alimentación, CPU, E/S, tarjetas de expansión, etc. La sujeción de los mismos se hace por carril DIN, placa perforada o sobre el *rack*, en donde va alojado el bus externo de unión de los distintos módulos que lo componen.

Son los automatas de gama alta los que suelen tener una estructura modular que permita una flexibilidad en su constitución.

A continuación enlistamos las características principales de un automata:

Memoria de 1K, unas 1000 instrucciones

Reloj calendario

32 Temporizadores, 16 Des/Contadores, registros LIFO/FIFO, programadores cíclicos

Control analógico externo

Programación: lista de instrucciones, contactos, *Grafcet*

Protección del programa (sin posibilidad de acceso)

Conversión BCD a binario (reversible)

Salto de programa condicionados

Además de operaciones matemáticas básicas, raíz cuadrada y exponente

Entrada RUN/STOP, salida de seguridad o defecto

Posibilidad de entrada o salida analógica

Variables numéricas de 16 bits, constantes

Información de sistema (bits y palabras sistema)

La principal característica es el precio, cada vez más bajo

2.6. Medición de parámetros físicos

En la actualidad, para medir cualquier variable física tenemos diversos tipos de sensores, con sus ventajas y desventajas. Éstos son tan diversos como los principios físicos en los que se basan. Los más comunes y conocidos son los de proximidad física y, con ellos comenzamos.

En ciertas aplicaciones peligrosas, los microinterruptores que eran a prueba de explosión han sido reemplazados con gran éxito con los sensores electrónicos de seguridad intrínseca. Ya que por potencia disipada o por la corriente eléctrica que emplea, no pueden iniciar un incendio.

Estos sensores pueden estar basados en algo simple como en la operación mecánica de un actuador o, tan complejo como en la operación de un sensor de proximidad fotoeléctrico con discriminación de color.

2.6.1 Microinterruptores

Los microinterruptores son de muy diversas formas, pero todos se basan en la operación por medio de un actuador mecánico. Éste actuador mecánico mueve a su vez una lengüeta metálica en donde están colocados los contactos eléctricos, y los abre o cierra de acuerdo con la disposición física de estos contactos. Desde el punto de vista eléctrico, son extremadamente simples, ya que consisten en uno o varios juegos de contactos con cierta capacidad de conducción a cierto voltaje. Estos contactos pueden ser de apertura instantánea o lenta, y de contactos de operación traslapada o de abre y cierra.

2.6.2 Sensores inductivos

Tanto estos sensores como los de efecto capacitivo y ultrasónico presentan la ventaja de conmutación sin desgaste y de gran longevidad, libre de rebotes y sin errores de impulsos, libres de mantenimiento, de precisión electrónica y soporta ambientes hostiles.

Los sensores inductivos consisten en una bobina cuya frecuencia de oscilación cambia al ser aproximado un objeto metálico a su superficie axial. Esta frecuencia es empleada en un circuito electrónico para conectar o desconectar un tiristor y con ello, lo que esté conectado al mismo, de forma digital (*on-off*) o, analógicamente.

Si el objeto metálico se aparta de la bobina, la oscilación vuelve a empezar y el mecanismo recupera su estado original. Estos sensores pueden ser de construcción metálica para su mayor protección o, de caja de plástico. Y pueden tener formas anular, de tornillo, cuadrada, tamaño interruptor de límite, etc.

Además, por su funcionamiento pueden ser del tipo empotrable al ras en acero o, del tipo no empotrable. Los del tipo no empotrable se caracterizan por su mayor alcance de detección, de aproximadamente el doble. La técnica actual permite tener un alcance de hasta unos 100 mm en acero. El alcance real debe tomarse en cuenta, cuando se emplea el mismo sensor en otros materiales. Ejemplo: para el acero inoxidable debe considerarse un 80% de factor de corrección, para el aluminio un 30 % y para el cobre un 25%.

Ciertas marcas fabrican estos sensores en dos partes, una parte es el sensor propiamente dicho y el otro es el amplificador de la señal de frecuencia mencionada arriba, con el fin de usarlos en zonas peligrosas. A estos sensores se les conoce como de seguridad intrínseca. Eléctricamente se especifican por el voltaje al que trabajan (20-40 V C.D., 90-130 V C.A., etc.) y por el tipo de circuito en el que trabajan (dos hilos, PNP, NPN, 4 hilos, etc.). Generalmente, los tipos en corriente directa son más rápidos que los de corriente alterna.

2.6.3. Sensores capacitivos

Existen muchas aplicaciones que requieren el sensor a distancia materiales no metálicos y, para ello se emplea este tipo de sensor que usa el efecto capacitivo a tierra de los objetos a sensor. Ejemplos: presencia de agua en un tubo o el cereal dentro de una caja de cartón. El elemento funcional primario del sensor capacitivo de proximidad es un oscilador de alta frecuencia con un electrodo flotante en el circuito de base de un transistor. En el estado de inactividad hay un campo ruidoso en la región de base, que representa el área activa del sensor de proximidad.

Cuando un objeto aparece dentro del área activa, empiezan las oscilaciones. La etapa de conmutación rectifica las oscilaciones de alta frecuencia y la señal continua resultante se aplica a la etapa de salida. La etapa de conmutación incluye un sistema de señal de retroalimentación, el nivel del cual puede ajustarse en algunos modelos, a través de un potenciómetro; esto capacita el sensor de proximidad de variar su sensibilidad de respuesta. Principalmente se emplean para líquidos y sólidos no metálicos y, externamente son muy parecidos a los sensores inductivos.

Tanto los sensores inductivos como los capacitivos tienen una distancia máxima de accionamiento, que depende en gran medida del área de la cabeza sensora (bobina o electrodo), por ello a mayor diámetro, mayor distancia máxima. Además, la distancia desensado siempre se especifica para agua en estado líquido pero, para otros materiales es diferente. Para el vidrio se tiene que considerar un factor de corrección del 65%, mientras que para el agua congelada del 30%. Además de los voltajes y circuitos mencionados en los inductivos, existe también en los sensores capacitivos un tipo con salida analógica (4-20 mA).

2.6.4. Sensores de reluctancia variable

Existen ciertos casos donde las condiciones físicas de operación requieren un sensor a prueba de casi todo. La solución acostumbrada son los sensores de reluctancia variable funcionan de la siguiente manera: el campo de un imán permanente es deformado al paso de un objeto de alta reluctancia, como los dientes de un engrane metálico; este cambio en el campo induce un voltaje en una bobina colocada rodeando al imán.

La magnitud de este voltaje depende de la velocidad con la que el diente en nuestro ejemplo pasa frente al campo magnético y, cuando es suficientemente grande (4500 mm/seg), puede ser empleado en contadores o indicadores de velocidad directamente. En nuestro medio usualmente se conocen estos sensores como de *Pick Up* magnético. Y, tienen forma de cilindro metálico, a manera de un tornillo.

2.6.5. Sensores fotoeléctricos

Estos sensores son muy usados en algunas industrias para contar piezas, detectar colores, etc., ya que reemplazan una palanca mecánica por un rayo de luz que puede ser usado en distancias de menos de 20 mm hasta de varias centenas de metros, de acuerdo con los lentes ópticos empleados. Funcionan con una fuente de luz que va desde el tipo incandescente de los controles de elevadores a la de estado sólido modulada (LED) de los detectores de colores. Y operan al detectar un cambio en la luz recibida por el foto detector.

Los fotodetectores son típicamente fotodiodos o fototransistores, inclinándose los fabricantes por los primeros por su insensibilidad a campos de radiofrecuencia, que podrían causar interferencia. Algunos modelos de estos sensores son fabricados con inmunidad a la luz solar incidente o reflejada. Para ello emplean haces de luz modulada que únicamente pueden ser detectados por receptores sintonizados a la frecuencia de modulación. Los diferentes tipos de sensores se agrupan por el tipo de detección:

- **Sensores de transmisión directa.** Cuando existe un receptor y un emisor apuntados uno al otro. Tiene este método el más alto rango de detección (hasta unos 60 m).
- **Sensores *reflex*.** Cuando la luz es reflejada por un reflector especial cuya particularidad es que devuelve la luz en el mismo ángulo que la recibe (9 m de alcance).
- **Sensores *reflex polarizados*.** Son prácticamente iguales a los del tipo anterior, excepto que, el emisor tiene un lente que polariza la luz en un sentido y el receptor otro que la recibe mediante un lente con polarización a 90 ° del primero. Con esto, el control no responde a objetos muy brillosos que pueden reflejar la señal emitida (5m de alcance).
- **Sensores de foco fijo.** Cuando la luz es reflejada difusamente por el objeto y es detectado por el hecho de que el transmisor y el receptor están estereoscópicamente acoplados, evitando con ello interferencia del fondo (3.5 m de alcance).
- **Sensores de detección difusa.** Iguales a los anteriores pero los lentes son divergentes, y se usan para detectar objetos muy próximos (1.5 m de alcance).
- **Sensores de fibra óptica.** En este tipo, el emisor y receptor están interconstruidos en una caja que puede estar a varios metros del objeto a sensar. Para la detección emplean los cables de fibra óptica por donde circulan los haces de luz emitido y recibido. La mayor ventaja de estos sensores es el pequeño volumen o espacio ocupado en el área de detección.

2.6.6. Neumáticos de proximidad

Algunas veces por su simpleza olvidamos que existen sensores que detectan la presencia o la falta de una presión neumática, y que se han usado por años en las industrias papeleras para controlar que el enrollado del papel sea parejo. Estos sensores son extremadamente confiables y requieren muy poco mantenimiento.

2.6.7. Sensores ultrasónicos

Son empleados en las industrias químicas como sensores de nivel por su mayor exactitud en presencia de burbujas en los reactores. Funcionan al igual que el sistema de sonar usado por los submarinos. Emiten un pulso ultrasónico contra el objeto a sensar y, al detectar el pulso reflejado, se para un contador de tiempo que inició su conteo al emitir el pulso. Este tiempo es referido a distancia y de acuerdo con los parámetros elegidos de respuesta (*set point*) con ello manda una señal eléctrica digital o analógica. La técnica actual permite la fabricación de estos sensores con un rango de detección desde 100 mm hasta unos 6000 mm con una exactitud de 0.05%.

Estos sensores son empleados con gran éxito sobre otros tipos de sensores para detectar objetos a cierta distancia que son transparentes o extremadamente brillosos y no metálicos.

Los detectores de ultrasonidos resuelven los problemas de detección de objetos de prácticamente cualquier material. Trabajan en ambientes secos y pulverulentos. Normalmente se usan para control de presencia/ausencia, distancia o rastreo.

2.6.8. Sensores magnéticos

De los sensores magnéticos tenemos los siguientes tipos: los mecánicos o tipo *reed*, los de tipo electrónico o de efecto Hall y, los transformadores lineales variables (LVDT). Los sensores de tipo reed tienen gran difusión al emplearse en muy bajos voltajes, con lo que sirven de indicador de posición a PLC's y, además, por emplearse como indicador de posición de los cilindros neumáticos de émbolo magnético de las marcas que tienen mayor difusión.

Los sensores de efecto Hall, son semiconductores y por su costo no están muy difundidos pero en codificadores (*encoders*) de servomecanismos se emplean mucho. Los transformadores lineales variables (LVDT) proporcionan una lectura de posición, usando la inductancia mutua entre dos embobinados. Un núcleo magnético móvil acopla el voltaje de excitación en corriente alterna a los dos secundarios. La fase y la amplitud del voltaje del secundario varía de acuerdo con la posición del núcleo.

Cuando el núcleo está en medio de los embobinados, los voltajes de ambos están 180 grados desfasados y son de igual magnitud, por lo que el voltaje neto es cero. Cuando el núcleo se mueve hacia la escala positiva, la señal en fase con la onda de entrada crece y viceversa cuando el núcleo se mueve hacia la escala negativa.

2.6.9. Encoders

Un tipo especial de sensor de proximidad es el *encoder* o codificador, ya que con él se puede obtener la distancia exacta de proximidad. Para la medición angular se utiliza un disco codificado montado en un eje. La transformación de la codificación mecánica en una señal eléctrica proporcional

se consigue por la posición del disco utilizando sensores electromagnéticos (tipo Inductivos), inductivos o acopladores ópticos. En el caso de posicionado inductivo, el código del disco tiene la forma de segmentos de cobre en serie. Con este método, el transductor consiste en un sensor tipo herradura, cuyo consumo eléctrico varía de acuerdo con el grado de interferencia de su campo magnético. Esta señal es empleada a continuación por el equipo de control.

El posicionamiento óptico de un disco segmentado es el método más usual, donde la codificación consiste en sectores transparentes y opacos. Cuando el disco gira, el recorrido de la luz al sensor óptico se abre y se bloquea alternativamente, produciendo así una salida digital en proporción con el movimiento y la posición. Existen dos tipos de *encoders*:

- ***Encoders incrementales***

Los *encoders* incrementales suministran un número específico de impulsos por cada revolución completa del eje. Esta cuenta de impulsos está determinada por el número de divisiones o segmentos del disco de codificación. Ej. El disco de codificación consta de 360 segmentos, por lo tanto por revolución del eje, se obtendrán 360 impulsos. Es decir, un impulso por grado angular.

Hay disponibles tres versiones del generador de impulsos rotativo: canal simple, doble y triple. El tipo de canal simple (señal A) es empleado donde el sentido del movimiento no cambia, ni se tienen vibraciones. En el caso contrario, son mejores los de doble canal (señales A y B), también llamados de señales en cuadratura porque una señal está defasada en 90 grados de la otra, lo cual sirve para detectar el sentido del giro. El tercer canal (señal Z) es una señal de posición que aparece una vez por revolución, y es empleado para

regresar a ceros contadores en sistemas controlados digitalmente (CNC, PLCs, etc.).

Los problemas más frecuentes con los codificadores son causados por un pobre blindaje del conductor o, por la distancia tan larga y la frecuencia tan alta con la que trabaja el aparato. Un buen cable aterrizado únicamente en el contador y, un codificador de señales complementarias (A, noA, B, noB y Z) resuelven en su mayor parte estos problemas.

- ***Encoders absolutos***

A diferencia de los *encoders* incrementales, los del tipo absoluto proporcionan una combinación única de señales para cada posición física. Esto resulta una ventaja importante, ya que no es necesario un contador para la determinación de la posición. La combinación de señales se establece mediante un patrón de código de sectores transparentes y opacos en varias pistas de un disco rotativo. El número de pistas de código disponibles determina la resolución máxima del codificador en la totalidad de los 360 grados.

En el caso de las pistas codificadas en binario, la resolución máxima es de 2^n siendo n el número de pistas. Por consiguiente, para 10 pistas, la resolución es de $2^{10} = 1024$. Una característica importante de la lectura de modo paralelo es que la posición real se registra inmediatamente cuando se conecta inicialmente la alimentación eléctrica, o después de un cambio de posición sin potencia aplicada o si se excede del número de revoluciones por minuto permitidas electrónicamente (desventajas del tipo incremental).

El código de Gray es el sistema de codificación más usado. Este método de codificación tiene la ventaja de producir un cambio de código de un sólo dígito binario en el desplazamiento de una posición a la siguiente. Aunque se ha mencionado únicamente el funcionamiento de los *encoders* rotativos, los lineales trabajan de la misma manera.

2.6.10 Sensores de presión

Los sensores de presión sofisticados funcionan a base de celdas de carga y de sus respectivos amplificadores electrónicos, y se basan en el conocido puente de Wheatstone, donde una de sus piernas está ocupada por el sensor. Este sensor es básicamente una resistencia variable en un sustrato que puede ser deformado, y lo cual ocasiona el cambio en el valor de la mencionada resistencia. Los sensores comunes de presión son interruptores eléctricos movidos por una membrana o un tubo Bourdón.

El tubo Bourdón se abre hacia afuera con el aumento de presión y este movimiento es transmitido a un interruptor, el cual es accionado cuando la posición del tubo corresponde con un ajuste preseleccionado. En el caso de los interruptores de presión por diafragma, la fuerza provocada por la presión sensada actúa sobre un resorte, el cual al ser vencido actúa sobre un microinterruptor. Es obvio que el resorte determina el rango de presión de operación.

2.6.11. Sensores de nivel

Los sensores de nivel en su mayoría trabajan indirectamente sensando la posición de un flotador mediante un sensor inductivo o un interruptor del tipo de canilla (*reed*) y un imán permanente.

2.6.12. Sensores de temperatura

Los sensores de temperatura más sencillos son los que actúan sobre un interruptor miniatura y en general, éstos son de dos tipos: sistemas de dilatación de un fluido y bimetálicos. Los primeros actúan al dilatarse el líquido o el gas contenido dentro de un capilar y, los segundos actúan directamente el interruptor mediante el efecto de diferencia de dilataciones de tiras de dos metales diferentes.

2.6.13. Termopares

Los termopares están hechos de dos alambres de metales diferentes unidos precisamente en el punto de medición, conocido como unión caliente. Un pequeño voltaje llamado Seebeck, en honor a su descubridor, aparece entre los dos alambres en función de la temperatura de esa unión y, ese voltaje es la señal que actúa sobre el controlador de temperatura. Los termopares son en general de los sensores los más baratos y los más robustos, aunque para evitar errores de materiales disímiles, los cables de extensión deben ser del mismo material del termopar. Existen termopares apropiados para diferentes rangos de temperatura y diferentes ambientes industriales. Ejemplos:

Tabla III. Tipos de termopares con sus aleaciones y rango de operación

TIPO	ALEACIONES	RANGO (°C)
J	Hierro/Constantan	0 a 760
K	Chromel/Alumel	0 1 1260
E	Chromel/Constatan	.-184 a 871
T	Cobre/Constantan	.-184 a 371
R	Platino 13%/Rodio Platino	0 a 1482

2.6.14. RTD

Los RTDs son principalmente hechos de alambre de platino enrollado en una base cerámica cubiertos de vidrio o de material cerámico. Además pueden encontrarse como película en un sustrato. Con la temperatura el platino cambia de resistencia y, con un circuito similar al conocido Puente de Wheatston este cambio puede ser utilizado en un indicador o controlador de temperatura.

Este tipo de sensor se fabrica también de níquel en lugar de platino pero son más usuales los de este último material, en sus variantes de norma alemana o japonesa. Es sencilla la conexión de estos elementos y su prueba, ya que a 0° C, la resistencia del RTD de Platino es de 100 ohms y varía a razón de 0.385 ohms por grado Celsius.

2.6.15. Termistores

Están fabricados de un material semiconductor que cambia su resistencia eléctrica en un pequeño rango de temperatura. Tienen un coeficiente térmico negativo de valor muy elevado, se encuentran en el mercado con la

denominación NTC (Negative Temperature Coeficient) habiendo casos especiales de coeficiente positivo cuando su resistencia aumenta con la temperatura y se los denomina PTC (Positive Temperature Coeficient).

En algunos casos, la resistencia a la temperatura ambiente puede disminuir hasta 6% por cada 1°C de aumento de temperatura. Esta elevada sensibilidad a variaciones de temperatura hace que resulte muy adecuado para mediciones precisas de temperatura, utilizándose ampliamente para aplicaciones de control y compensación en el rango de 150°C a 450°C.

Sirven para medición de temperatura tanto en gases, como en líquidos o sólidos. A causa de su muy pequeño tamaño, se los encuentra normalmente montados en sondas o alojamientos especiales que pueden ser específicamente diseñados para posicionarlos y protegerlos adecuadamente cualquiera sea el medio donde tengan que trabajar.

En las aplicaciones de medición y control de temperatura, se usa, como uno de los brazos de un puente Wheatstone. Este circuito suministra una máxima sensibilidad. Para aumentar los niveles de salida del puente, se puede insertar un amplificador entre la salida del puente y el instrumento indicador o dispositivo de control.

2.6.16. Sensores de flujo

Los sensores de flujo más usuales comprenden de una pequeña turbina que gira dentro del fluido a sensar, y, de un sensor del tipo inductivo que sensa el número de revoluciones de los alabes de la turbina, o, en otro tipo, la señal es tomada de un taco generador acoplado directamente a la turbina.

También los hay del tipo de estado sólido, los cuales tienen en la cabeza sensora dos resistencias calibradas. Con una de ellas se calienta un poco el fluido que rodea la cabeza y con el otro se sensa la temperatura del fluido. Comparando la temperatura electrónicamente, la cual se ajusta manualmente, es posible detectar movimientos de fluidos muy lentos como los de lubricantes de baleros, o flujos muy rápidos como los de una bomba de agua.

2.7 Adquisición de datos

Hoy en día más y más compañías en la industria de la manufactura usan computadoras personales en sus plantas y laboratorios para probar sus productos, tomar mediciones y automatizar procesos. Al crear sistemas basados en una PC, los usuarios están aprovechando las ventajas de las tecnologías de la computación más recientes como tarjetas de adquisición de datos insertables, almacenamiento de datos a disco duro, e Internet.

A medida que ingenieros y científicos adoptan la computadora para resolver un mayor número de aplicaciones, estas se han vuelto más exigentes, tal es el caso de los sistemas en tiempo real. Si bien es cierto que un sistema de adquisición de datos y control en tiempo real no es fácil de lograr con una computadora personal, lo ideal sería contar con las mismas ventajas que ofrece una PC (interfaz gráfica, sistemas abiertos, conectividad, bajo costo) y habilidad de crear aplicaciones lo suficientemente confiables para desempeñar el control de un sistema crítico.

El término tiempo real duro comúnmente se utiliza para definir a un sistema que debe ejecutarse sin falla y cumplir con los requerimientos de tiempo real en todo momento. Un error común es pensar que tiempo real

significa en realidad; cuando de hecho muchas aplicaciones de adquisición de datos y control tienen ciclos muy lentos. Los controladores de temperatura, por ejemplo, comúnmente muestrean y controlan la temperatura un par de veces por segundo. Así que para que el controlador de temperatura sea estable, debe ejecutar los lazos de control en el orden de un par por segundo. Es el grado de inseguridad con cada tiempo de ciclo de lazo de control el que define los requerimientos de tiempo real de un sistema.

La tecnología para desarrollar sistemas de tiempo real aún representa retos. En sistemas operativos de tiempo real las interrupciones y eventos son jerarquizados y los eventos con mayor prioridad se ejecutan antes que los eventos de prioridad menor. En los *drivers* o manejadores de dispositivos responden a interrupciones; aunque la tecnología multihilo ha incrementado la confiabilidad y manejo de interrupciones, aún hay situaciones cuando *drives* no tienen prioridad sobre otros eventos menos críticos. Puesto que no se puede garantizar que no puede volver aun evento siempre dentro de un mismo tiempo a esto se le llama determinístico o no determinístico. Para resolver la respuesta no determinística, muchos lazos de control se desarrollan en *hardware* especializado.

Algunos controladores son fijos o tiene poca flexibilidad de programación, otros usan sistemas creados y patentados. Aprender nuevos sistemas operativos, *software* propietario y *hardware* especializado toma tiempo y muchas veces es difícil la integración a sistemas que no son de tiempo real.

Para crear fácilmente aplicaciones de adquisición de datos y control en tiempo real, los usuarios desarrollan su aplicación usando el *software* y posteriormente bajan el código para que se ejecute en el procesador de la tarjeta inteligente de adquisición de datos de la serie. De esta manera los

usuarios pueden confiar en que procesador independiente se enfocaran a ejecutar el tiempo real duro mientras que la PC maneja la interfaz de usuario, el almacenamiento de datos y cualquier otra funcionalidad que no sea crítica.

3. AUTOMATIZACIÓN

3.1. ¿Por qué automatizar?

Porque las empresas deben prepararse para el futuro o serán cosa del pasado. Para quien no esté de acuerdo, llegó la era de la informática digital, ahora pensamos en horas, en minutos. El aumento de competitividad, la globalización de economía e informática son cambios drásticos para Guatemala. Y nos hacemos parte, queriendo o no de este contexto mundial. Hay empresas que están investigando incansablemente la automatización de tarifas para la reducción de costos de ventas o producción.

La automatización de instalaciones a base de elementos eléctricos está fundamentada en el control y ejecución de acciones de forma automática, sin la intervención del operador o con el mínimo de intervención. Con ello se logra agilizar los procesos, una mayor eficiencia y con ello bajan los costos de operación y al mismo tiempo se tiene confianza en la continuidad del servicio. Aparte de ello se tiene un fácil manejo y mantenimiento en el equipo de operación, y una reducción de espacios en el equipo de control.

La automatización puede ser tan completa con un sistema SCADA, (*Supervisory Control And Data Acquisition*, por sus siglas en inglés), que está especialmente diseñada para funcionar sobre ordenadores en el control de

producción, proporcionando comunicación con los dispositivos de campo (controladores autónomos, autómatas programables, etc.) y controlando el proceso de forma automática desde la pantalla del ordenador. Además, provee de toda la información que se genera en el proceso productivo a diversos usuarios, tanto del mismo nivel como de otros supervisores dentro de la empresa: control de calidad, supervisión, mantenimiento, etc. En este tipo de sistemas usualmente existe un ordenador, que efectúa tareas de supervisión y gestión de alarmas, así como tratamiento de datos y control de procesos. O tan sencilla con elementos de telemando, y lógica cableada.

3.2. Costos de la automatización

El costo de la automatización depende de la máquina industrial a trabajar y de lo que se requiere lograr con la automatización. Los sistemas de automatización van desde controles con contactores a base de lógica cableada, pasando por PLC's hasta llegar a sistemas SCADA.

Para máquinas pequeñas, por ejemplo las estampadoras de envases de alcohol, que realizan únicamente cuatro movimientos (4 salidas), el costo podría hacerse muy alto, debido a las pocas variables que se deben controlar y a la simplicidad del proceso. Mientras los PLC's nanoautómatas vienen dispuestos con un promedio de 7 entradas y 7 salidas, (dependiendo de la casa fabricante). Esto ocasiona un aumento de costos considerable comparado con una máquina de siete variables de control.

En el mercado existen una gama muy amplia de autómatas programables, por lo que estas se elegirán atendiendo a:

- a) Necesidades a cubrir en función al volumen de la instalación.
- b) Prestaciones del autómata.
- c) Precio y calidad del producto.
- d) Marca del producto.
- e) Proximidad del proveedor.
- f) Asistencia técnica.

3.3. Tiempo requerido de la automatización

Para determinar el tiempo requerido, los pasos a seguir y el costo de un proyecto de automatización se debe estudiar detenidamente el proceso que realiza la máquina industrial. Generalmente se tendrán los mismos procedimientos para la automatización pero dependerá de la complejidad del proceso, el nivel de automatismo y del tamaño de la maquinaria el tiempo para realizar el proyecto.

Para una MMI se tiene el siguiente procedimiento en la realización del proyecto que va desde desmontar los controles viejos hasta la instalación del nuevo control (PLC), y la puesta en marcha de la maquinaria.

- a) Sistema de integración completa.

- b) Definir correctamente el programa apropiado para la instalación.
 - Estudiar el esquema hidráulico y elegir el programa correcto para la máquina.
 - Estudiar el esquema eléctrico y elegir la alimentación de los solenoides.
 - Elegir las tarjetas que pueden ser usadas en el nuevo control.
 - Preparar nuevos esquemas.

- c) Eliminar viejo control
 - Desconectar todo el cableado del control viejo.
 - Remover físicamente el viejo control.
 - Ordenar todo el cableado viejo suelto en el panel de control viejo.
 - Remover todos los micros *switches* que ya no se usarán.
 - Remover todos las botoneras del panel de control.
 - Recablear calefacción independientemente.
 - Remover todo el cableado viejo.

- d) Identificación del sistema.
 - Identificar todas las válvulas
 - Identificar los micros *switches* que pueden ser usadas.
 - Identificar los dispositivos para sensores.

- e) Sistema de cableado.
 - Cablear de uno en uno todos los solenoides para el nuevo control.
 - Cablear todos los solenoides con su cable común hasta el boque hidráulico.
 - Cablear los micro *switches* para el control.
 - Cablear los sensores hasta el control.
 - Identificar todos los cables de acuerdo a los diagramas.
 - Cablear las bobinas de los relés para el control.
 - Cablear las temperaturas pos separado.

- f) Instalar el nuevo control.
 - Instalar el nuevo control
 - Cablear el campo del nuevo control.

- g) Probar el nuevo control.
- Motor encendido – apagado
 - Calibración hidráulica
 - Ajustes eléctricos
 - Movimientos eléctricos
 - Abrir y cerrar en semi automático.
 - Ciclo completo en semiautomático
- h) Lanzar nuevo sistema.
- Máquina en ciclo automático.
 - Preparar reunión con el cliente.
 - Cerrar el proyecto.

Aplicando tiempo y costos para la automatización de una MMI se tiene la tabla IV, considerando tiempo optimista, tiempo bueno y tiempo pesimista.

Tabla IV. Tiempo y costo de la automatización

EVENTO	ACTIVIDAD	TIEMPO OPTIMISTA DIAS	TIEMPO BUENO DIAS	TIEMPO PESIMISTA DIAS	TIEMPO PROMEDIO DIAS	COSTO DIRECTO \$\$
1 para 2	a	1	1.5	2	1.5	216
1 para 3	b	1	1.5	2	1.5	90
3 para 4	c	1	1.75	2.5	1.75	105
2 para 4	d				0	252
4 para 5	e	2.5	3.5	4	3.333333333	136.66
4 para 6	f	1	1.5	2	1.5	60
5 para 7	g	2	3.5	4.5	3.333333333	410
6 para 7	h				0	205
7 para 8	i	1	1.75	2	1.583333333	373.33

Longitud del proyecto:

13.45 Días

Costo Total:

1338

3.4. Ventajas y desventajas de la automatización

La utilización de autómatas programables supone una serie de ventajas y desventajas algunas de las cuales se enumeran a continuación.

- a. Mayor nivel de automatismo, control y simplicidad en los procesos en los que interviene.
- b. Facilidad a los operarios de las máquinas las operaciones de maniobra.
- c. Mejorar el control del proceso.
- d. Permite introducir cambios rápidos en las maniobras y procesos que controla.
- e. Controla y protege los aparatos eléctricos.
- f. Ayuda con mensajes al control de las averías.
- g. Ayuda al mantenimiento.
- h. Puede estar unido a ordenadores que controlen los procesos.
- i. Tener salidas de información a impresoras y pantallas de TV.
- j. Reducir el volumen de los automatismos.
- k. Aumentar el grado de seguridad de las instalaciones que controla.
- l. Obtener mayor productibilidad de las máquinas o instalaciones.
- m. Otras muchas prestaciones que hacen que el autómata programable se esté generalizando a todos los niveles y aplicaciones.

Entre las desventajas que presentan los autómatas mencionamos:

- a. Falta de un programador (equipo y personal calificado)
- b. Alto costo en caso de procesos muy sencillos.
- c. Se requiere de un diagrama de procesos, el cual involucra agentes multidisciplinares (mecánicos, eléctricos, neumáticos, etc), para el diseño de entradas y salidas.

4 AUTOMATIZACIÓN DE UNA INYECTORA DE PLÁSTICO, 400TD

4.1 Pasos para la automatización de una inyectora de plástico

En los capítulos anteriores se estudió los componentes de las MMI, desde su ciclo completo, materia prima, temperatura de derretido, hasta sus componentes mecánicos y accionamientos como son las bombas hidráulicas, electro válvulas, presiones de trabajo, etc. Sobre los autómatas programables hablamos desde su estructura, software, hardware, hasta ventajas y desventajas que nos trae automatizar. En este capítulo se hace una automatización aplicándola a una máquina inyectora de plástico, y se proponen los siguientes pasos a seguir.

4.1.1. Conocer el proceso de trabajo de la inyectora de plástico

El proceso comienza cuando la máquina está lista para trabajar; el molde está sujeto a las platinas móvil y fija, la tolva tiene material y el cañón se encuentra a temperatura de derretido. Al cerrar la puerta se da una señal de inicio del ciclo, haciendo que la platina móvil del molde avance a alta velocidad y alta presión. Antes de que se toquen las caras del molde se acciona la protección, haciendo el cierre a baja velocidad y baja presión.

El cañón previamente cargado con material hace una presión contra el bebedero del molde, asegurando una buena inyección y evitando desperdicios. Se inicia la inyección rápida con el objetivo de llenar la cavidad del molde. La inyección lenta termina de llenar la cavidad del molde y el tiempo de sostenimiento se encarga de presionar la parte y evitar su deformación, esta presión se hace hasta que se enfríe la colada de la parte. El tornillo empieza a girar haciendo que el material fluya hacia delante preparando la siguiente dosificación.

Al terminar la carga el molde se abre, en este momento los botadores expulsan la parte congelada, y el operador de la máquina abre la puerta terminando así el ciclo de trabajo. Para empezar un nuevo ciclo es necesario que se cierre la puerta, tal como se explicó en la sección 1.2.

Ahora que se conoce el ciclo de trabajo se necesita conocerlo paso a paso, de tal manera que ayude a realizar el *software* de programación, por ejemplo como si fuera un ciclo manual completo:

A. Cierre molde

A.1 La máquina debe estar en semiautomático o automático.

A.2 El molde debe estar abierto totalmente.

A.3 La puerta debe estar abierta (LS-1) luego cerrarse.

A.4 La válvula de cerrar molde es activada.

A.5 El molde pasa por el interruptor de límite estático programable del molde LS-2.

A.6 La válvula de baja presión de molde es activada.

A.7 El molde pasa por el interruptor de límite estático programable del molde LS-3.

- A.8 La baja presión de molde es desactivada.
- A.9 La alta presión es activada
- A.10 El molde pasa por el interruptor de límite estático programable del molde LS-4.
- A.11 La válvula de alta presión es desactivada.
- A.12 La válvula de baja velocidad es activada
- A.13 El subprograma de *software* de protección se activa.
- A.14 El molde cierra a baja velocidad y alta presión, este caso conocido como protección de molde.
- A.15 Las caras del molde se tocan.
- A.16 El molde pasa por el interruptor de límite estático programable del molde LS-5.
- A.17 El molde no pasa por el interruptor de límite estático programable del molde LS-3.
- A.18 Se activa la alarma de no cerro molde.
- A.19 La subrutina del *software* de protección se desactiva.

B. La inyección completa se activa.

- B.1 La válvula de inyección rápida se activa.
- B.2 El gusano pasa por el interruptor de límite estático programable del gusano LS-6.
- B.3 La segunda inyección se activa.
- B.4 El gusano pasa por el interruptor de límite estático programable del gusano LS-7.
- B.5 El gusano para.
- B.6 Se activa el tiempo de sostenimiento.
- B.7 Se desactiva el tiempo de sostenimiento.

C. La carga o plastificación se activa.

C.1 La válvula de carga se activa.

C.2 El gusano pasa por el interruptor de límite estático programable del gusano LS-8.

C.3 La válvula de carga se desactiva.

C.4 Se activa la válvula de chupón o descompresión.

C.5 El gusano pasa por el interruptor de límite estático programable del gusano LS-9.

D. La apertura del molde se activa.

D.1 El molde abre a alta velocidad.

D.2 El molde pasa por el interruptor de límite estático programable del molde LS-10.

D.3 El molde abra a alta velocidad.

D.4 El molde pasa por el interruptor de límite estático programable del molde LS-11.

D.5 El molde abre a baja velocidad.

D.6 El molde pasa por el interruptor de límite estático programable del molde LS-12.

D.7 El molde para, se encuentra totalmente abierto.

E. El expulsor se activa.

E.1 El expulsor sale y expulsa la pieza.

E.2 El expulsor pasa por el interruptor de límite estático programable del expulsor LS-13.

E.3 El expulsor para.

E.4 Se activa la válvula de retraer expulsor.

E.5 El expulsor pasa por el interruptor de límite estático programable del expulsor LS-14.

E.6 El expulsor se para.

F. Inicio de nuevo ciclo.

F.1 Si está en modo automático el molde cerrará después de terminado el tiempo programado de tiempo entre ciclos.

F.2 Si está en modo semiautomático el molde cerrará después de abrir y cerrar la puerta.

La MMI queda lista para el siguiente ciclo.

4.1.2 Determinar las variables de control de la inyectora de plástico

Se estudió la secuencia del ciclo automático de la MMI, en donde se muestra cómo es que accionan las electro válvulas para dar paso al flujo hidráulico y actúan las diferentes presiones, velocidades y protecciones; para controlar las variables que son el molde, el gusano y el expulsor.

Aunque la mayoría de MMI, tienen el mismo ciclo de trabajo, tendrán pequeñas variaciones de acuerdo al fabricante en cuanto el numero de electro válvulas y el tonelaje.

Tomando como base una de 400TD, (400 toneladas), para nuestro propósito, la MMI 400TD modelo 75, tiene 9 electro válvulas, como se ve en la tabla V, definidas cada una como solenoide X, en donde la X describirá una letra destinada de acuerdo su función.

Tabla V. Electro válvulas de una MMI 400TD, con su respectiva identificación

Electro válvula	Solenoide
Abrir molde	B
Cerrar molde	A
Atrás tornillo	H
Inyectar	G
Baja presión	E
Alta presión	P
Tornillo/carga	N
Expulsor	J
Presión de inyección	F

Adicionalmente a estas variables también tenemos que controlar la temperatura del material, por medio de tres zonas del cañón y una de la boquilla.

En conclusión se tiene tres variables a medir por medio del autómeta: el molde, el gusano y el expulsor; a través de las diferentes electro válvulas. Adicionalmente la temperatura de las diferentes áreas del cañón tiene un control independiente.

4.1.3 Diseño de mecanismos para la medición de variables

La sección 4.1.2, habla de las variables de control de una MMI de 400 toneladas, el molde, el gusano y el expulsor. Los movimientos de estas variables los controlaremos por medio de una señal analógica, haciendo variar un potenciómetro que no genere carga ni sea cargado por la impedancia de entrada del circuito de medición. Los valores entre 2 y 10 Kohm son aceptables. Fuera de estos rangos dan error en la medición.

Idealmente se usa un potenciómetro lineal, pero el costo es elevado y no se encuentra en el mercado local. Entonces se usa un potenciómetro circular con el objetivo de usar un engranaje que corra sobre una cremallera. Por ejemplo, si usamos un potenciómetro de 10 vueltas, usamos el 80% de su recorrido total con el objetivo de protegerlo en sus extremos.

Con las medidas de avance máximo del molde, gusano y expulsor, se hace el cálculo del diámetro del engranaje. Si tenemos 1 metro de avance máximo para el molde y el gusano, usamos el 80% de las vueltas del potenciómetro, que equivale a 8 vueltas para el cálculo del diámetro del engranaje:

Perímetro del engranaje = 100 cm X 8 vueltas

Perímetro del engranaje = 12.5 cm / vuelta

Perímetro del engranaje = π * diámetro

Diámetro = Perímetro del engranaje / π

Diámetro = 12.5 / π

Diámetro = 4 cms

El expulsor tiene un avance más pequeño, por lo que puede usarse un potenciómetro de 1 vuelta, calculando el diámetro con el mismo procedimiento descrito y dejando un margen del 20% de protección, 10% de cada extremo.

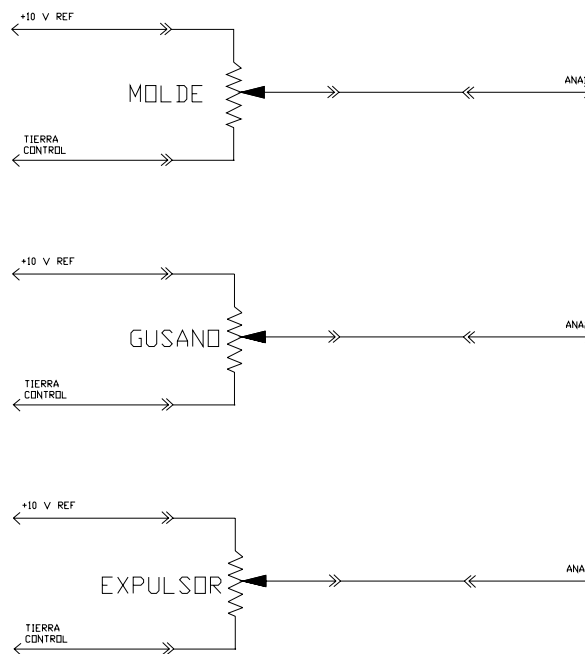
4.1.4 Diseño de entradas y salidas del autómata

Para controlar la posición del molde, gusano y expulsor necesitamos que el autómata cuente con tres entradas analógicas. A continuación se muestra en la tabla VI el ordenamiento de las entradas analógicas, y en la figura 20 se muestran los diagramas de conexión:

Tabla VI. Variables de entradas analógicas de una MMI 400 TD mod 75

ENTRADA ANALÓGICA	VARIABLE
ANA 1	MOLDE
ANA 2	GUSANO
ANA 3	EXPULSOR

Figura 20. Diagrama de conexión de entradas analógicas para una MMI



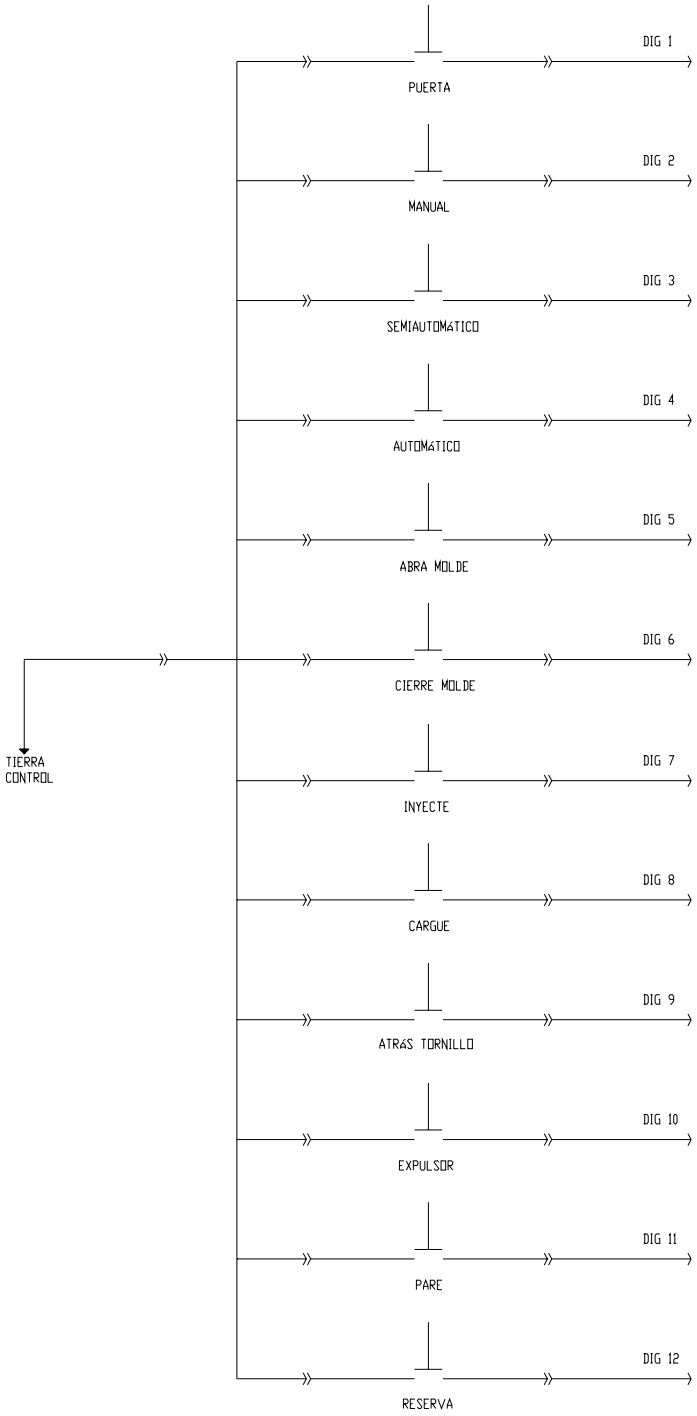
El inicio del ciclo se hace con una señal digital que da la puerta frontal, de aquí llevamos una entrada digital. Esta entrada es necesaria para un ciclo completo de la máquina. Para ello el autómata debe estar en modo semiautomático ó automático. Pero se necesitan cambiar los modos de manual, semi automático y automático, con lo cual necesitamos tres entradas más, llevando 4 entradas digitales.

Al estar en modo manual necesitamos hacer los movimientos por separado para programar velocidades, presiones y protecciones, con lo cual necesitamos cinco botones para cierre molde, abra molde, inyecte, cargue, atrás tornillo, expulsor y *stop*, haciendo un total de once entradas digitales, que se muestran en la tabla VII, y los diagramas respectivos se muestran en la figura 21.

Tabla VII. Se muestran las variables digitales con su respectiva entrada en el autómata

ENTRADA DIGITAL	VARIABLE
DIG 1	PUERTA
DIG 2	MANUAL
DIG 3	SEMI AUTOMÁTICO
DIG 4	AUTOMÁTICO
DIG 5	ABRA MOLDE
DIG 6	CIERRE MOLDE
DIG 7	INYECTE
DIG 8	CARGUE
DIG 9	ATRÁS TORNILLO
DIG 10	EXPULSOR
DIG 11	PARE

Figura 21. Diagrama de conexión de entradas digitales para una MMI

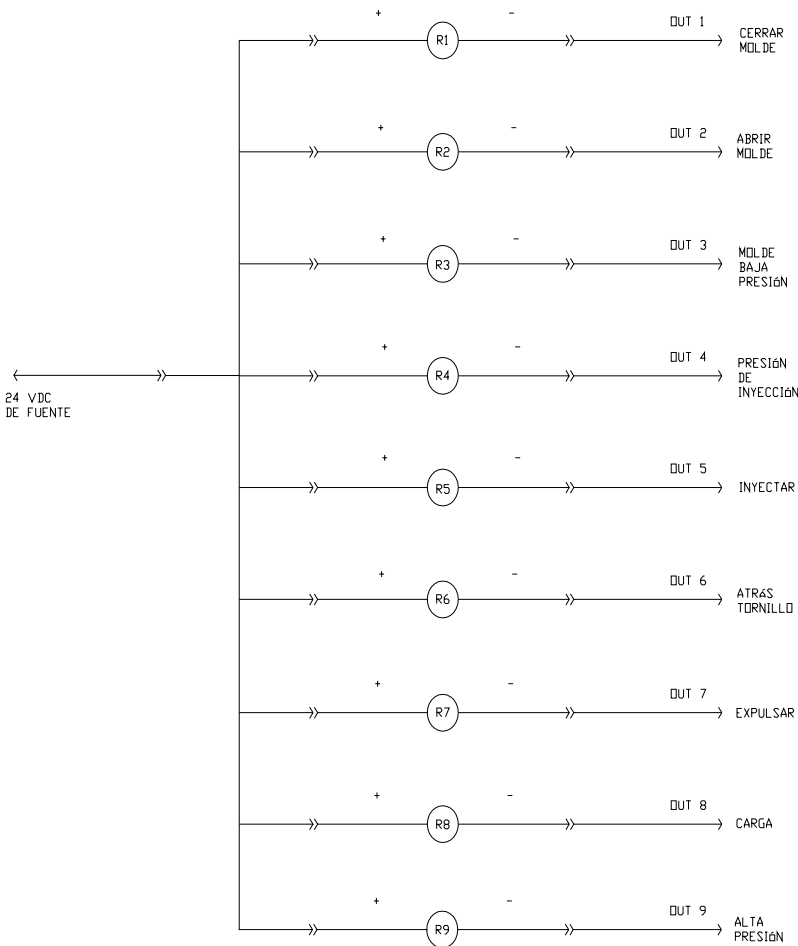


Los movimientos de la MMI son controlados por relés que normalmente vienen internos en el autómata, y su accionamiento depende de la órdenes que le de el programa principal. En la tabla VIII, se muestra las salidas del autómata controlando su respectivo solenoide. En la figura 22, se muestra los diagramas de conexión de las salidas digitales del autómata.

Tabla VIII. Salidas del autómata con variable y solenoide correspondiente

SALIDA DIGITAL	VARIABLE	SOLENOIDE
OUT 1	CERRAR MOLDE	A
OUT 2	ABRIR MOLDE	B
OUT 3	MOLDE BAJA PRESIÓN	E
OUT 4	PRESIÓN DE INYECCIÓN	F
OUT 5	INYECTAR	G
OUT 6	ATRÁS TORNILLO	H
OUT 7	EXPULSOR AFUERA	J
OUT 8	CARGA	N
OUT 9	ALTA PRESIÓN	P
OUT 10	EXPULSOR RETRAIDO	K

Figura 22. Diagrama de conexión de salidas digitales del autómata



4.1.5 Elección del *hardware*

Elegir un autómata con exactamente tres entradas analógicas, once entradas digitales y nueve salidas digitales, es imposible, las casas fabricantes tienen estándares con los modelos de entradas y salidas, digitales y analógicas.

Para ello nos adaptaremos a un modelo de autómata que cumpla las necesidades para el proyecto y además que cumpla con lo estudiado en la sección 3.2, refiriéndonos a precio y calidad del producto, marca del producto, proximidad del proveedor y asistencia técnica.

En la tabla IX, mostramos un resumen de las CPU's de las posibles opciones que tenemos para nuestro proyecto

Tabla IX. Opciones de PLC's para el proyecto de automatización de una MMI

Función	CPU A	CPU B
Tamaño físico	197 mm X 80 mm X 62 mm	218 mm X 80 mm X 62 mm
Memoria		
Programa (EEPROM)	2 K palabras	4K palabras
Datos de usuario	2K palabras	2.5K palabras
Marcas internas	256	256
Cartucho de memoria	Sí (EEPROM)	Sí (EEPROM)
Cartucho de pila opcional	200 días (típ)	200 días (típ)
Respaldo (condensador de alto rendimiento)	190 horas (típ)	190 horas (típ)
Entradas/salidas (E/S)		
E/S integradas	14 DI / 10 DQ	14 DI / 10 DQ
Módulo de aplicación	7 módulos	7 módulos
Imagen del proceso de E/S	64 DI / 64 DQ	64 DI / 64 DQ
E/S analógicas (ampliación)	16 AI / 16 DQ	16 AI / 16 DQ
Filtros de entrada	Si	Si
Operaciones		
Velocidad de ejecución booleana	0.8 μ s/operación	0.8 μ s/operación
Contadores temporizadores	128/128	128/128
Bucles FOR/NEXT	Sí	Sí
Aritmética en coma fija	Sí	Sí
Aritmética con coma flotante	Sí	Sí
PID	No	Sí (EEPROM)
Funciones adicionales		
Contadores rápidos	1 S/W, 2 H/W	1 S/W, 2 H/W
Potenciómetros analógicos	2	2
Salidas de impulso	2	2
Interrupciones de comunicación	1 emisor/1 receptor	1 emisor 1 receptor
Interrupciones temporizadas	2	2
Entradas de interrupción de hardware	4	4
Reloj de tiempo real	Sí	Sí
Comunicación		
Interfaces	1 (RS-485)	2 (RS-485)
Protocolos asistidos	PPI, Freeport	PPI, Freeport, MPI
Punto a punto	Sí	Sí

Además, el listado de materiales para todo el proyecto.

- 200 mts de cable THHN calibre 14 color rojo, para línea de electro válvulas
- 100 mts de cable THHN calibre 14 color blanco, para neutro de electro válvulas
- 100 mts de cable SAE calibre 16 color negro, para señal de digitales salidas y entradas
- 30 mts de cable blindado triaxial para señal analógica de entradas
- 4 borneras tipo dado para cable calibre 14, de 12 unidades cada una, para alimentación, entradas y salidas, analógicas y digitales.
- 9 botoneras normalmente abiertas, color negro, de ½ plg de diámetro.
- 1 botonera normalmente abierta, color rojo, de ½ plg de diámetro para stop.
- 100 terminales tipo espátula para cable calibre 16.
- 100 terminales tipo pin para cable calibre 14.
- 30 tornillos completos M4, de 1 plg de largo
- 8 tornillos completos M4 de plástico de 1 plg de largo para el autómata
- 8 tornillos de 3/8, para sujetar el panel
- 3 rollos de cinta de aislar
- 1 juego de terminales de identificación
- 2 metros de canaleta plástica de 1 X 1 plg
- 30 bases adhesivas
- 100 cinchos plásticos No. 6
- 2 potenciómetros de 10 K de 10 vueltas
- 1 potenciómetro de 10 K de 1 vuelta

- 2 engranajes de 4 centímetros de diámetro y 10 dientes de paso por plg
- 1 engranaje de 6 centímetros de diámetro y 10 dientes de paso por plg
- 2 metros de cremallera de 5 mm de ancho y 10 dientes de paso por plg

4.1.6. Diseño del panel de control

Una de las partes más importantes de la formación de quien va a trabajar en automatismos y paneles de control, está precisamente en la distribución de los elementos eléctricos en el cuadro o dispositivo que los contenga. Para ello se tienen los siguientes conocimientos:

- a) Conocimientos eléctricos básicos, como normas, simbología, formas de conexión, las formas de cálculo, la tecnología eléctrica, etc.
- b) Lectura e interpretación de planos eléctricos.
- c) Conocimiento de los aparatos que intervienen en el esquema, como tamaño y forma, formas de sujeción, características técnicas, calibrado y reglaje de los aparatos y conexiones de los aparatos.
- d) El conocimiento del esquema y los aparatos que forman parte de él, ayudarán a elegir la envolvente adecuada en todos sus dispositivos, tales como: materiales (PVC, inoxidable, chapa pintada, etc.). Grado de protección, volumen interno, formas de sujeción del panel de control, forma de canalizar los conductores, forma del bornero.

- e) Para elegir correctamente el equipo, armarios, conductores, accionadores, etc., se conocerá previamente el lugar de instalación, tales como: altitud, temperatura ambiente, riesgo o no de explosión, humedad y riesgo de impactos.

Como se estudió en la sección 2.5 el tamaño panel dependerá del tamaño de todos los dispositivos acondicionados de una forma que se pueda armar sin dificultad el autómata más un 30% de sobre dimensionamiento.

Tomaremos una medida estándar de un autómata y dispositivos necesarios para el proyecto con las características que necesitamos.

El panel de control lo haremos de una caja de metal para empotrar en la platina fija de molde con las siguientes dimensiones: 30 cm de ancho, 50 cm de alto y 20 cm de profundidad. La puerta tendrá una lámina de fondo paralela separada 4 cm y con 26 cm de ancho y 46 cm de altura. También usaremos una lámina con las mismas características que la anterior en el fondo de la caja, separada 2 cm.

En los 10 agujeros están hechos para las botoneras de 10 entradas del autómata. Y los dos agujeros de $\frac{1}{2}$ pulgada de diámetro los usaremos para *start* y *stop* general de la máquina. En la lámina paralela a la puerta está diseñada para colocar el autómata, por conveniencia lo pondremos en la parte superior. En la lámina paralela al fondo de la caja, colocaremos las tarjetas de relés de control de válvulas, y borneras de alimentación, entradas y salidas del autómata.

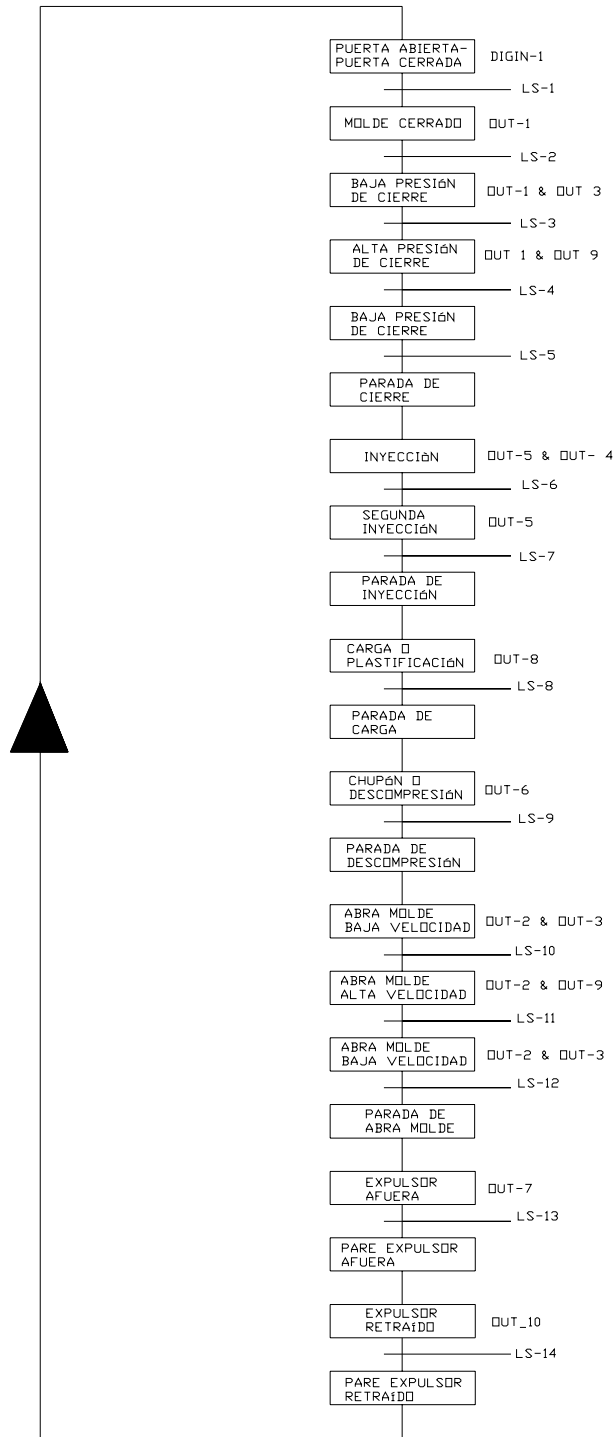
4.1.7 Diseño del *software*

Para el diseño del *software* de programación se hará referencia a la sección 4.1.1 en donde se describe paso a paso el ciclo de inyección de una MMI.

Ahora usamos un *grafcet* de funcionamiento, figura 23. Este *grafset* nos puede ayudar a programar en cualquier otro tipo de programación, en este trabajo usamos la programación de texto estructurado.

El programa en forma global está compuesto de nombre del programa, definición de variables, subprogramas para modo automático, modo semiautomático y modo manual.

Figura 22. Graficet de funcionamiento para el ciclo de una MMI



Programa para automatizar una máquina de moldeo por inyección 400TD

```
#define AND &&
#define OR ||
#define NOT !
#define ON 1
#define OFF 0
#define VDRIVER.LIB
#define SRTK.LIB
#define RUNKERNEL
#define VD_FASTCALL 1
#define MOLDE up_adrd(1)
#define DIE up_adrd(3)
#define GUSANO up_adrd(4) - 270
#define TONS up_adrd(5)
#define T_ACEITE up_adrd(5)
#define T_CANON up_adrd(6)
#define RE1 0x000
#define RE2 0x101

#define R0 0
#define R1 2
#define R2 4
#define R3 6
#define R4 8
#define R5 10

CoData numero, molde_abierto, prot_molde, alta_presion_cerrar, parar_avance,
abrir_slo,fst, baja_vel_abrir, fin_la_iny, carga, fin_2a_iny, chupón, abrir_fst_slo,
baja_pres_abrir, molde_cerrado, mould, vel_gus, pres_iny, velo_pro, sume, reste, inc,
dec, disp_1, disk_2, disk_3, disp_4, disk_5, cursor1, cycle, le_temps, inicio, iny_time_out,
return-time_out, prog_press, velo_pro_gusano, entre ciclos_time_out,
retencion_time_out, cores_out_time_out, cores_in_time_out, max_min, min_max, disk_6,
error_1, error_2, error_3, error_4, error_5, error_6, error_7, error_8, error_9, error_10,
le_temps_a, disp_7, contador, disp_8, disp_9, disp_10, disp_11, disk_1, disk_13,
temperaturas, select_air, frst_air_time_out, apaga_air_1, entra_aire_2,
sale_aire_2_time_out;
Int wdog1, k, servidor [4], add, del, l, d, j, mlde, ajuste, manual, semi, auto, stop, tiempo,
iny, conteo, cuenta, cuenta_1, v;
Int a; int t_int_screw, t_int_oli, docs, veces, tao_2_aux ;
Protected int s[s][14][10], r[5][10], tao[4][10], tao_a[4][10], press[4][10], air[4][10];
Float t_oil, t_screw;

Main()
{
    VdInit(); wdog1 = VdGetFreeWd(6); init_srtkernel(); VIODrvr(); lk_kxinit(); lk_init();
    _uiLocateBrd(); _prot_recover();
```



```

Vd_initquickloop(24); add = del = 0; stop = 1; ajuste = 1; manual = 0; semi = 0; auto = 0;
molde = 0; tiempo = 0;
For ( i = 0; i < 5; i++) {
    Servidor [i] = 1 ;
}
vd_quick_loop( )
{
    runwatch();
    costate cycle{
    }
}

/*EMPEZAR CICLO, PREDISPONER BAJA VELOCIDAD DE CIERRE, RESTEAR EL
TEMPORIZADOR Y EL MOLDE. SI LA ALTA VELOCIDAD ESTA ACTIVADA ARRANCA EN ALTA
HASTA ENCONTRAR SLS4 Y LUEGO CAMBIA A BAJA*/

    CoBegin(&entre_ciclos_time_out); //entre ciclos
    waitfor(DIG1 OR isCoDone(&entre_ciclos:time_out)); //espere q abra puert
    If(NOT DIGIN 1){up_setout(11,1); waitfor(DIG1 OR stop == 1) //alarma
    Up_setout(11,0);}
    waitfor(NOT DIG1 OR is CoDone(&entre_ciclos_time_out)); //abra y cierre regilla
    if(DIGIN1){up_setout(11, 1); waitfor(NOT DIGIN1 OR stop == 1);
    up_setout(11,0);}
xyz: mlde =0; //inicie automatico
    waitfor(isCoDone(&ciclo_time_out)); //se resetea con
    CoBegin(&ciclo_time_out); //molde =0

//ARRANQUE EN ALTA HASTA ENCONTRAR SLS[4]

if(DIE>200){
    up_setout(9, 0) up_setout(9,1); waitfor(DIE < 150);
    up_setout(9, 0); goto xyz;
}
if(tao_a[2][mlde] != 0) {
    if(DIGIN7){
        up_setout(3, 1); waitfor(NOT DIGIN7); //meter cores antes de
        up_setout(3, 0); //moverse
    }
}

//meta baja presion
up_setout(6, 1); _uiOut(2, 1); _uiOut(1, 1); CoReset(&entre_ciclos_time_out);
waitfor(MOLDE < sls[2][mlde]);

CoBegin(&velo_pro);
_uiOut(1, 1);
waitfor((MOLDE < sls[4][mlde]) OR isCoDone(&velo_pro)); _uiOut(1, 0);
CoReset(&velo_pro);
}

up_setout(6, 1); _uiOut(2, 1);

```

```

waitfor(MOLDE < sls[2][mlde]); molde = 1;

/*METE BAJA PRESION AL ENCONTRAR A SLS[3] Y LA QUITA DESPUÉS DE ENCONTRAR A
SLS[0], SI EN CUATRO SEGUNDOS NO PASA EL LIMITE ESTABLECIDO DA ERROR DE
PROTECCION MOLDE. SI SLS3 ES IGUAL A SLS0 SE DESHABILITA LA FUNCION DE
PROTECCION MOLDE*/

if(sls[3][mlde] != sls[0][mlde]) {
    waitfor(MOLDE < sls[5][mlde]), CoBegin(&velo_pro); //introducer protec molde
    _uiOut(2, 0);
    waitfor((MOLDE < sls[5][mlde] AND isCoDone(&velo_pro)) OR DelaySec(5));
    if(MOLDE > sls[5][mlde]){CoBegin(&error_1); CoReset(&velo_pro); abot;}
}
up_setout(3, 0);          waitfor(DelayMs(200L)); //quita cores adentro
_uiOut(2, 1);             //quitar protect molde
                           //baja pres y control etapa

/*AVANZAR HASTA MOLDE CERRADO O CUATRO SEGUNDOS, SI NO CIERRA MOLDE DA
ERROR*/

    _uiOut(1, 1); up_setout(1, 1); waitfor(DelayMs(100L)); //quita baja vel y mete pres
write12data(RE1, R0|ON); write12data(RE1, R1|ON);
write12data(RE1, RE2|ON); //GG1 + GG2 + GG3
waitfor(DelaySec(17L) OR NOT DIGIN3); //no llego baja presion
if(DIGIN3) {CoBegin(&error_3); abort;}

/*PREDISPONER BAJA VELOCIDAD DE INYECCION, INYECTAR. SI SLS8 = SLS6, DESACTIVA
LA FUNCION*/

    if((t_int_screw < r[2][mlde]) OR (t_int_screw > r[3][mlde])){CoBegin(&error_9);
abort;} //baja temp

if(sls[6][mlde] != sls[9][mlde]){
    if(press[1][mlde] == 123){ //quita GG3 si no esta selec en velo
    }
    if(press[1][mlde] == 12){ //quita GG2 si no esta selec en velo
        write12data(RE1, R2|OFF); write12data(RE1, R1|OFF);}
    }
    _uiOut(1, 0); //deshabilita flujo a molde sol FH

/*INICIE TEMPORIZACION DE INYECCION, RESETEE BANDERA DE INYECCION, BUSQUE
SLS[6] Y META BAJA VELOCIDAD Y ENCUENTRE SLS[8], META BAJA PRESION Y TERMINE
CON TIEMPO DE INYECCION, RESETEE BANDERA, SI NO LLEGA A SLS[8] EL TORNILLO
DESPUÉS DE TIEMPO DE INYECCION, HAY ERROR*/

    _uiOut(3, 1); waitfor(DelayMs(500L)); //sol H, inyectar
    _uiOut(0, 1); //flujo a inyectar
    up_setout(2, 1); //habilita tornillo sol HL
    CoBegin(&iny_time_out); iny = 1; //inicie temporizacion de iny

```

```

Write12data(RE1, R1|OFF); write12data(RE1, R2|OFF); //GG2 + GG3
Waitfor(sls[8][mlde] > GUSANO) OR (isCoDone(&iny_time_out));
//finalize inyeccion
write12data(RE1, R0|OFF); //fuera GG1 + bombas
write12data(RE1, R1|OFF); write12data(RE1, R2|OFF);

up_setout(12, 0); _uiOut(0, 0); //deshabilita flujo iny sol CL
iny = 0; //quita pres. Iny. Sol G
CoBegin(&retencion_time_out); //empieza tem de sot

Waitfor(isCoDone(&retención_time_out)); //deshabilita flujo iny sol CL
_uiOut(3, 0); up_setout(2, 0); //fuera inyeccion sol H
//deshabilita tornillo iny

//TERMINO LA INYECCION APAGAR TODO MENOS MOLDE

empiece: up_setout(2, 0); up_setout(3, 0); up_setout(4, 0); up_setout(5, 0);
up_setout(7, 0); up_setout(8, 0); up_setout(9, 0); up_setout(10, 0);
up_setout(11, 0); up_setout(12, 0); _uiOut(0, 0); _uiOut(1, 0); _uiOut(2, 0);
_uiOut(3, 0); _uiOut(4, 0); _uiOut(4, 0); _uiOut(5, 0);
write12data(RE1, R0|OFF); write12data(RE1, R1|OFF); write12data(RE1,
R2|OFF);

//METER BAJA PRESION DE SOSTENIMIENTO DEL ! ! ! ! !
up_setout(8, 1); waitfor(DelayMs(200L));

//CARGAR A VELOCIDAD DETERMINADA MANUALMENTE

up_setout(10, 1); waitfor(DelayMs(500L)); _uiOut(0, 1); write12data(RE1, R0|ON);
if(press[2][mlde] == 12){
_uiOut(5, 1); waitfor(DelayMs(500L)); _uiOut(0, 1); write12data(RE1, R0|ON);
if(press[2][mlde] == 12){
_uiOut(5, 1); waitfor(DelayMs(200L)); write12data(RE1, R0|OFF); write12data(RE1,
R1|OFF); write12data(RE1, R2|OFF);
up_setout(10, 0); _uiOut(0, 0); up_setout(2, 0);

//CHUPON

if(sls[7][mlde] != sls[9][mlde]){
up_setout(7, 1); waitfor(DelayMs(500L)); up_setout(2, 1); _uiOut(0, 1);
waitfor(sls[9][mlde] < GUSANO;
_uiOut(0, 0); up_setout(2, 0); waitfor(DelayMs(500L)); up_setout(7, 0);
}

//ATRAS TOBERA, INICIE CONTEO DE TIEMPO DE RETORNO

//EMPEZAR CONTEO DE TIEMPO DE ENFRIAMIENTO

```

```

molde = 0;
up_setout(2,0); up_setout(3, 0); up_setout(4, 0); up_setout(5, 0);
up_setout(7, 0); up_setout(9, 0); up_setout(10, 0);
_uiOut(0, 0); _uiOut(1, 0); _uiOut(2, 0); _uiOut(3, 0); _uiOut(4, 0); _uiOut(5, 0);
CoBegin(&enf_time_out);
If(air[0][mlde] != 0){
CoBegin(&frst_air_time_out); waitfor(inCoDone(&frst_air_time_out));
write12data(RE1, R5I);

waitfor(isCoDone(&enf_time_out));          //tiempo de enfriamiento

//CALCULAR VELOCIDAD DE AIRE ABRIR MOLDE, APAGAR TODO Y ABRIR A BAJA
VELOCIDAD

up_setout(2, 0); up_setout(3, 0); up_setout(5, 0); up_setout(6, 0);
up_setout(7, 0); up_setout(8, 0); up_setout(9, 0); up_setout(10, 0);
up_setout(11, 0); up_setout(12, 0); _uiOut(0, 0); _uiOut(1, 0); _uiOut(3, 0); _uiOut(4, 0);
_uiOut(5, 0); _uiOut(4, 0); _uiOut(5, 0);
write12data(RE1, R0IOFF); write12data(RE1, R1IOFF); write12data(RE1, R2IOFF);
write12data(RE1, R2IOFF);
waitfor(DelayMs(500L)); up_setout(1, 0);

waitfor(NOT DIGIN4 OR DelaySec(8L));
if(DIGIN4){CoBegin(&error_10); abort;}
waitfor(NOT DIGIN4 OR DelaySec(8L));
if(DIGIN4){CoBegin(&error_10); abort;}
waitfor(DelayMs(250L));
_uiOut(2, 1); up_setout(4, 1); waitfor waitfor(MOLDE > sls[1][mlde] OR DelaySec(4L));
//abrir en baja hasta SLS_10
_uiOut(1, 1); waitfor(DelayMs(200L)); write12data(RE1, R0I ON);
//suba velocidad hasta SLS_10

if(tao_a[2][mlde] != 0)}
waitfor(MOLDE > 160);
up_setout(5, 1); CoBegin(&cores_out_time_out);
}

waitfor(MOLDE > sls[10][mlde]);

write12data(RE1, R0IOFF);          //quite alta velocidad
waitfor(MOLDE > 160);
up_setout(5, 1); CoBegin(&cores_out_time_out);
}

waitfor(MOLDE > sls[10][mlde]);
write12data(RE1, R0IOFF);

waitfor(MOLDE > sls[2][mlde]); _uiOut(1, 0);          //molde abierto pare molde

```

```

//EXPULSAR

    if(sls[2][mlde] != 0){
        if(sls[2][mlde] > MOLDE){abort;}
        _uiOut(4, 1);
        waitfor(DIE > sls[12][mlde]);
        _uiOut(4, 0); waitfor(DelayMs(200L)); up_setout(9, 1); waitfor(DIE < 220);
        up_setout(9, 0);}

    }
//FIN DE CICLO, TODO APAGADO EMPIECE DE NUEVO DEPENDIENDO DE SEMI O AUTO

    if(auto == 1){
        CoBegin(&entre_ciclo_time_out)); goto xyz;}
    CoBegin(&cycle); //si esta en semi empiece de Nuevo
    }
}
backgnd()
}
backgnd()
{
    while(1){
        runwatch();
        costate{
            waitfor(MOLDE > sls[5][mlde];
            write12data(RE2, R0I OFF); waitfor(NOT DIGIN5);
        }
        costate{
            waitfor(DIGIN5);
            manual = 1; ajuste = semi = auto = 0; CoReset(&disp_6);
            waitfor(isCoDone(&disp_6));
            CoBegin(&disp_6);
            Stop = 1; waitfor(NOT DIGIN5);
        }
        while(NOT DIGIN5);
        {
            costate{
                if(stop == 1){
                    waitfor(DelaySec(3L));
                }
            }
            costate iny_time_out{
                waitfor(DelayMs(tao[1][mlde] * 100));
            }
            costate retencion_time_out{
                waitfor(DelayMs(tao[0][mlde] * 100));
            }
            costate return_time_out{
                waitfor(DelayMs(tao_a[1][mlde] * 100));
            }
        }
    }
}

```

```

}
costate enf_time_out{
  if(tao[2][mlde] > 600){ //ENFRIAMIENTO > 60 SEGS
    tao_2_aux = tao[2][mlde] - 600;
    waitfor(DelaySec(60L)); waitfor(DelayMs(tao_2_aux * 100)); cuenta += 1;
    cuenta_1 += 1; abort;
  }
  if(tao[2][mlde] > 300){ //ENFRIAMIENTO > 30 SEGS
    tao_2_aux = tao[2][mlde] - 300;
    waitfor(DelaySec(60L)); waitfor(DelayMs(tao_2_aux * 100)); cuenta += 1;
    cuenta_1 +=1; abort;
  }
  waitfor(DelaySec(30L)); waitfor(DelayMs(tao_2_aux * 100)); cuenta +=1;
  cuenta_1 += 1; //ENFRIAMIENTO < 30 SEGS
}

costate entre_ciclos_time_out{
  waitfor(DelayMs(tao[0][mlde] * 100));
}
costate{
  for(v = 0; v < veces; v++){

    waitfor(isCoRunning(&enf_time_out)); write12data(RE1, R3|ON);
    waitfor(DelaySec(37L)); write12data(RE1, R3|OFF);
  }
  cuenta = 0; if(cuenta > conteo){waitfor(waitfor(cuenta < conteo);}
  //CUENTA ES LA SUMA ACUMULADA
  waitfor((cuenta / 12 ) > conteo); //DE CICLOS Y CONTEO EL THRESHOLD
}
costate{
  if(docs < 1){docs = 1; }
  if(docs > 999){docs = 999;}
  waitfor(cuenta_1 > (docs * 12));
  up_setout(11, 1);
  if(isCoRunning(&disp_6)){CoReset(&disp_6); waitfor(isCoDone(&disp_6));}
  lk_printf("\x1Be"); lk_printf("FINALIZO PRODUCCION"); waitfor(molde == 0);
  up_setout(11, 0); cuenta_1 = 0;
}
if(manual ==1){tiempo = tao[3][mlde];}

costate{
  waitfor(NOT _uiDigin(1)); stop = 1; waitfor(stop == 0); auto = 1;
  semi = manual = ajuste = 0;
  if(isCoRunning(&disp_6)){CoReset(&disp_6); waitfor(isCoDone(&disp_6));}
  CoBegin(&disp_6);
  Waitfor(_uiDigin(0));
  Waitfor(semi OR manual OR ajuste);
}

```

```

costate{
    waitfor(NOT _uiDigin(1)); stop = 1; waitfor(stop == 0); semi = 1;
    auto = manual = ajuste = 0;
    if(isCoRunning(&disp_6)){CoReset(&disp_6); waitfor(isCoDone(&disp_6));}
    CoBegin(&disp_6);
    Waitfor(_uiDigin(1));
    Waitfor(semi OR manual OR ajuste);
}
costate{
    waitfor(NOT _uiDigin(2)); stop = 1; waitfor(stop == 0); manual = 1;
    auto = 0; semi = 0; ajuste = 0;
    if(isCoRunning(&disp_6)){CoReset(&disp_6); waitfor(isCoDone(&disp_6));}
    CoBegin(&disp_6);
    Waitfor(_uiDigin(2)); CoReset(&error 1)
    Waitfor(auto OR semi);
}
costate{
    waitfor(NOT _uiDigin(14)); stop = 1; waitfor(stop == 0); ajuste = 1;
    auto = 0; semi = 0; manual = 0;
    if(isCoRunning(&disp_6)){CoReset(&disp_6); waitfor(isCoDone(&disp_6));}
    CoBegin(&disp_6);
    Waitfor(_uiDigin(14));
    Waitfor(auto OR semi OR manual);
}
costate error_1{
    stop = 1; waitfor(stop == 0); up_setout(11, 1);
    if(isCoRunning(&disp_6)){CoReset(&disp_6); waitfor(isCoDone(disp_6));}
    lk_printf("\x1Be"); lk_printf("REACCIONO\nproteccion molde\nSLS 3, SLS 5");
    if(DIGIN4){CoBegin(&error_10);} //molde no descompresiono
    up_setout(4, 1); _uiOut(2, 1); //SOL N, SOL CP
    if(MOLDE > sls[10][mlde]){goto 1o;}
    _uiOut(1, 1); //SOL FH
    waitfor(((sls[10][mlde] - 50) < MOLDE)); //alta antes de SLS 10
    1o: _uiOut(1, 0); //ajuste baja velocidad apertura
    waitfor(MOLDE > sls[2][mlde] //pare molde abierto o boton
    up_setout(4, 0); _uiOut(2, 0); _uiOut(1, 0); stop = 1; waitfor(stop == 0);
}
costate error_2{
    if(isCoRunning(&disp_6)){CoReset(&disp_6); waitfor(isCoDone(disp_6));}
    lk_printf("\x1Be"); lk_printf("MOLDE NO\nEN POSICION"); waitfor(manual == 1);
}
costate error_3{
    stop = 1; waitfor(stop == 0);
    if(isCoRunning(&disp_6)){CoReset(&disp_6); waitfor(isCoDone(disp_6));}
    lk_printf("\x1Be"); lk_printf("MOLDE NO\nALCANZO A CERRAR\nCOMPLETAMENTE");
}
costate error_4{
    stop = 1; waitfor(stop == 0);
}

```

```

    if(isCoRunning(&disp_6)){CoReset(&disp_6); waitfor(iscoDone(disp_6));}
    lk_printf("\x1Be"); lk_printf("REGILLA ABIERTA");
}

costate error_5{
    stop = 1; waitfor(stop == 0); up_setout(11, 1);
    if(isCoRunning(&disp_6)){CoReset(&disp_6); waitfor(iscoDone(disp_6));}
    lk_printf("\x1Be"); lk_printf(" VENCIO TIEMPO\nDE CICLO");
}
costate error_6{
    stop = 1; waitfor(stop == 0);
    if(isCoRunning(&disp_6)){CoReset(&disp_6); waitfor(iscoDone(disp_6));}
    lk_printf("\x1Be"); lk_printf(" VENCIO TIEMPO\nDE INYECCION");
}
costate error_7{
// if(isCoRunning(&entre_ciclos_time_out)){abort;}
    stop = 1; waitfor(stop == 0);
    if(isCoRunning(&disp_6)){CoReset(&disp_6); waitfor(iscoDone(disp_6));}
    lk_printf("\x1Be"); lk_printf("PUERTA ABIERTA");
}
// costate error_8{
    stop = 1; waitfor(stop == 0);
    if(isCoRunning(&disp_6)){CoReset(&disp_6); waitfor(iscoDone(disp_6));}
    lk_printf("\x1Be"); lk_printf("NO SE LOBRO\nALCANZAR VELOCIDAD\nBAJAR
PROGRAMACIÓN\nDE VELOCIDADES");
}
costate error_9{
    stop = 1; waitfor(stop == 0);
    if(isCoRunning(&disp_6)){CoReset(&disp_6); waitfor(iscoDone(disp_6));}
    lk_printf("\x1Be"); lk_printf("NO ES ACEPTABLE \nLATEMPERATURA");
}
costate error_10{
    stop = 1; waitfor(stop == 0);
    if(isCoRunning(&disp_6)){CoReset(&disp_6); waitfor(iscoDone(disp_6));}
    lk_printf("\x1Be"); lk_printf("NO DESCOMPRESIONO\nAPAGAR MAQUINA Y
ESPERAR\n5 MINUTOS");
}
costate( //boton paro
    waitfor(NOT _uiDigin(11)); //waitfor(DelayMs(150L)); if(NOT _uiDigin(11)){abort;}
    stop = 1; up_setout(11, 0); //filtre boton, y apague alarma
    //if((semi OR auto) AND NOT stop){
    //if(isCoRunning(&disp_6)){CoReset(&disp_6); waitfor(iscoDone(&disp_6));}
    //lk_printf("\x1Be"); lk_printf(" PRESIONADO\nBOTON PARO");}}
}
costate{
    waitfor(stop == 1);
    if(isCoRunning(cycle)){
        CoReset(&cycle); waitfor(isCoDone(&cycle));}
    up_setout(1, 0); up_setout(2, 0); up_setout(3, 0); up_setout(4, 0); up_setout(5, 0);
}

```



```

up_setout(6, 0); up_setout(7, 0); up_setout(8, 0); up_setout(9, 0); up_setout(10, 0);
up_setout(11, 0); up_setout(12, 0);
_uiOut(0, 0); _uiOut(1, 0); _uiOut(2, 0); _uiOut(3, 0); _uiOut(4, 0); _uiOut(5, 0);
_uiOut(4, 0);
write12data(RE1, R1|OFF); write12data(RE1, R2|OFF); write12data(RE1, R3|OFF);
write12data(RE1, R4|OFF); write12data(RE1, R5|OFF); write12data(RE1, R0|OFF);
stop = 0; molde = 0; iny = 0;
}
costate{
  waitfor((semi OR auto) AND DIGIN1 AND molde == 0);
  if(isCoRunning(&inicio)){abort;}
  CoBegin(&inicio);
}
}
cosatate inicio{
  if(MOLDE > sls[4][mlde]){
    CoReset(&cycle); waitfor(isCoDone(&cycle));}
  else{CoBegin(&error_2); waitfor(isCoDone(error_2));}
}
}
costate{
  waitfor(stop == 1);
  if(isCoRunning(&cycle)){
    CoReset(&cycle); waitfor(isCoDone(&cycle));}
  Waitfor(stop == 1); up_setout(1, 0); up_setout(2, 0); up_setout(3, 0); up_setout(4, 0);
  up_setout(5, 0); up_setout(6, 0); up_setout(7, 0); up_setout(8, 0); up_setout(9, 0);
  up_setout(10, 0); up_setout(11, 0); up_setout(12, 0);
  _uiOut(0, 0); _uiOut(1, 0); _uiOut(2, 0); write12data(RE1, R0|OFF); _uiOut(3, 0);
  _uiOut(4, 0); _uiOut(5, 0);
  write12data(RE1, R1|OFF); write12data(RE1, R2|OFF); write12data(RE1, R3|OFF);
  write12data(RE1, R4|OFF); write12data(RE1, R5|OFF); write12data(RE1, R0|OFF);
  stop = 0;
}
}
costate{
  waitfor(ajuste == 1 AND NOT DIGIN1 AND NOT _uiDigin(3) AND (MOLDE >
  sls[5][mlde])); //boton cierre y molde
  //ajuste baja velocidad de cierre
  up_setout(6, 1); //cierre molde en baja
  waitfor(_uiDigin(3) OR (MOLDE < sls[5][mlde])); //boton abra molde no abierto
  //abra en baja
  up_setout(4, 1); //pendiente usar SOL CP
  //ajuste baja velocidad de apertura
  //abra en alta
  waitfor(_uiDigin(4) OR (MOLDE > sls[2][mlde])); //pare molde abierto o boton
  up_setout(4, 0);
}
}
}
//AJUSTE Y MANUAL DIFIEREN EN LA PRESION
costate{
  if(tao_a[2][mlde] != 0){
    up_setout(3, 1); waitfor(NOT DIGAN 1 AND NOT uiDigin(3)); //meter cores antes

```

```

    up_setout(3, 0); //de moverse
  } //ajuste baja velocidad de cierre
up_setout(6, 1); _uiOut(2, 1); //cierre molde en baja
if(MOLDE < sls[4][mlde]){goto 10_1;}
_uiOut(1, 1);
waitfor(MOLDE < sls[4][mlde] OR _uiDigin(3)); _uiOut(1, 0);
10_1: waitfor(_uiDigin(3) OR (MOLDE < sls[5][mlde] OR DIGIN 1); //pare por molde
    up_setout(6, 0); _uiOut(2, 1); //cerrado o boton
  }

costate{
  waitfor(manual == 1 AND NOT _uiDigin(7) AND (GUSANO > sls[8][mlde]));
    //boton inyecte y con carga
  if(t_scre < r[2][mlde]){CoBegin(&error_9); waitfor(_uiDigin(7));}
    //no se ha alcanzado temp
  _uiOut(1, 1); //SOL FH
  waitfor((sls[10][mlde] < MOLDE) OR _uiDigin(4)); //alta antes de sls 10
  loo: _uiOut(1, 0); //ajuste baja velocidad apertura

  waitfor(_uiDigin(4) OR (MOLDE > sls[2][mlde])); //pare molde abierto o boton
  up_setout(4, 0); _uiOut(2, 0); _uiOut(1, 0)
}
costate{
  waitfor(manual = 1 AND NOT _uiDigin(8) AND (GUSANO > sls[9][mlde]));
    //boton atras tornillo
  // if(t_screw < r [2][mlde]){CoBegin(&error_9); waitfor(_uiDigin(7));}
  up_setout(7, 1); waitfor(DelayMs(500L)); up_setout(2, 1); _uiOut(0, 1);
    //retroceda tornillo
  waitfor(_uiDigin(8) OR (GUSANO > sls[9][mlde]));//pare por limite chupon o boton
  _uiOut(0, 0); up_setout(2, 0); waitfor(DelayMs(500L)); up_setout(7, 0);
}
costate{
  waitfor(manual == 1 AND NOT _uiDigin(9) AND (GUSANO < sls[7][mlde]));
    //boton cargue
  up_setout(10, 1); waitfor(DelayMs(500L)); _uiOut(0, 1);
  write12data(RE1, R0|ON); //GG1 (mini vel carga) & hi press
  if(press[2][mlde] == 12){ //GG! + GG2 + RR
    _uiOut(5, 1); write12data(RE1, R1|ON); write12data(RE1, R2|ON);}
  waitfor(_uiDigin(9) OR (GUSANO > sls[7][mlde]));//pare por fin de carga o boton
  _uiOut(0, 0); write12data(RE1, R0|OFF); write12data(RE1, R1|OFF);
  write12data(RE1, R2|OFF); _uiOut(5, 0);
}
costate{
  waitfor(manual == 1 AND NOT _uiDigin(15)); //cores afuera
  if(sls[2][mlde] > MOLDE){abort;}
}
// up_setout(3, 1); waitfor(DelayMs(tao_a[3][mlde])*100); up_setout(3, 0);
costate{
  waitfor(manual == 1 AND NOT _uiDigin(12)); up_setout(3, 1); //cores afuera
}

```

```

    waitfor(!_uiDigin(12) OR DelaySec(10L));
    up_setout(3, 0);
}
costate{
    waitfor(NOT _uiDigin(10) AND (MOLDE > air[2][mlde])); //aire funciona atras sls10
    write12data(RE1, R4|ON);
    waitfor(NOT _uiDigin(10) AND (MOLDE < air[2][mlde]));
    write12data(RE1, R4|OFF);
}
costate{
    waitfor(manual == 1 AND NOT _uiDigin(5)); //expulsor afuera
    if(sls[2][mlde] > MOLDE){abort;}
    _uiOut(4, 1);
    waitfor(!_uiDigin(5) OR (DIE > sls[12][mlde]));
    _uiOut(4, 0); waitfor(DelayMs(150L)); up_setout(9, 1);
    waitfor((DIE < 220) OR DelaySec(10L)); up_setout(9, 0);
}
costate{
    waitfor(molde == 0);
    t_oil = (T_ACEITE - 188) * .222; t_int_oil = t_oil;
    t_screw = ((T_CANON -188) * .665); t_int_screw = t_screw;
    //t_int_screw = 300 ;
    waitfor((molde == 1) OR (DelaySec(10L))) ;
}
costate{
    waitfor(MOLDE < (sls[5][mlde] - 5));
    write12data(RE2, R0|ON);
    break;
}
}
}
}
}

```

4.1.8. Instalación

La instalación se hace cuando se tienen todos los dispositivos del autómatas como diagramas eléctricos e hidráulicos, etc., materiales, panel de control, etc., y sobre todo tiempo. Se programa para poder trabajar la MMI, recordando que se tiene que ser el menor tiempo posible, para no afectar en la producción de la empresa. El procedimiento está descrito en la sección 3.3.

El control antiguo tiene que ser removido, dejando limpia toda de área de nueva instalación.

Se debe reconocer la ubicación de las válvulas, los micro *switches*, y sensores de posición. Las válvulas deben reconocerse haciendo pruebas manualmente una por una. Los micro *switches* deben asegurarse adecuadamente ya que estarán en constante movimiento a cada ciclo de trabajo como todo lo demás. Con los potenciómetros necesitamos que estén asegurados, que funcionen bien, y que con los movimientos de la máquina no sufran daños, pues éstos son los que estarán más propensos a deteriorarse. Con esto ya podemos cablear las válvulas y micro *switches* y sensores de posición, hasta el nuevo control, con su respectiva identificación según diagramas eléctricos.

Se instala el panel de control, empotrado en la platina fija. Esto con el objetivo que el operador de la máquina tenga cerca los comandos de la máquina y poderla maniobrar con facilidad. Todos los cables de arranque de motor, control de electro válvulas, potenciómetros y micro *switches* vienen para el panel de control.

El control de las temperaturas, y el encendido del motor quedarán controlados independientemente, tal como se usaba con el control antiguo. Las temperaturas usan un pirómetro que controla la temperatura de las zonas a través de termo coplas tipo J haciendo energizar un contactor que alimenta las resistencias. Las resistencias son de tipo media luna y abrazan el tambor. Cada zona está formada por tres resistencias, asegurándonos así la temperatura de derretido. El motor usa un encendido estrella delta, con un relé térmico y un interruptor magnético principal.

4.1.9 Mecanismo para poner a funcionar el nuevo sistema de control

En general, para la puesta en servicio de la instalación es necesario atenerse escrupulosamente a las normas preventivas sobre accidentes, dictadas por los organismos de seguridad e higiene en el trabajo, teniendo además muy presentes los consejos de seguridad personal que a continuación se redactan.

- a) No efectuar maniobras en circuitos que no estén bajo control.
- b) No manipular en un circuito si está bajo tensión.
- c) Toda instalación sobre la que se trabaja debe ser correctamente señalizada, a lo que se suman los cerrojos de seguridad establecidos por las normas de seguridad.
- d) Para hacer las verificaciones, utilizar herramientas, aparatos e instrumentos bien aislados y en perfecto estado.

- e) No manipular manualmente los relés o contactos bajo tensión. Todo accionamiento debe hacerse siempre por medio de sus propios órganos de la máquina y la instalación eléctrica.

Por otra parte, en líneas generales, las operaciones a realizar son:

- a) Sin tensión. Accionar los relés, contactores y otros aparatos con movimiento probándolos a mano para verificar que los movimientos están libres de impedimentos y la presión de contacto es adecuado.
- b) Comprobar que las regulaciones de los relés de protección y los fusibles corresponden a las intensidades de los motores a proteger.
- c) Comprobar que las secciones de los conductores corresponden exactamente a las normalizadas y calculadas para las potencias de los motores u otros aparatos para alimentar.
- d) Verificar el aislamiento de los conductores y otras partes de la instalación como los chasis y armarios.
- e) Verificar que el color y el marcado de todos los conductores es correcto.
- f) Verificar entradas y salidas así como las conexiones a bornes.
- g) Comprobar que las chimeneas para chispas están en posición de trabajo antes de puesta en servicio.
- h) Verificar el estado general de la instalación presentación, acabado cableado, conducción sobre tubos y canaletas etc.
- i) Anotar todo defecto encontrado para su rectificación posterior. Lo mismo se hará en lo que afecta el esquema.

Luego de cumplir con estas normas, se energiza por primera vez la MMI. Verificamos los voltajes en el motor, entrada del autómeta, alimentación, micro *switch*, potenciómetros, etc, y en las tarjetas de expansión si las tuviera. Al tener todos los voltajes y señales en buena condición, hacemos movimientos en modo manual, cerrar molde, abrir molde, inyección, carga del tornillo, etc. Esto debe hacerse con mucho cuidado ya que no sabemos con exactitud como van a reaccionar los mandos del autómeta.

Al estar seguros que el autómeta acciona las válvulas y con ello hay movimientos, hacemos un ciclo en semi automático, y vemos el funcionamiento.

4.1.10. Graduación de algunos dispositivos

En la prueba de funcionamiento de autómetas siempre es necesaria la graduación de los dispositivos sin excepción, sensores, potenciómetros, etc., para darle el toque final deben estar encendidos y para ello tenemos que terminar el trabajo de instalación y programación. En las MMI sugerimos el siguiente procedimiento.

Abrimos y cerramos en molde para verificar el funcionamiento. Se debe medir el potenciómetro del molde y debe concordar físicamente. Cuando se encuentra cerrado el molde debe medir 0 volt. Y cuando está totalmente abierto debe leer la posición máxima programada, en este se medirá 10 volt. Se debe hacer pruebas para verificar que las protecciones y cambios de presiones de molde reaccionan como lo programado.

Seguimos con la cámara de inyección. Con el cañón a temperatura de trabajo, inyectamos y cargamos material, con el fin de ver reaccionar las

diferentes presiones. Al igual que el molde, cuando el tornillo de inyección se encuentra hacia delante en posición de inyección completa, debe medir 0 volt, y cuando está a carga completa debe marcar 10 volt.

El expulsor tiene la misma graduación, con la diferencia tiene únicamente dos movimientos, hacia delante y hacia atrás, graduando la salida dependiendo al botador del molde a utilizar. Si tuviéramos algunos valores fuera de lo normal se deben graduar desde la computadora portátil o físicamente. Después de lograr la graduación correcta de los dispositivos de control, y tener buen funcionamiento del autómeta, podemos hacer trabajar la MMI y producir.

4.1.11. Controlar el funcionamiento

Cuando la máquina ya está produciendo partes, es recomendable tenerla en observación. La primera semana es seguro que nos dará problemas, los cuales deben solucionarse en el menor tiempo posible y seguir produciendo. Se debe tener comunicación con los empresarios. Se recomienda una visita los quince días y luego a un mes después, para conocer la respuesta del autómeta, y saber si necesita alguna modificación con el cambio de moldes.

Si el programador conoce a cabalidad el proceso de las MMI y su nuevo control, no tendrá ningún atraso en la producción y verá buenos resultados.

CONCLUSIONES

1. En el mercado guatemalteco la industria plástica tiene gran aceptación debido a su bajo costo.
2. El éxito de las industrias plásticas depende del uso eficiente de sus máquinas por moldeo por inyección ya que constituyen un equipo destinado a la producción en serie.
3. De la necesidad de la automatización de una MMI hace al ingeniero de proyectos conocer con detalles desde el ciclo de trabajo de los polímeros así como a la misma máquina del proceso; y sin dejar atrás la herramienta principal que será el PLC con todos sus periféricos.
4. Con la automatización se logra agilizar procesos, aumenta la eficiencia y confianza de continuidad de servicio, facilidad de manejo y mantenimiento y bajan los costos de operación.

RECOMENDACIONES

1. Después de la automatización debe hacerse un programa de visitas para la supervisión del funcionamiento del autómeta.
2. Las máquinas de moldeo por inyección, al estar produciendo, trabajan en forma automática, por lo tanto, es importante que cada sensor sea elegido adecuadamente y que esté en perfectas condiciones de funcionamiento.
3. Los sensores y actuadores deben revisarse periódicamente y verificar las calibraciones y funcionamiento de éstos, dado que de ello dependerá la respuesta de la producción.
4. Es necesario el adiestramiento del ingeniero de producción para manejar el nuevo control de la MMI, de eso dependerán los buenos resultados en la producción.

BIBLIOGRAFÍA

1. Engel. **Hidraulic manual.** sl. s.e. s.a.
2. Carnicer Royo, Enrique, y Mainar Hasta, Concepción. **Oleohidráulica.** España. Editorial Paraninfo. 1998.
3. Naranjo C., Alberto y otros. **Injection holding processing data.** Primera edición. Estados Unidos. Hanser Gardner Publications, Inc., Cincinnati. 2003.
4. Richarson & Lokensgard. **Industria del plástico.** Primera edición en español. España. Editorial Paraninfo. 2000.
5. Roldán Vitoria, José. **Automatismos y cuadros eléctricos.** Primera edición. España. Editorial Paraninfo, 1998.
6. Siemens. **Manual del sistema de automatización S7-200.** sl. s.e. 1998.
7. Zworld. **Innovation in control technology.** sl. s.e. s.a.