



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
ARAGÓN**

**AUTOMATIZACIÓN DE UNA
MAQUINA EXTRUSORA DE PLASTICO
CON SISTEMA DE MOLDEO
POR SOPLADO**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

P R E S E N T A :

BENJAMÍN FLORES CÁRCAMO

DIRECTOR ING. SERGIO GALICIA RANGEL

MÉXICO D. F.,

2007



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

Autorizo a la Dirección General de Bibliotecas de la UNAM a difundir en formato electrónico e impreso el contenido de mi trabajo recepcional.

NOMBRE: Benjamin Flores Carcamo

FECHA: 08-nov-07

FIRMA: Benjamin Flores Carcamo

AGRADECIMIENTOS:

A ti Mamá porque por tu naturaleza de ser buena mujer y buena madre sabes dirigir a tu familia por el camino más correcto aún en los momentos más difíciles. Tu espíritu trabajador y tus sueños interminables son antídoto de inspiración para quien te conoce. Tu inteligencia y tu forma de pensar muy abierta permiten que puedas dar los mejores consejos y se pueda hablar contigo de lo que sea, siempre dispuesta a escuchar anteponiendo el respeto y la tolerancia. Por todo lo que me has dado y enseñado muchas, muchas gracias.

A mi Padre por su devoción como “Padre de familia”, dando todo de él, procurando que nunca faltara lo indispensable en casa, siempre cumpliendo a sus deberes pese a cualquier incidente. Por su figura paterna como ejemplo a seguir. Por la admiración que un hijo siente por su padre. Por los regaños y consejos que me da. Por su compañía y su presencia y además pese a todas las circunstancias es definitivamente cimiento principal de la familia. Gracias Padre mío.

A mi esposa Erika que me ha dado un apoyo tan incondicional que pudiera ser increíble, siempre ha creído en mí, me ha tenido confianza y tenemos esperanzas uno del otro para continuar por siempre. Tus ideas y tu forma de ser han participado en demasía para ser lo que ahora estoy logrando y a futuro seré. Gracias por tu gran corazón y gran bondad. Gracias por hacerme padre de mis dos grandes amores, Mauri y Barbi, ellos han sido un enorme estímulo para seguir adelante y mejorando y creciendo en todo. Gracias por todo, gracias.

A mi familia por esas reuniones que parecen nunca acabar, por esas pláticas tan divertidas que nos matan de risa, por esas diferencias que nos hacen pelear, por esa unión tan fuerte tanto en los buenos y malos momentos, ojalá siempre nos mantengamos como un núcleo indestructible en donde los decesos queden con bonitos recuerdos en memoria de todos y las nuevas llegadas hagan crecer y enriquecer la familia. Gracias a todos y cada uno de ustedes ya que el convivir juntos han formado parte de mi pensamiento y forma de ser. Muchas gracias.

A todos mis profesores, desde la maestra de preescolar de la cual recuerdo me enamoré, hasta mi asesor de tesis les doy las gracias ya que con sus conocimientos y sus comentarios positivos o negativos fueron enseñanzas las cuales se fusionaron para que me formaran como el profesionista que ahora soy. Muchos de ellos especialmente profesores de la carrera además de transmitir el conocimiento dan esas pláticas personales que generaron en mí la chispa de empezar a aprender y pensar como ingeniero. En verdad les estoy muy agradecido.

A la naturaleza, a la vida a las circunstancias que han estado presentes en toda mi vida. El haber sido el tercero de los hijos, estar en esta época, colocarme en este espacio, darme esta posición social, por los amigos que tuve y que tengo, por lo que sé, por lo que estudié, por lo que experimenté, por todo muchas gracias.

INDICE

I	INTRODUCCIÓN	2		
II	GENERALIDADES	3		
III	AUTOMATIZACIÓN	42		
	III.1	Introducción al Control Automático	42	
	III.2	Fundamentos de Control automático	46	
	III.3	Procesos	53	
		III.3.1	Características Estáticas y Dinámicas	53
		III.3.2	Tipos de Procesos Industriales.	55
		III.3.3	Respuesta en los Procesos Industriales	60
	III.4	Características de los controladores	65	
	III.5	Estructura de los Sistemas de Control	74	
IV	DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO	77		
	IV.1	Descripción del Proceso	80	
	IV.2	Variable de referencia para la sincronización del sistema	96	
	IV.3	Partes del Equipo	98	
V	DISEÑO DEL SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN	112		
	V.1	Objetivo de la automatización y control de la máquina	112	
	V.2	Pasos del Proceso	112	
	V.3	Partes que se deben automatizar y controlar	120	
	V.4	Dispositivos para automatizar y controlar (hardware)	130	
	V.5	Programa (software)	147	
	CONCLUSIONES	153		
	BIBLIOGRAFÍA	154		

AUTOMATIZACIÓN DE UNA MAQUINA EXTRUSORA DE PLASTICO CON SISTEMA DE MOLDEO POR SOPLADO

Objetivo: Diseñar un sistema de automatización para una maquina extrusora de plástico que tiene sistema de moldeo por soplado.

Justificación: La maquina que se tiene en consideración está hecha en un taller mecánico pequeño y por lo tanto se podría decir que es de fabricación casera. El motivo de esta fabricación fue obtener un equipo que no tuviera los altos costos que tienen los equipos de línea y que principalmente son de importación. Este equipo cuenta con los elementos mecánicos fundamentales para que pueda trabajar, pero sin embargo, no cuenta con un sistema automatizado que pueda sustituir o minimizar las funciones del operador tanto en ejecución de tareas así como en corrección de variables para una mayor optimización. En un inicio no se implementa la automatización y control por falta de capacidad técnica del fabricante y por otro lado por el alto costo de los servicios de algún despacho de ingeniería. Esto es común en la industria mexicana por el atraso que hay en tecnología, por lo tanto debemos hacer el esfuerzo para poder actualizarnos.

I. INTRODUCCIÓN

Este trabajo trata sobre la implementación de un sistema de automatización a una máquina que procesa plástico. El interés de realizar este trabajo es adentrarme en el área de automatización y control ya que por experiencia propia he percibido la gran necesidad en la industria respecto a estos conocimientos dado por el avance tecnológico en los equipos en general. Yo que me he desarrollado en el área de mantenimiento industrial he visto que la mayoría de los equipos aparte de sus elementos mecánicos también tienen su funcionamiento comandado por PLC's, sensores, controladores de velocidades, controladores de posiciones, comunicaciones con otros sistemas, instrumentación, etc., por lo tanto un Ingeniero, para dar soluciones en mantenimiento también debe saber de estos temas.

El desarrollo de la capitulación lo desarrolle de manera secuencial respecto al desarrollo de la implementación de automatización, de tal manera, en el capítulo II Generalidades, hago una referencia de los temas relacionados con el diseño en cuestión, ésta es información teórica básica para la comprensión principalmente de los dispositivos utilizados en la implementación.

En el capítulo III Automatización son temas de investigación necesarios para el desarrollo y entendimiento de la automatización y control que se utilizaron para este trabajo. Se le dedicó un capítulo por ser el tema central de conocimiento.

El capítulo IV Descripción del Proceso explica en detalle el instrumento utilizado (extrusora) tanto físicamente como por ejemplo: forma, materiales, elementos mecánicos, elementos externos etc. así como su funcionamiento: quién la opera, secuencia del proceso, tipo de energía utilizada, etc. ya que esto es necesario saber para formar el diseño de automatización.

En el último capítulo V Diseño del Sistema de Automatización se desarrolla el tema central de la tesis. Aquí se aplica los conocimientos investigados con anterioridad para la construcción de la automatización desde la conceptualización de las necesidades, definición del proceso específico para la automatización, delimitación del diseño, selección de dispositivos y desarrollo del control.

II GENERALIDADES

Teoría de los Semiconductores

Los dispositivos de estado sólido como los diodos de juntura y los transistores se fabrican de materiales semiconductores. Estos materiales tienen propiedades eléctricas que se localizan entre las de los aislantes. Los principales semiconductores utilizados son el germanio y el silicio, que adquieren la forma cristalina al encontrarse puros; es decir, sus átomos se encuentran dispuestos en forma uniforme siguiendo un patrón periódico.

En la figura 2.1 se muestran los modelos atómicos del germanio y del silicio. Los núcleos de éstos átomos tienen 32 y 14 unidades de carga positiva respectivamente llamadas protones, mientras que alrededor del núcleo orbita un número idéntico de unidades de carga negativa, llamadas electrones. Esta igualdad en las cargas es la razón por la cual el átomo tiene una carga total que es efectivamente neutra.

Los electrones de valencia son aquellos situados en la órbita externa por lo cual también pueden liberarse más fácilmente del átomo. Los electrones de las orbitas internas pueden agruparse con el núcleo en un centro llamado KERNEL y entonces este puede considerarse como un núcleo modificado. Los electrones de la banda de valencia, o de la banda externa, determinan las propiedades cristalinas y químicas de los elementos.

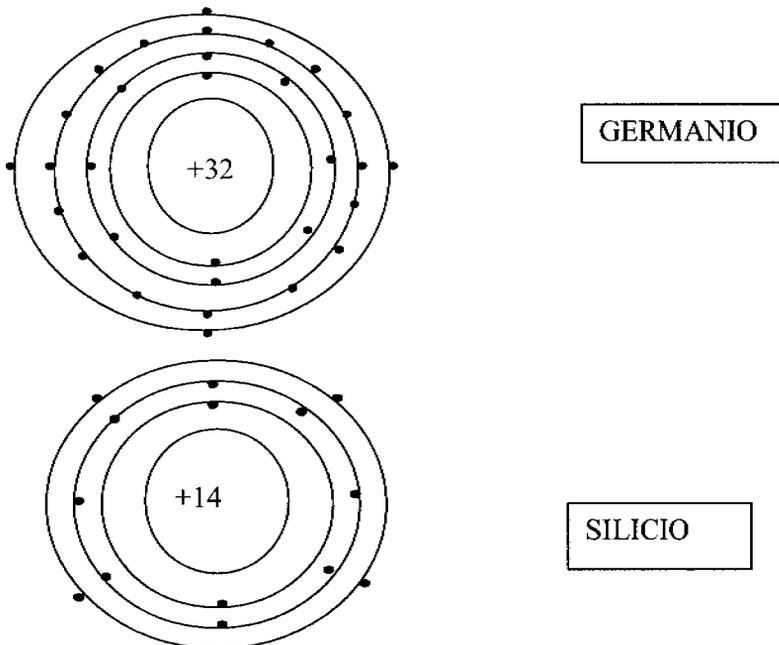


Figura 2.1

La figura 2.2 representa la vista simplificada de un cuerpo puro semiconductor tal como el germanio o el silicio. Cada átomo tiene 4 electrones externos, representados por pequeños signos negativos. Los electrones internos ligados al núcleo y el mismo núcleo se representan por un círculo negro. A causa de la estructura cristalina, los núcleos están alineados en disposición simétrica y cada electrón externo comparte la orbita con otro electrón externo de un átomo vecino. Es esta disposición de órbitas compartidas que mantienen eficazmente cada electrón en su lugar y no algún fuerte encadenamiento extraño entre el electrón y su núcleo.

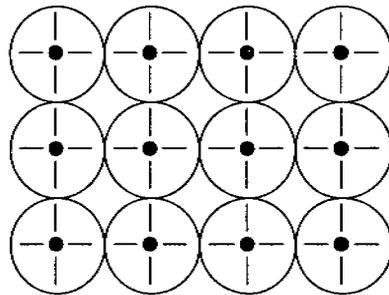


Figura 2.2 Estructura cristalina de un material semiconductor

Para que una tensión aplicada diera lugar a un flujo de electrones, debería ser suficientemente alta para romper la ligadura de los electrones antes de que dichos electrones quedaran libres para moverse a la terminal positiva de tensión. Al romper la ligadura, la tensión destruiría también la estructura cristalina.

Como no puede circular corriente a través de un cuerpo cristalino puro tal como el descrito, aquel cuerpo debe modificarse para obtener una circulación de corriente que se pueda gobernar.

Un método para obtener circulación de corriente es añadir una pequeña cantidad de átomos que tenga cinco electrones externos. Los átomos adecuados para este fin, son los del fósforo, antimonio y más frecuentemente el arsénico. Estos átomos son distribuidos a través del cuerpo básico (silicio o germanio purificados). La diferencia importante estriba en que el electrón externo adicional de cada átomo de la impureza queda sin encadenarse con la estructura cristalina. Si se conecta una tensión continua entre los extremos de un trozo semejante de material, los electrones no encadenados quedan libres para circular a través de la estructura cristalina hacia el borne positivo. El número total de electrones no encadenados en el cristal permanece siempre el mismo, cada electrón que abandona el cristal en el terminal positivo es remplazado por otro que entra por el terminal negativo. En consecuencia, se produce una circulación constante de corriente.

Como la circulación de corriente en este material se debe a un exceso de partículas (electrones) negativas, se conoce a tal material como semiconductor por exceso o del tipo N

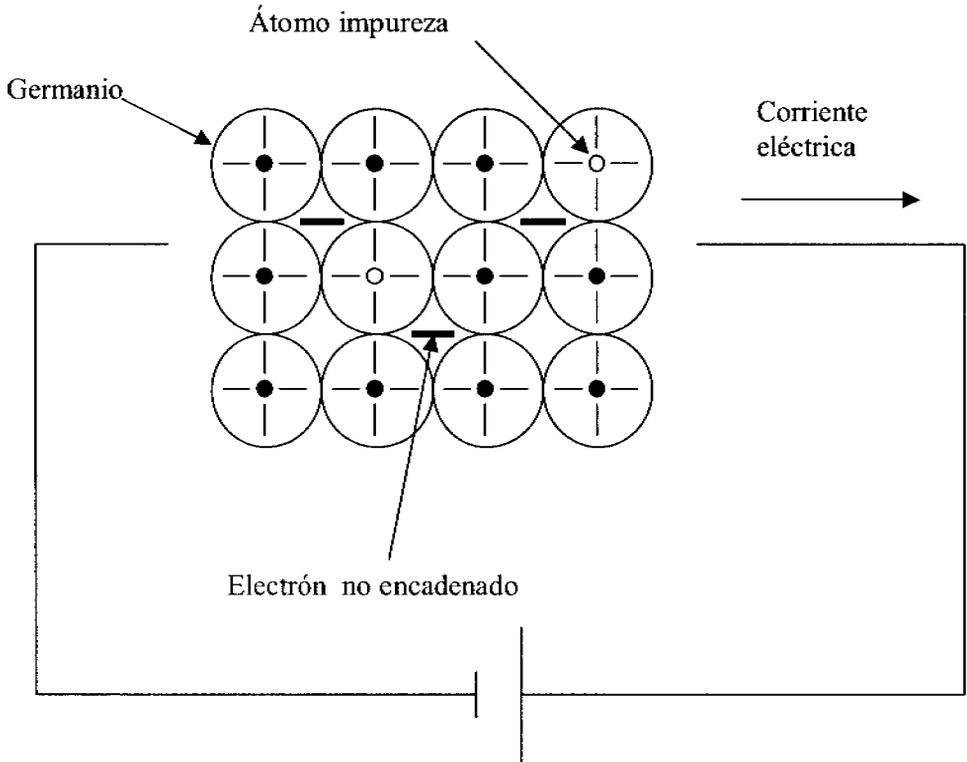


Figura 2.3 Semiconductor tipo N

Existe otro método de modificar el cuerpo básico cristalino para obtener flujo de corriente que se pueda gobernar. Durante el tratamiento del cuerpo básico, los átomos de la impureza, tales como los de aluminio, boro o indio, se añaden unas pequeñas cantidades. Estos átomos que forman la impureza tienen solamente tres electrones externos y se introducen en la estructura cristalina como se muestra en la figura 2.4

La comparación de esta figura con el correspondiente al cuerpo básico puro, muestra que la estructura modificada le falta un electrón por cada átomo de impureza. El espacio que deja en la estructura del electrón que falta, se denomina poro o hueco. Se refiere al espacio existente entre las moléculas de los cuerpos. El hueco no necesariamente debe estar en la vecindad inmediata del átomo de impureza. Durante el tratamiento, el átomo de impureza atrae un electrón externo próximo para llenar el espacio de la estructura cristalina que le rodea y el hueco se mueve hacia algún lugar. Una serie de electrones externos pueden abandonar sus núcleos para llenar el espacio y el hueco puede viajar una distancia considerable antes de alcanzar una posición de equilibrio.

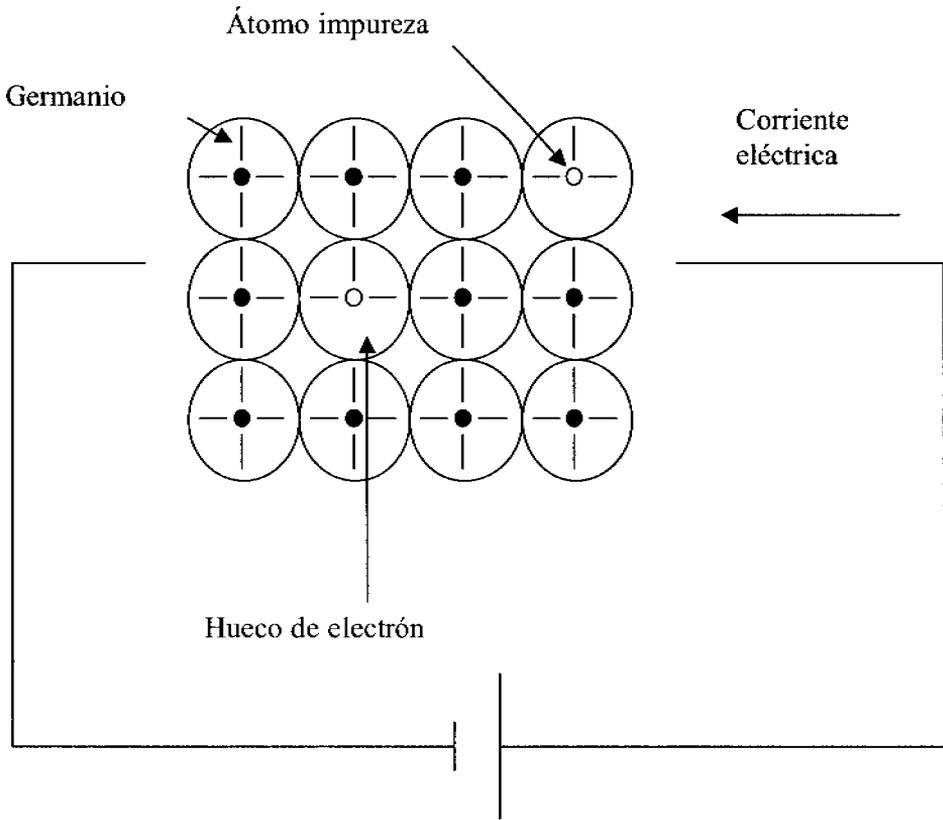


Figura 2.4 Semiconductor tipo P

Aplicando una tensión de corriente continua a través de los extremos de un trozo de este material, el hueco tiene la característica de una carga positiva y circula hacia el terminal negativo de la fuente de tensión. El número total de huecos en el cristal se mantiene igual. Cada hueco que alcanza el extremo negativo del cristal es neutralizado por un electrón que abandona el terminal positivo y entra en el cristal. Esto da al cristal un exceso de carga negativa. El cristal vuelve a ganar una carga neutra cuando descarga un electrón al terminal de tensión positiva y crea otro hueco. El nuevo hueco circula hacia el terminal negativo dando como resultado una continúa circulación de huecos a través del cristal y un flujo continuo de electrones a través de los conductores.

Como la circulación de corriente en este cuerpo se debe a faltas (huecos) en la estructura cristalina y estas faltas simulan cargas positivas, el material es conocido como semiconductor por defecto o tipo P

Diodo de juntura pn

Si un material de tipo P y otro de tipo N se juntan mecánicamente para formar un único cristal y los materiales, por tanto, constituyen una juntura en la cual se conserva la continuidad cristalina, entonces esa juntura se llama juntura P-N, o diodo de juntura.

Como por razones naturales un material de tipo P y otro de tipo N están en distintos niveles de carga por razones naturales de impureza, entonces al juntarse logran un equilibrio mutuo para el cual ocurre un intercambio de energía. Para ese equilibrio ocurre que tanto electrones como huecos fluyen a través de la juntura P-N, en un proceso fundamental llamado difusión, es decir, la dispersión de portadores de carga desde las regiones de alta concentración hacia las de baja concentración, teniendo a la postre una distribución uniforme. Debido a la difusión, los huecos migran desde el material tipo P hacia el tipo N, mientras que los electrones se mueven en dirección contraria.

La figura 2.5 Muestra una juntura PN. Durante la difusión, las áreas excitadas o ionizadas a cualquier lado de la juntura llegan a quedar relativamente vacías de portadores de carga debido a la aniquilación por recombinación de electrones y huecos. Estas áreas se denominan conjuntamente la zona de transición o área vacía de portadores de carga

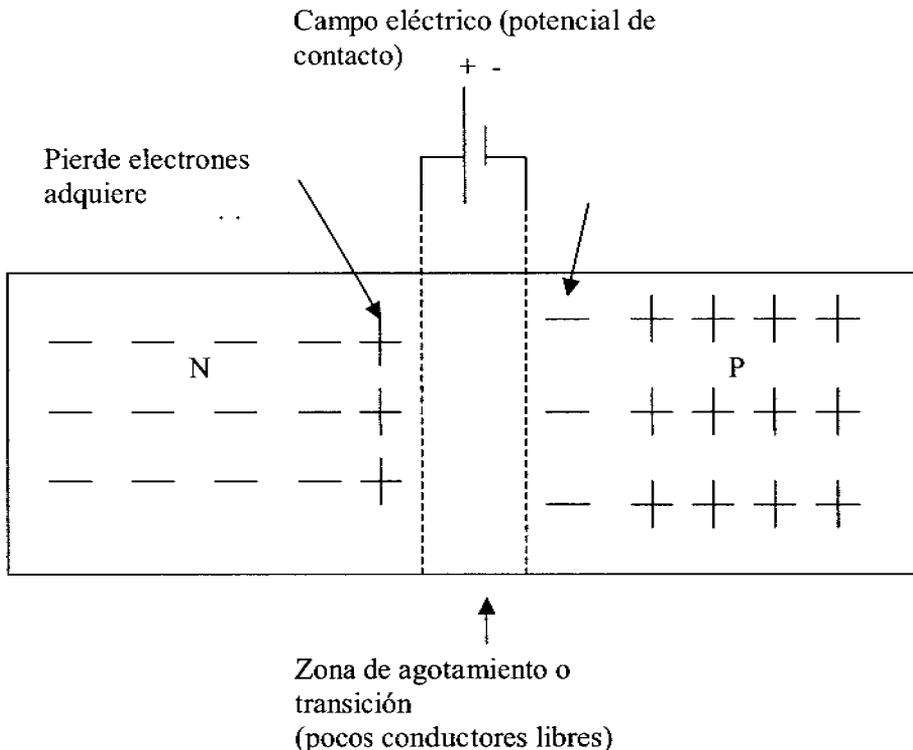


Figura 2.5

Autómatas Programables

La mayoría de los procesos existentes en la industria pertenecen al tipo de procesos discontinuos o procesos discretos y para su control pueden emplearse sistemas comerciales basados en microprocesador. Los más usados son los autómatas programables, el esquema básico de un autómatas programable está representado en la figura 2.6.

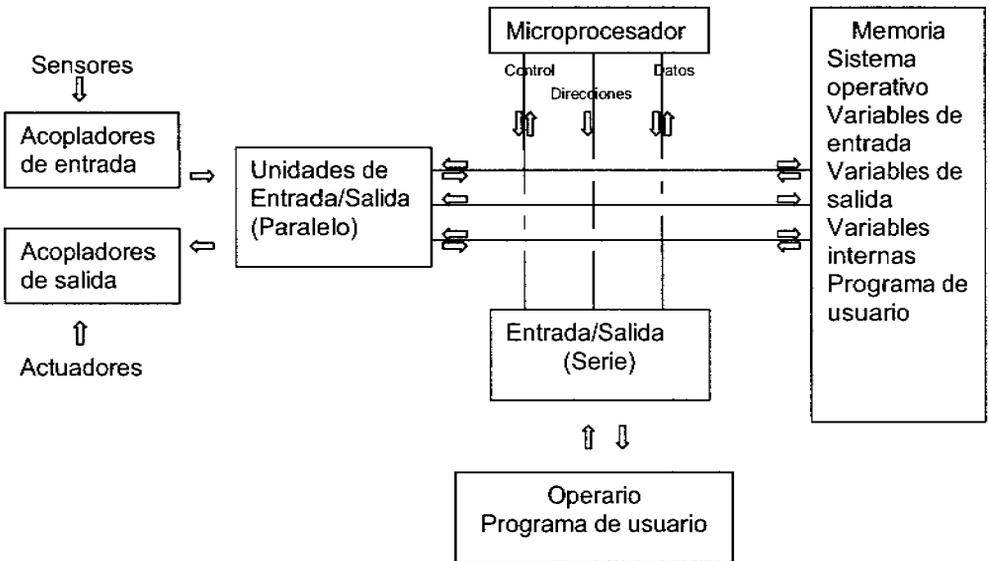


Figura 2.6

Un autómatas programable es un equipo electrónico basado en un microprocesador o microcontrolador, que tiene generalmente una configuración modular, puede programarse en lenguaje no informático y está diseñado para controlar en tiempo real y en ambiente industrial procesos que presentan una evolución secuencial.

El sistema formado por el proceso y el autómatas que se encarga de controlarlo está representado en la figura 2.7

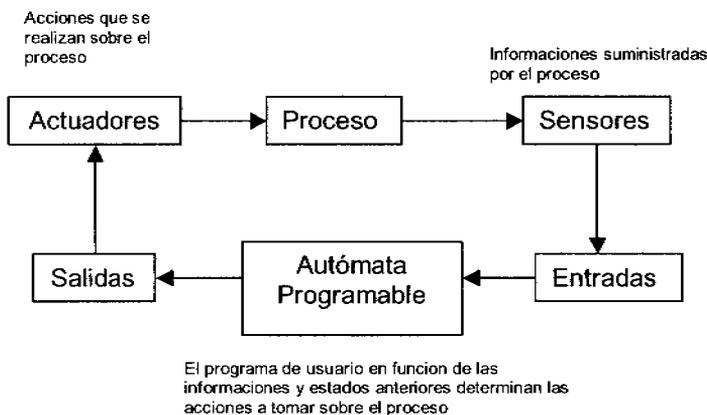


Figura 2.7

El programa de usuario recibe las informaciones del proceso y de los estados anteriores; de acuerdo con el algoritmo que tiene implementado las procesa y determina las acciones que el autómata ha de tomar sobre aquel. Las señales que reciben los actuadores se denominan variables externas de salida, las señales que suministran los sensores reciben el nombre de variables externas de entrada.

Variables en los Autómatas Programables

Variables externas

Las variables externas de entrada pueden ser de dos tipos:

- Variables todo/nada como por ejemplo la señal recibida de un final de carrera o la señal que activa un regulador electroneumático para desplazar un cilindro. Los autómatas programables trabajan con lógica positiva, así por ejemplo, la señal procedente de un pulsador será tomada como "1" cuando el pulsador esté pulsado. Los módulos de entrada/salida todo/nada permiten trabajar con señales de tensión alterna o continua en las gamas existentes en la industria siendo las más comunes 220V ca y 24 V cc.
- Variables analógicas, como por ejemplo la señal proporcionada por un pirómetro o la tensión de consigna que se suministra a un variador de velocidad. Las señales de este tipo con las que trabaja un autómata programable son, tensión 0-10 V o intensidad 4-20 mA. Los

módulos de entrada/salidas discretizan estas señales empleando generalmente convertidores de 8 bits.

VARIABLES INTERNAS

A las variables externas comentadas anteriormente hay que añadir las variables internas, que al igual que las variables externas tienen asignada su propia zona de memoria que puede ser direccionada en función del dato almacenado bit a bit o como byte.

Estas posiciones de memoria son utilizadas por el autómata para almacenar resultados parciales de operaciones lógicas o aritméticas que se producen en el programa del usuario.

Dentro de la zona de memoria de variables internas existe una serie de posiciones todo/nada que puede ser utilizada por el programa de usuario y que le informa del estado en que se encuentra el autómata o le proporcionan señales de reloj que pueden emplearse como base de tiempos para determinadas instrucciones del programa. Todos los autómatas tienen por lo menos las siguientes variables internas especiales.

- Impulso inicial al pasar al modo RUN.
- Señal que indica que la unidad de control está activa.
- Señal de reloj de 1 segundo.
- Señal de reloj de 0.1 segundo.

Las zonas de memoria asignadas a las variables internas y externas son del tipo escritura/lectura. Los datos almacenados en las tres zonas pueden ser procesados tantas veces como sea necesario por el programa de usuario.

Sensores y Actuadores Conectados a un Autómata Programable

Cualquier sensor que presente dos estados, conectado-desconectado, puede controlar una entrada todo/nada de un autómata independientemente de cómo sea actuado este sensor; así podemos encontrar: interruptores y pulsadores accionados de forma mecánica o manual; contactos auxiliares de contactores activados por la bobina del contactor; contactos auxiliares de relés térmicos; relés tipo reed, colocados sobre las camisas de los cilindros neumáticos y activados por el émbolo magnético del cilindro; finales de carrera activados por el desplazamiento de piezas móviles, etc.

En la industria también se utilizan otros tipos de sensores o detectores representados en la figura 2.8. Estos sensores a su vez tienen dos tipos de salidas normalizadas: PNP o NPN. La forma de conectarlos a los módulos de entradas todo/nada se indica en la figura 2.9; obsérvese que la conexión de un detector del tipo NPN requiere un módulo de entrada con el positivo de alimentación conectado a masa.

Detectores de tres hilos

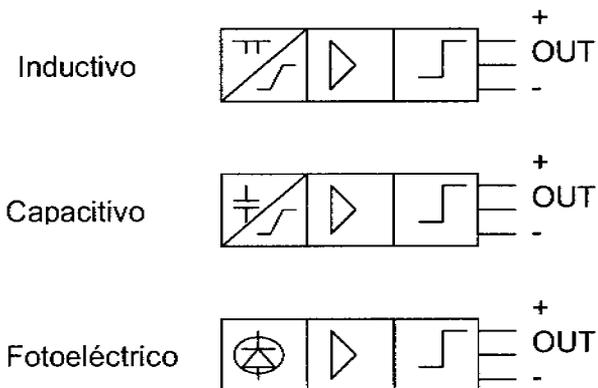
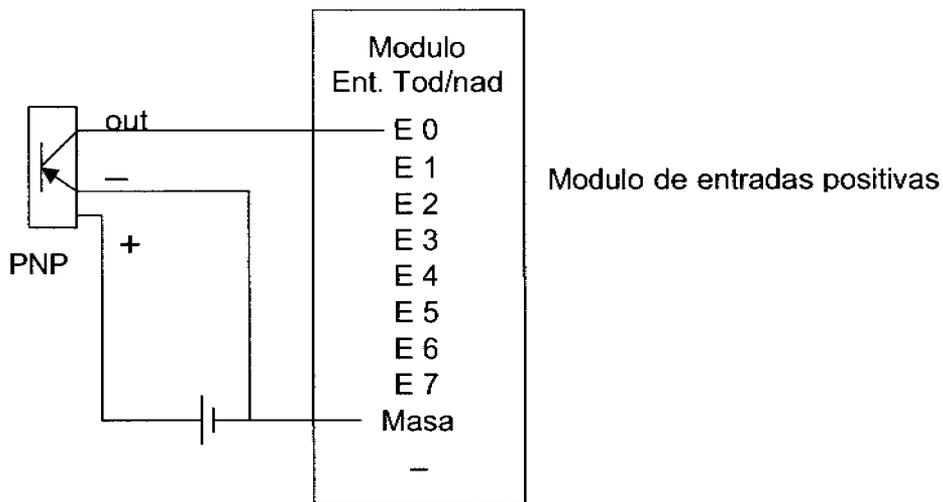


Figura 2.8



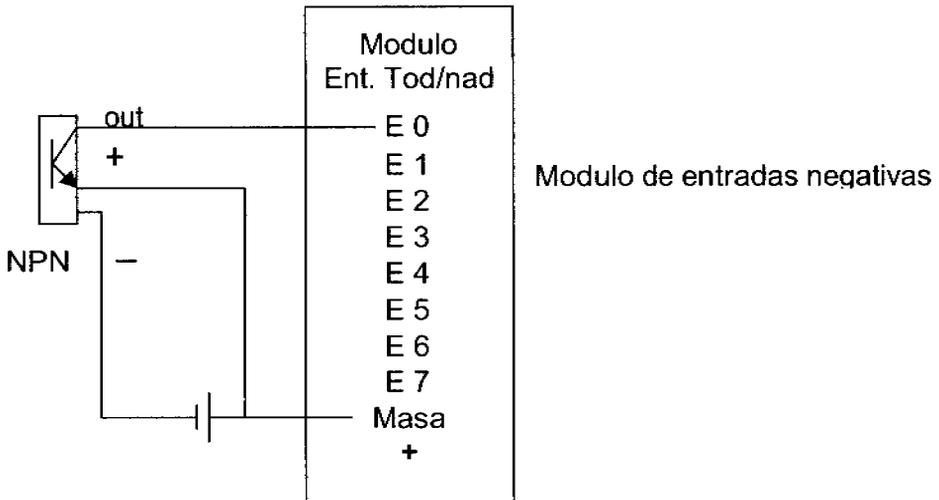


Figura 2.9

Las salidas todo/nada del autómatas se comportan como interruptores que controlan la activación/desactivación de los actuadores a ellas conectados, como por ejemplo, un contactor que controla a un motor de ca o la bobina que controla el regulador de un cilindro neumático. El dispositivo que actúa como interruptor puede ser:

- Un contacto libre de potencial, cuando se emplean salidas a relé, figura 2.10. en este tipo de salidas la tensión empleada para alimentar al actuador puede ser alterna o continua y la potencia a controlar estará limitada por la intensidad de paso que soporte el contacto libre de potencial.
- Un transistor, como se muestra en la figura 2.11. la tensión empleada para alimentar al actuador tendrá que ser continua, la potencia a controlar vendrá dada por la potencia máxima que pueda disipar el transistor.
- Un triac como se muestra en la figura 2.12. La tensión empleada para alimentar el triac ha de ser alterna. La potencia a controlar viene dada por la máxima potencia que puede disipar el triac.

Dependiendo del fabricante del autómatas, podemos encontrar para las salidas todo/nada la disposición indicada en las figuras 2.10, 2.11, 2.12, o bien, salidas, donde no existe un terminal común para todos los dispositivos que actúan como interruptores, disponiendo cada uno de ellos de dos salidas independientes, entre los que se conectarán en serie la tensión de alimentación y el actuador. Esta última disposición permite que cada uno de los dispositivos pueda estar controlado por una tensión independiente.

Modulo de salidas
Todo/nada a relé

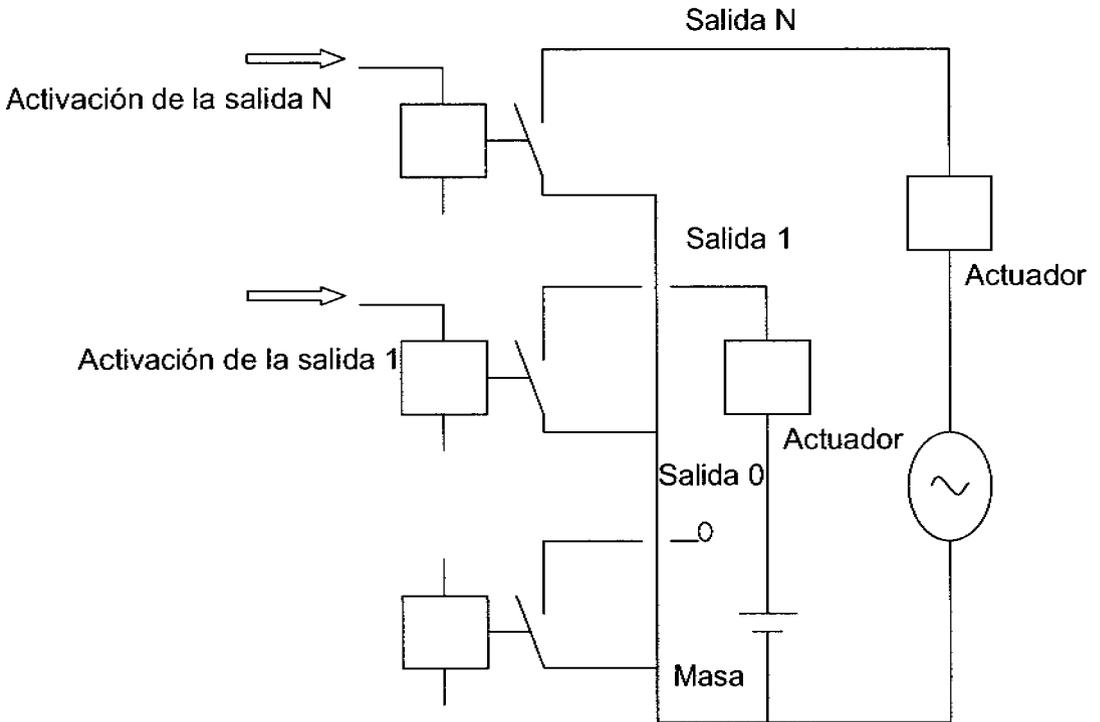


Figura 2.10

Modulo de salidas
Todo/nada a transistor

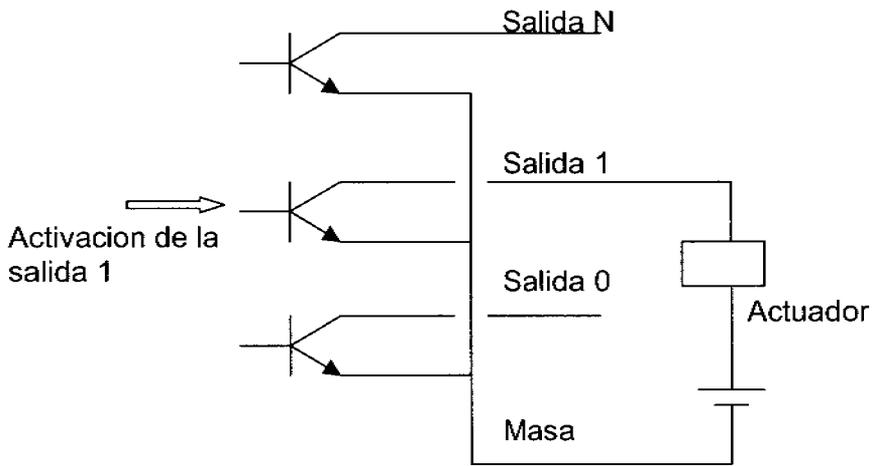


Figura 2.11

Modulo de salidas
Todo/nada a triac

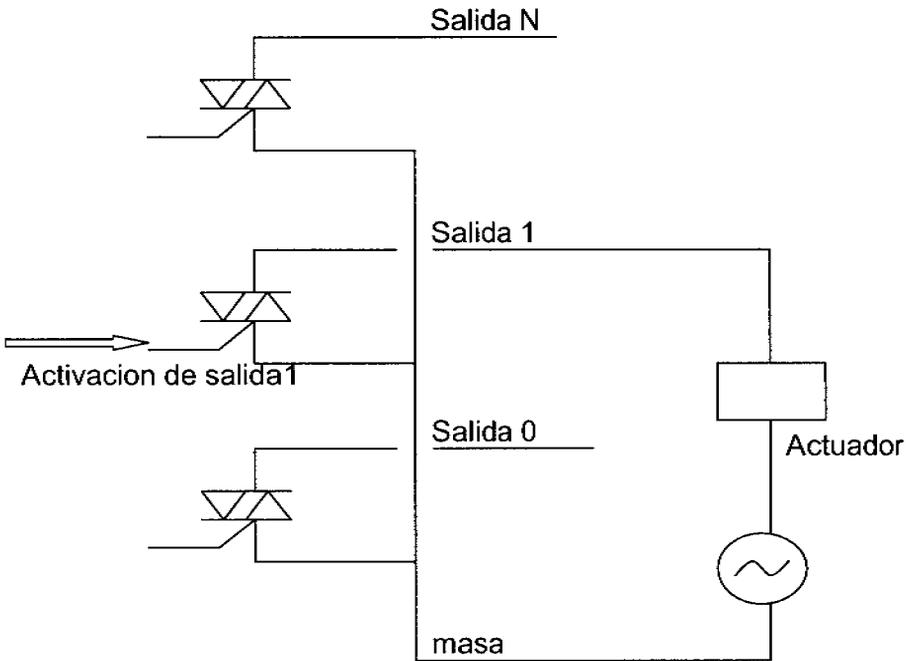


Figura 2.12

Las entradas analógicas del autómeta, como ya se ha comentado anteriormente, son de dos tipos: entradas de corriente que trabajan con intensidades comprendidas entre 4 y 20 mA., ó entradas de tensión que trabajan con tensiones comprendidas entre 0 y 10 V. por tanto, para medir una magnitud analógica, figura 2.13, es necesario utilizar alguno de los diferentes tipos de transductores existentes en el mercado, que proporcionan una señal de tensión o corriente proporcional a la magnitud a medir y comprendida en el margen de 4-20mA o 0-10V.

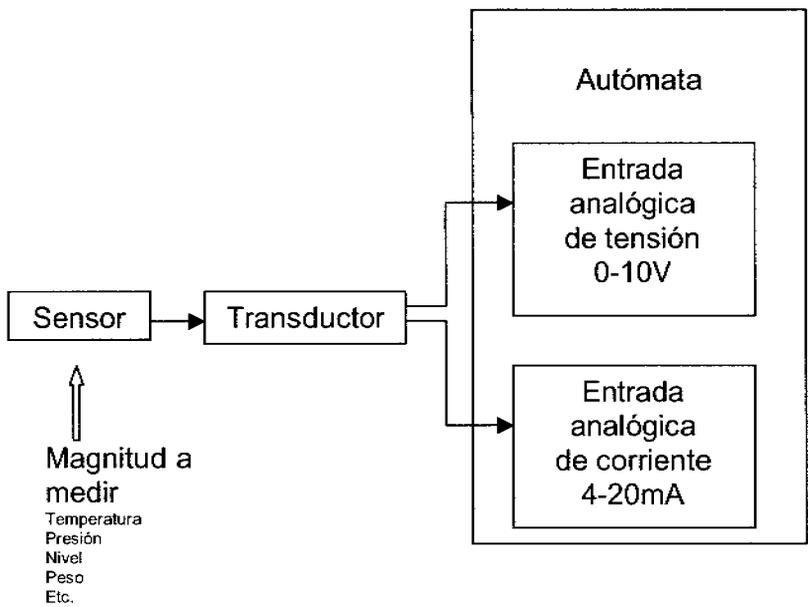


Figura 2.13

Las salidas analógicas del autómata también son de dos tipos de tensión o de corriente, por tanto, el actuador que se pretenda controlar con ellas, figura 2.14, tendrá que disponer de una entrada de tensión o corriente que permita una señal de entrada comprendida entre 0-10V o 4-20mA.

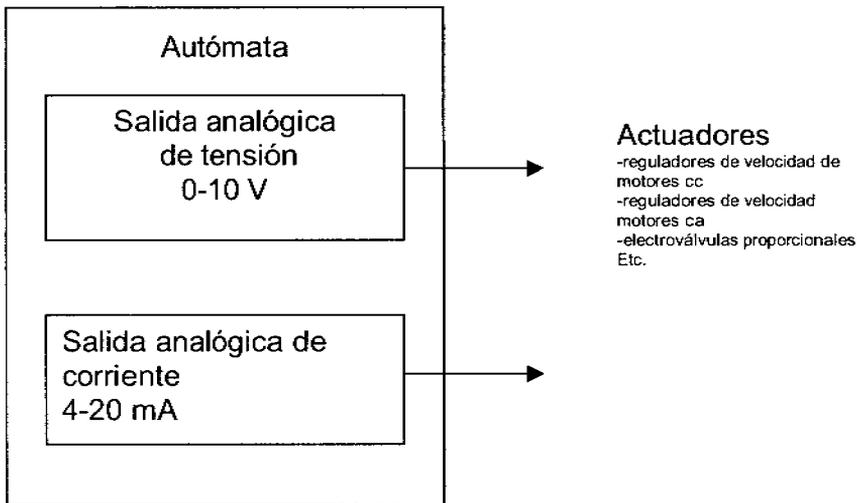


Figura 2.14

Programación de autómatas programables

El programador u ordenador compatible permite, mediante las instrucciones del autómata, confeccionar el programa de usuario; posteriormente se transfiere a la memoria de programa de usuario. Una memoria típica permite almacenar como mínimo hasta mil instrucciones con datos de bit, y es del tipo lectura/escritura, permitiendo la modificación del programa tantas veces como sea necesario; tiene una batería tampón para mantener el programa si falla la tensión de alimentación.

La programación de un autómata consiste en el establecimiento de una sucesión ordenada de instrucciones que están disponibles en el sistema de programación y que resuelve el control sobre un proceso determinado. No existe una descripción única para cada lenguaje, sino que cada fabricante utiliza una denominación particular para las diferentes instrucciones y una configuración también particular para representar las distintas variables externas o internas.

Los siguientes son algunos ejemplos de lenguajes de programación:

Lenguaje en lista de instrucciones

Un lenguaje en lista de instrucciones consiste en un conjunto de códigos simbólicos, cada uno de los cuales corresponde a una instrucción; cada fabricante utiliza sus propios códigos y

una nomenclatura distinta para nombrar las variables del sistema. El lenguaje en lista de instrucciones es similar al lenguaje ensamblador utilizado en microprocesadores. Por ejemplo la función lógica de la figura 2.15, programada en lenguaje de instrucciones para dos autómatas comerciales diferentes PS3 y SY/MAX 50 sería.

PS3	SY/MAX 50
0 L NOT I0.1	0 LOD N 1
1 A I0.2	1 AND 2
3 L I0.3	3 LOD 3
4 O	4 OR LOD
5 = Q0.1	5 OUT 201

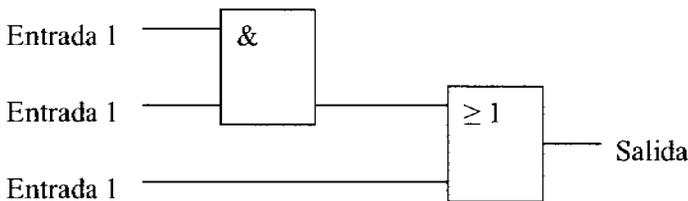


Figura 2.15

Lenguaje en esquema de contactos

Es un lenguaje gráfico, derivado del lenguaje de relés, que mediante símbolos representa contactos, solenoides, etc. Su principal ventaja es que los símbolos básicos, figura 2.16, están normalizados según normas NEMA y son empleados por todos los fabricantes. Los símbolos básicos empleados son:

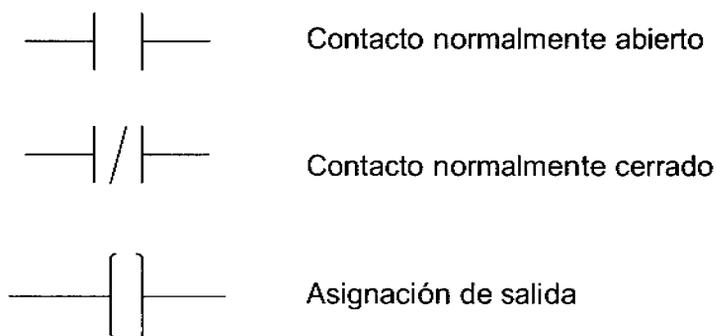


Figura 2.16

Los elementos básicos que configuran la función se representan entre dos líneas verticales que simbolizan las líneas de alimentación.

Para las funciones lógicas más complejas (módulos de programación) como temporizadores, contadores, registros de desplazamiento, etc., se emplea el formato de bloques, estos no están normalizados, aunque guardan una gran similitud entre sí para distintos fabricantes y resultan mucho más expresivos que si se utiliza para el mismo fin en lenguaje en lista de instrucciones.

A pesar de que se sigue manteniendo una nomenclatura distinta para designar las variables del sistema, la igualdad en las funciones básicas y la similitud en las complejas (módulos de programación), unido a que el lenguaje en esquema de contactos es muy descriptivo, permite comprender fácilmente cómo actúan los módulos de programación en el programa de usuario.

El lenguaje de contactos necesita sistemas de programación relativamente complejos, que visualicen varias líneas de programa en pantalla. Si sólo se dispone de un sistema básico, se puede programar teóricamente en esquema de contactos y posteriormente transcribirlo a lista de instrucciones.

Instrucciones de programación

El autómata programable es un sistema con lenguajes de programación e instrucciones muy especializados y orientados a la automatización, una descripción de las distintas instrucciones que soporta un autómata programable, los lenguajes en la que puede programarse y la nomenclatura asignada a las variables que intervienen en la instrucción, puede obtenerse del manual del autómata que se ha empleado para resolver los problemas, o bien si el lector está familiarizado con los autómatas programables, del manual que utilice habitualmente.

Dando una idea de las instrucciones existentes en un autómata programable, se clasifican las instrucciones más comunes que pueden encontrarse en un autómata de gama media.

- Instrucciones lógicas:
Funciones lógicas básicas AND, OR, NOT, XOR, SET, RESET.
- Instrucciones de módulos de programación:

Temporizadores, contadores, registros de desplazamiento, programadores cíclicos, comparadores, etc.

- Instrucciones de control:

Control de marcha, condiciones de arranque, forzado de activación de etapas, inhibición de salidas, saltos condicionales.

- Instrucciones matemáticas:

Suma, resta, multiplicación, división (normalmente el bus de datos de los microprocesadores empleados es de 8 bits; el valor máximo con los que puede operar es de 256 en decimal y no admite números negativos).

- Instrucciones de comparación:

Comparación de bit o de byte, funciones de igualdad y mayor que en contadores y temporizadores.

- Instrucciones de traslación:

Traslación de datos entre posiciones de memoria, desde la memoria a consignas de módulos de programación.

- Instrucciones de conversión de código:

Los datos byte pueden presentarse en decimal o en BCD.

J. Pedro Romera y J. Antonio Lorite

Automatización: Problemas resueltos con autómatas programables

El Diodo

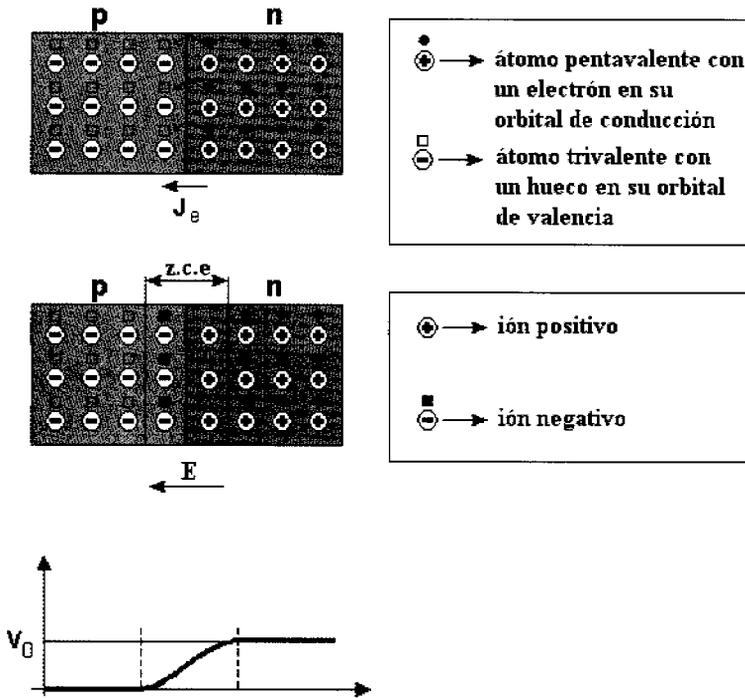
Las propiedades de los materiales semiconductores se conocían en 1874, cuando se observó la conducción en un sentido en cristales de sulfuro, 25 años más tarde se empleó el rectificador de cristales de galena para la detección de ondas. Durante la Segunda Guerra Mundial se desarrolló el primer dispositivo con las propiedades que hoy conocemos, el diodo de germanio.

Un diodo es un dispositivo que permite el paso de la corriente eléctrica en una única dirección. De forma simplificada, la curva característica de un diodo (I-V) consta de dos regiones, por debajo de cierta diferencia de potencial, se comporta como un circuito abierto (no conduce), y por encima de ella como un circuito cerrado con muy pequeña resistencia eléctrica.

Debido a este comportamiento, se les suele denominar rectificadores, ya que son dispositivos capaces de convertir una corriente alterna en corriente continua.

Diodo pn o Unión pn

Los diodos pn son uniones de dos materiales semiconductores extrínsecos tipos p y n, por lo que también reciben la denominación de unión pn. Hay que destacar que ninguno de los dos cristales por separado tiene carga eléctrica, ya que en cada cristal, el número de electrones y protones es el mismo, de lo que podemos decir que los dos cristales, tanto el p como el n, son neutros. (Su carga neta es 0). Figura 2.17



Formación de la zona de carga espacial

Figura 2.17

Al unir ambos cristales, se manifiesta una difusión de electrones del cristal n al p (J_e).

Al establecerse estas corrientes aparecen cargas fijas en una zona a ambos lados de la unión, zona que recibe diferentes denominaciones como zona de carga espacial, de agotamiento, de depleción, de vaciado, etc.

A medida que progresa el proceso de difusión, la zona de carga espacial va incrementando su anchura profundizando en los cristales a ambos lados de la unión. Sin embargo, la acumulación de iones positivos en la zona n y de iones negativos en la zona p, crea un campo eléctrico (E) que actuará sobre los electrones libres de la zona n con una determinada fuerza de desplazamiento, que se opondrá a la corriente de electrones y terminará deteniéndolos.

Este campo eléctrico es equivalente a decir que aparece una diferencia de tensión entre las zonas p y n. Esta diferencia de potencial (V_0) es de 0,7 V en el caso del silicio y 0,3 V si los cristales son de germanio.

La anchura de la zona de carga espacial una vez alcanzado el equilibrio, suele ser del orden de 0,5 micras pero cuando uno de los cristales está mucho más dopado que el otro, la zona de carga espacial es mucho mayor.

Al dispositivo así obtenido se le denomina diodo, que en un caso como el descrito, tal que no se encuentra sometido a una diferencia de potencial externa, se dice que no está polarizado. Al extremo p, se le denomina ánodo, representándose por la letra A, mientras que la zona n, el cátodo, se representa por la letra C (o K). Figura 2.18

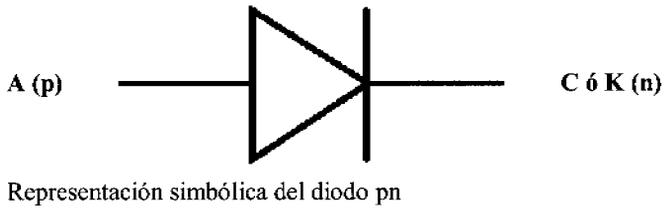


Figura 2.18

Cuando se somete al diodo a una diferencia de tensión externa, se dice que el diodo está polarizado, pudiendo ser la polarización directa o inversa.

Polarización directa

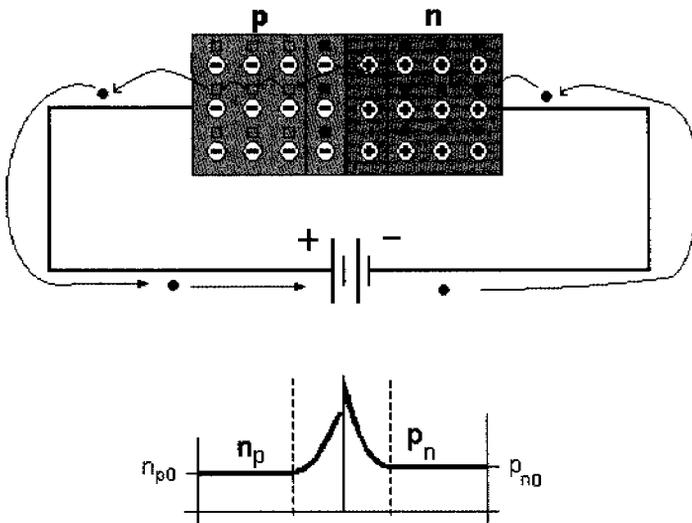


Figura 2.19

En este caso, figura 2.19, la batería disminuye la barrera de potencial de la zona de carga espacial, permitiendo el paso de la corriente de electrones a través de la unión; es decir, el diodo polarizado directamente conduce la electricidad.

Para que un diodo esté polarizado directamente, tenemos que conectar el polo positivo de la batería al ánodo del diodo y el polo negativo al cátodo. En estas condiciones podemos observar que:

- El polo negativo de la batería repele los electrones libres del cristal n, con lo que estos electrones se dirigen hacia la unión p-n.
- El polo positivo de la batería atrae a los electrones de valencia del cristal p, esto es equivalente a decir que empuja a los huecos hacia la unión p-n.
- Cuando la diferencia de potencial entre los bornes de la batería es mayor que la diferencia de potencial en la zona de carga espacial, los electrones libres del cristal n, adquieren la energía suficiente para saltar a los huecos del cristal p, los cuales previamente se han desplazado hacia la unión p-n.
- Una vez que un electrón libre de la zona n salta a la zona p atravesando la zona de carga espacial, cae en uno de los múltiples huecos de la zona p convirtiéndose en electrón de valencia. Una vez ocurrido esto el electrón es atraído por el polo positivo de la batería y se desplaza de átomo en átomo hasta llegar al final del cristal p, desde el cual se introduce en el hilo conductor y llega hasta la batería.

De este modo, con la batería cediendo electrones libres a la zona n y atrayendo electrones de valencia de la zona p, aparece a través del diodo una corriente eléctrica constante hasta el final.

Polarización inversa

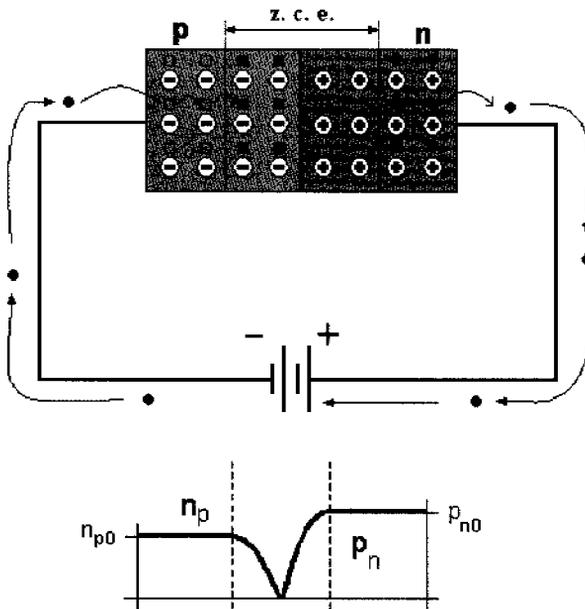


Figura 2.20

En este caso, figura 2.20, el polo negativo de la batería se conecta a la zona p y el polo positivo a la zona n, lo que hace aumentar la zona de carga espacial, y la tensión en dicha zona hasta que se alcanza el valor de la tensión de la batería, tal y como se explica a continuación:

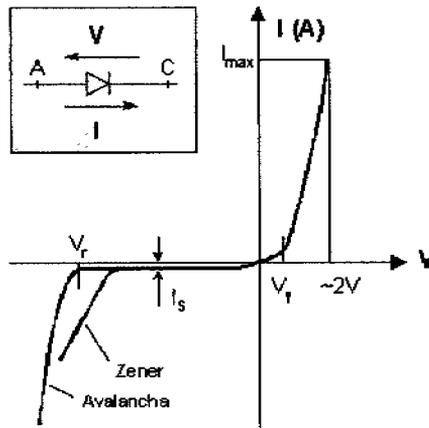
- El polo positivo de la batería atrae a los electrones libres de la zona n, los cuales salen del cristal n y se introducen en el conductor dentro del cual se desplazan hasta llegar a la batería. A medida que los electrones libres abandonan la zona n, los átomos pentavalentes que antes eran neutros, al verse desprendidos de su electrón en el orbital de conducción, adquieren estabilidad (8 electrones en la capa de valencia, ver semiconductor y átomo) y una carga eléctrica neta de +1, con lo que se convierten en iones positivos.

- El polo negativo de la batería cede electrones libres a los átomos trivalentes de la zona p. Recordemos que estos átomos sólo tienen 3 electrones de valencia, con lo que una vez que han formado los enlaces covalentes con los átomos de silicio, tienen solamente 7 electrones de valencia, siendo el electrón que falta el denominado *hueco*. El caso es que cuando los electrones libres cedidos por la batería entran en la zona p, caen dentro de estos huecos con lo que los átomos trivalentes adquieren estabilidad (8 electrones en su orbital de valencia) y una carga eléctrica neta de -1, convirtiéndose así en iones negativos.

- Este proceso se repite una y otra vez hasta que la zona de carga espacial adquiere el mismo potencial eléctrico que la batería.

En esta situación, el diodo no debería conducir la corriente; sin embargo, debido al efecto de la temperatura se formarán pares electrón-hueco a ambos lados de la unión produciendo una pequeña corriente (del orden de $1 \mu\text{A}$) denominada corriente inversa de saturación. Además, existe también una denominada corriente superficial de fugas la cual, como su propio nombre indica, conduce una pequeña corriente por la superficie del diodo; ya que en la superficie, los átomos de silicio no están rodeados de suficientes átomos para realizar los cuatro enlaces covalentes necesarios para obtener estabilidad. Esto hace que los átomos de la superficie del diodo, tanto de la zona n como de la p, tengan huecos en su orbital de valencia con lo que los electrones circulan sin dificultad a través de ellos. No obstante, al igual que la corriente inversa de saturación, la corriente superficial de fugas es despreciable.

Curva característica del diodo



Tensión umbral, de codo o de partida (V_f).

La tensión umbral (también llamada barrera de potencial) de polarización directa coincide en valor con la tensión de la zona de carga espacial del diodo no polarizado. Al polarizar directamente el diodo, la barrera de potencial inicial se va reduciendo, incrementando la corriente ligeramente, alrededor del 1% de la nominal. Sin embargo, cuando la tensión externa supera la tensión umbral, la barrera de potencial desaparece, de forma que para pequeños incrementos de tensión se producen grandes variaciones de la intensidad.

Corriente máxima (I_{max}): Es la intensidad de corriente máxima que puede conducir el diodo sin fundirse por el efecto Joule. Dado que es función de la cantidad de calor que puede disipar el diodo, depende sobre todo del diseño del mismo.

Corriente inversa de saturación (I_s): Es la pequeña corriente que se establece al polarizar inversamente el diodo por la formación de pares electrón-hueco debido a la temperatura, admitiéndose que se duplica por cada incremento de 10° en la temperatura.

Corriente superficial de fugas: Es la pequeña corriente que circula por la superficie del diodo (ver polarización inversa), esta corriente es función de la tensión aplicada al diodo, con lo que al aumentar la tensión, aumenta la corriente superficial de fugas.

Tensión de ruptura (V_r): Es la tensión inversa máxima que el diodo puede soportar antes de darse el efecto avalancha.

Teóricamente, al polarizar inversamente el diodo, este conducirá la corriente inversa de saturación; en la realidad, a partir de un determinado valor de la tensión, en el diodo *normal* o de *unión abrupta* la ruptura se debe al efecto avalancha; no obstante hay otro tipo de diodos, como los Zener, en los que la ruptura puede deberse a dos efectos:

Efecto avalancha (diodos poco dopados): En polarización inversa se generan pares electrón-hueco que provocan la corriente inversa de saturación; si la tensión inversa es elevada los electrones se aceleran incrementando su energía cinética de forma que al chocar con electrones de valencia pueden provocar su salto a la banda de conducción. Estos electrones liberados, a su vez, se aceleran por efecto de la tensión, chocando con más electrones de valencia y liberándolos a su vez. El resultado es una *avalancha* de electrones que provoca una corriente grande. Este fenómeno se produce para valores de la tensión superiores a 6 V.

Efecto Zener (diodos muy dopados): Cuanto más dopado está el material, menor es la anchura de la zona de carga. Puesto que el campo eléctrico E puede expresarse como cociente de la tensión V entre la distancia d ; cuando el diodo esté muy dopado, y por tanto d sea pequeño, el campo eléctrico será grande, del orden de $3 \cdot 10^5$ V/cm. En estas condiciones, el propio campo puede ser capaz de arrancar electrones de valencia incrementándose la corriente. Este efecto se produce para tensiones de 4 V o menores.

Para tensiones inversas entre 4 y 6 V la ruptura de estos diodos especiales, como los Zener, se puede producir por ambos efectos.

Simbología



Diodo
rectificador

Diodo Schottky

Diodo Zener

Diodo Led

Fotodiodo

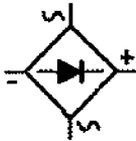
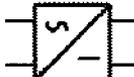


Diodo
varicap

Diodo Pin

Diodo túnel

Diodo Led



Fotodiodo

Puente rectificador

Diodos Rectificadores

Su construcción está basada en la unión PN siendo su principal aplicación como rectificadores. Este tipo de diodos (normalmente de silicio) soportan elevadas temperaturas (hasta 200°C en la unión), siendo su resistencia muy baja y la corriente en tensión inversa muy pequeña. Gracias a esto se pueden construir diodos de pequeñas dimensiones para potencias relativamente grandes, desbancando así a los diodos termoiónicos desde hace tiempo. Sus aplicaciones van desde elemento indispensable en fuentes de alimentación como en televisión, aparatos de rayos X y microscopios electrónicos, donde deben rectificar tensiones altísimas. En fuentes de alimentación se utilizan los diodos formando configuración en puente (con cuatro diodos en sistemas monofásicos), o utilizando los puentes integrados que a tal efecto se fabrican y que simplifican en gran medida el proceso de diseño de una placa de circuito impreso. Los distintos encapsulados de estos diodos dependen del nivel de potencia que tengan que disipar. Hasta 1w se emplean encapsulados de plástico. Por encima de este valor el encapsulado es metálico y en potencias más elevadas es necesario que el encapsulado tenga previsto una rosca para fijar este a un radiador y así ayudar al diodo a disipar el calor producido por esas altas corrientes. Igual le pasa a los puentes de diodos integrados.

Diodos Zener

Se emplean para producir entre sus extremos una tensión constante e independiente de la corriente que las atraviesa según sus especificaciones. Para conseguir esto se aprovecha la

propiedad que tiene la unión PN cuando se polariza inversamente al llegar a la tensión de ruptura (tensión de Zener), pues, la intensidad inversa del diodo sufre un aumento brusco. Para evitar la destrucción del diodo por la avalancha producida por el aumento de la intensidad se le pone en serie una resistencia que limita dicha corriente. Se producen desde 3,3v y con una potencia mínima de 250mW. Los encapsulados pueden ser de plástico o metálico según la potencia que tenga que disipar.

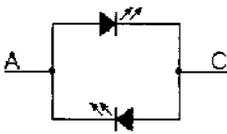
Diodos Led (Light Emitting Diode)

Es un diodo que presenta un comportamiento parecido al de un diodo rectificador sin embargo, su tensión de umbral, se encuentra entre 1,3 y 4v dependiendo del color del diodo.

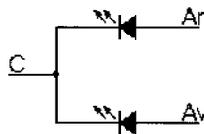
Color	Tensión en directo
Infrarrojo	1,3v
Rojo	1,7v
Naranja	2,0v
Amarillo	2,5v
Verde	2,5v
Azul	4,0v

El conocimiento de esta tensión es fundamental para el diseño del circuito en el que sea necesaria su presencia, pues, normalmente se le coloca en serie una resistencia que limita la intensidad que circulará por el. Cuando se polariza directamente se comporta como una lamparita que emite una luz cuyo color depende de los materiales con los que se fabrica. Cuando se polariza inversamente no se enciende y además no deja circular la corriente. La intensidad mínima para que un diodo Led emita luz visible es de 4mA y, por precaución como máximo debe aplicarse 50mA. Para identificar los terminales del diodo Led observaremos como el cátodo será el terminal más corto, siendo el más largo el ánodo. Además en el encapsulado, normalmente de plástico, se observa un chaflán en el lado en el que se encuentra el cátodo. Se utilizan como señal visual y en el caso de los infrarrojos en los mandos a distancia. Se fabrican algunos LEDs especiales: Led bicolor.- Están formados por dos diodos conectados en paralelo e inverso. Se suele utilizar en la detección de polaridad. Led tricolor.- Formado por dos diodos Led (verde y rojo) montado con el cátodo común. El terminal más corto es el ánodo rojo, el del centro, es el cátodo común y el tercero es el ánodo verde. Display.- Es una combinación de diodos Led que permiten visualizar letras y números. Se denominan comúnmente displays de 7 segmentos. Se fabrican en dos configuraciones: ánodo común y cátodo común. Figura 2.21

Estructura de un Led bicolor



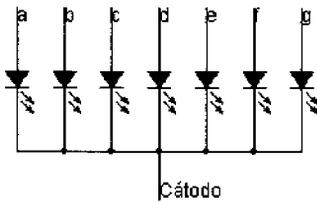
Estructura de un Led tricolor



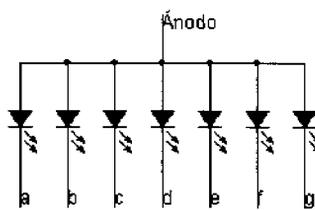
Display



Display de cátodo común



Display de ánodo común



Disposición de los pines en un display

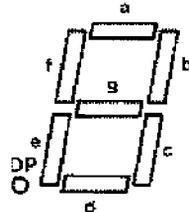


Figura 2.21

Fotodiodo

Son dispositivos semiconductores contruidos con una unión PN, sensible a la incidencia de la luz visible o infrarroja. Para que su funcionamiento sea correcto se polarizarán inversamente, con lo que producirán una cierta circulación de corriente cuando sean excitados por la luz. Debido a su construcción se comportan como células fotovoltaicas, es decir, en ausencia de tensión exterior, generan una tensión muy pequeña con el positivo en el ánodo y el negativo en el cátodo. Tienen una velocidad de respuesta a los cambios bruscos de luminosidad mayores a las células fotoeléctricas. Actualmente, y en muchos circuitos estás últimas se están sustituyendo por ellos, debido a la ventaja anteriormente citada.

<http://es.wikipedia.org/wiki/Diodo>

Termopares

Por la sencillez de su construcción, por la precisión que permiten obtener cuando están convenientemente calibrados, estos elementos se seleccionan para la mayoría de las medidas industriales.

Los fabricantes de materiales para termopares se ajustan a normas internacionales que establecen la composición de los metales que constituyen los termopares y los hilos de extensión. Esto permite una total intercambiabilidad, no solamente de los elementos primarios sino también de los indicadores, registradores, transmisores y controladores de temperatura de los distintos fabricantes.

La banda de medidas abarcada por los termopares va desde -200°C hasta cerca de 2000°C .

Los termopares se basan en el descubrimiento hecho por Peltier en 1821: “cuando hilos de metales diferentes están en contacto por los extremos, se genera una f.e.m. (y aparece una corriente eléctrica en el circuito) cuando los dos contactos están a diferentes temperaturas” figura siguiente.

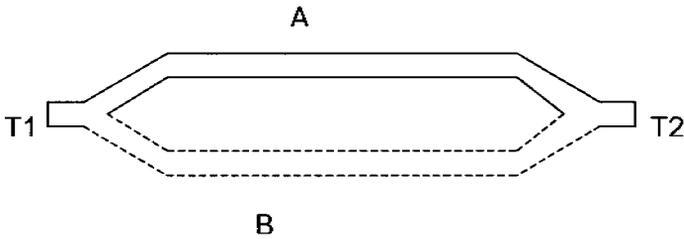


Figura 2.22

Además de la f.e.m. localizada en los contactos aparece también una f.e.m. a lo largo de los hilos debido a la existencia de un gradiente térmico, (efecto Thompson). La relación entre la f.e.m. y la temperatura es aproximadamente parabólica. En una pequeña gama de temperaturas, la relación es aproximadamente lineal.

La unión (o junta) que se encuentra a la temperatura más alta (y que normalmente se encuentra en el punto a medir) se le llama unión caliente. Se acostumbra a localizar la otra unión junto al instrumento de medida (unión fría).

En la figura siguiente se representa un circuito de medida de temperatura con termopar. El hilo de extensión esta constituido por dos conductores de material igual al que constituye el termopar (o un par de conductores con f.e.m. térmica de la misma magnitud).

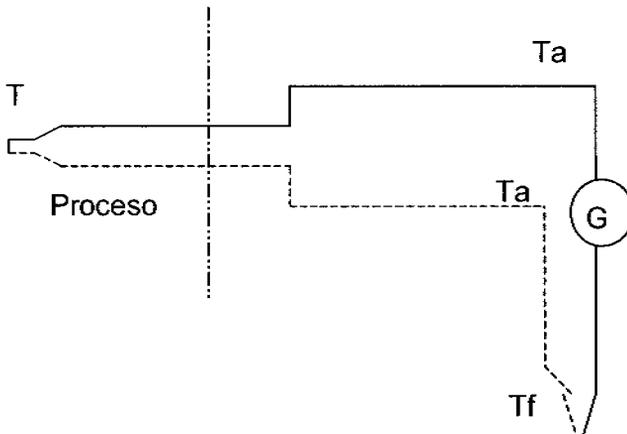


Figura 2.23

De este modo se transfiere la unión fría a las proximidades del instrumento, donde es de esperar mayor constancia en la temperatura que en las proximidades del lugar en el proceso en donde se efectúa la medida.

Para medidas de gran precisión, la temperatura de la unión fría debe mantenerse con un valor constante, (por ejemplo, a la temperatura del hielo fundente). Sin embargo, en la mayoría de las medidas industriales, se deja que la temperatura de la unión fría siga las fluctuaciones de la temperatura ambiente. Se recurre a artificios que permiten compensar el error introducido. Uno de los métodos utiliza una lámina bimetálica que desplaza la posición del extremo fijo del muelle del milivoltímetro de medida según las variaciones de la temperatura ambiente.

La señal de un termopar solamente se puede recibir a una distancia de escasamente unos cientos de metros con un receptor (indicadores, registradores o controladores) de milivoltímetro. Con receptores potenciométricos la distancia puede ser mayor. Hoy en día se utilizan mucho los convertidores electrónicos milivolt-corriente, los cuales, dada su alta impedancia de entrada (algunos megahoms), permiten distancias del orden del kilómetro. Los convertidores mV/I producen una señal de salida normalizada (por ejemplo de 4-20 mA).

Los siguientes pares de metales son los más utilizados en la constitución de los termopares industriales.

- Cobre-Constantán
- Fierro-Constantán
- Cromel-Alumel
- Platino-Platino rodio (13%)
- Platino-Platino rodio (10%)

Para casos de muy altas temperaturas se fabrican termopares con metales refractarios, como por ejemplo:

- Tungsteno-Tungsteno renio
- Grafito-Silicio
- Iridio-Iridio renio (40%)
- Tungsteno-Iridio
- Molibdeno-Molibdeno renio (50%)

Horta Santos, José J
Técnicas de automatización industrial

Extrusión de plástico

El procedimiento de extrusión es la acción de forzar, por medio de presión, a pasar a través de un dado o boquilla un plástico o material fundido. En el procedimiento original para someter los polímeros a extrusión, se utilizaron maquinas similares impulsadas por un ariete o empujador mecánico. En el proceso moderno se usan tornillos para hacer fluir el polímero en el estado fundido o gomoso a lo largo de la camisa de la máquina. El tipo de máquina que se utiliza más es la de tornillo simple cuyas principales características se muestran en la figura 2.24

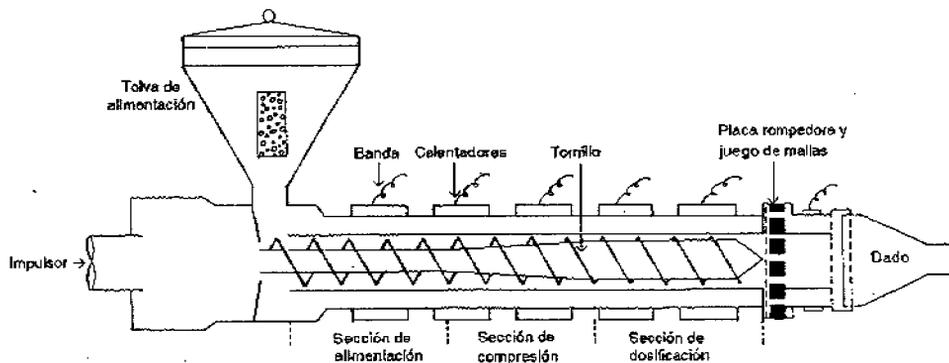


Figura 2.24 Características principales de un extrusor de tornillo sin fin simple

El aparato está constituido principalmente por un tornillo de Arquímedes que se ajusta con precisión dentro de la camisa cilíndrica, apenas con el espacio suficiente para rotar. El polímero sólido se alimenta en un extremo y en el otro sale el material sometido a extrusión ya perfilado. Dentro de la máquina el polímero se funde y homogeniza

a) Zona de alimentación

En la primera parte, denominada por lo común como zona de alimentación, se precalienta y transporta el polímero a las partes siguientes. La profundidad del tornillo es constante y la longitud de esta zona es tal que hay una alimentación correcta hacia delante, ni deficiente ni excesiva. Esta alimentación varía un poco para obtener una eficiencia óptima con los diferentes polímeros.

b) Zona de compresión

La segunda zona tiene una profundidad de canal decreciente. Esta zona tiene diferentes funciones y se le conoce por lo común, como zona de compresión o transición. Primeramente, se expulsa el aire atrapado entre los gránulos originales; en segundo lugar, se mejora la transferencia de calor desde las paredes del barril calentado conforme el material se vuelve menos espeso; en tercer lugar, se da el cambio de densidad que ocurre durante la fusión. Nuevamente hay una modificación del diseño para cada tipo de polímero. Para un polímero que funde poco a poco, por ejemplo, el polietileno de baja densidad, es apropiado un tornillo como el que se muestra en la figura 2.25, con la longitud total dividida en tres zonas iguales. Los tornillos de este tipo se conocen a menudo como tornillos para polietileno. Si el polímero se funde de forma abrupta, el criterio general es que se requiere una zona de compresión muy corta, por lo común, de una longitud de solo una vuelta de la espiral o hélice del tornillo; un ejemplo de tal polímero es el nylon de donde proviene el nombre común de tornillo para nylon para este diseño. Sin embargo, esta opinión tiene poca justificación teórica y estos polímeros se comportan bien en tornillos de compresión continua. No obstante. Los tornillos de compresión rápida se utilizan mucho para el nylon y otros polímeros semicristalinos, como el polipropileno y el acetal. El cloruro de polivinilo es un polímero difícil de extruir, ya que funde aún más lentamente que el polietileno. Realmente es un caucho termoplástico y tiene inusuales propiedades a la fricción; con frecuencia, se procesa mejor utilizando un tornillo que tenga una

larga zona de compresión en toda su longitud, algunas veces con la adición de una zona de dosificación o de bombeo. Estos tornillos se muestran en la figura 2.25.

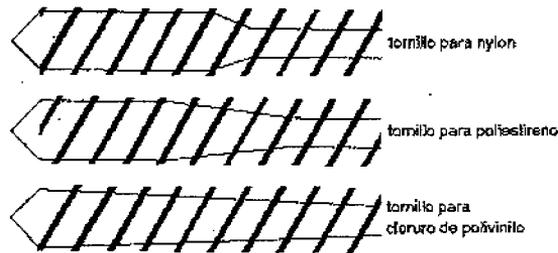


Figura 2.25 Diferencias en el diseño de tornillo

c) Zona de dosificación.

Una vez más se encuentra una profundidad de tornillo constante. Su función es la de homogeneizar el material fundido y con ello suministrar a la región del dado material de calidad homogénea a temperatura y presión constantes.

d) Zona del dado

La zona final de un extrusor es la zona del dado, que termina en el propio dado. Situado en esta región se encuentra el portamallas. Esta consta por lo común, de una placa de acero perforada conocida como la placa rompedora y un juego de mallas de dos o tres capas de gasa de alambre situadas en el lado del tornillo.

El ensamble placa rompedora-juego de mallas tiene tres funciones:

- 1.- Evitar el paso del material extraño, por ejemplo, polímero no fundido, polvos, cuerpos extraños.
- 2.- Crear un frente de presión cuando se opone una resistencia al bombeo de la zona anterior.
- 3.- Eliminar la "memoria de giro" del material fundido.

Una descripción más detallada de estas funciones es:

- 1.- El cribado ayuda a reducir los defectos del producto más adelante al remover partículas no deseadas
- 2.- La importancia de crear un frente de presión radica en que esta presión es la que suple la fuerza impulsora para vencer la resistencia del dado.
- 3.- En muchos casos el polímero "recuerda" su trayecto en giros a lo largo de la espiral del tornillo, aun después de haber pasado por el dado y esto puede dar como resultado una deformación por torsión del producto. Los polímeros están formados por moléculas de cadena larga, enrollados y enmarañados incluso cuando están fundidos; esta es la razón de su comportamiento viscoelástico. Los materiales fundidos, aunque la mayoría son viscosos, tienen también propiedades elásticas importantes. Cuando el material fundido se somete a un tratamiento mecánico prolongado, como el paso por un tornillo, se produce un notable alineamiento de las cadenas; esto se nota como una tendencia hacia recuperar elásticamente este alineamiento como la recuperación energética óptima. El paso a través del dado es rápido,

sin que haya tiempo de sustituir la configuración de espiral por una nueva. El resultado es una tendencia del producto a torcerse una vez que escapa a la restricción del dado y antes de que endurezca.

Moldeo por extrusión-soplado

El moldeo por soplado es la técnica que se usa para producir botellas y otros contenedores que son fundamentalmente formas huecas simples. Hay dos subdivisiones principales, el moldeo por extrusión-soplado y el moldeo por inyección-soplado. El moldeo por extrusión-soplado fue inicialmente la técnica más importante, pero en años recientes el moldeo por inyección-soplado adquirió importancia para la producción de botellas de bebidas carbonatadas, especialmente utilizando polietilentereftalato.

Los sopladores de vidrio usaron durante siglos el fundamento del moldeo por soplado. Se forma un tubo semihundido; éste se atenaza entre las dos mitades de un molde y se inyecta aire para llenar el molde. Se enfrían las superficies del molde de modo que el producto solidifique rápido mientras está bajo la presión del aire y se obtenga la forma del molde. Luego se recupera el producto abriendo el molde.

En el moldeo por extrusión-soplado el tubo semihundido, llamado forma intermedia, se produce directamente a partir del extrusor, del cual sale caliente y blando. En el moldeo por inyección-soplado el tubo, en este caso conocido más usualmente como la preforma, se elabora mediante moldeo por inyección y se vuelve a calentar hasta la temperatura de soplado.

En las figuras 2.26 se muestra el principio del procedimiento

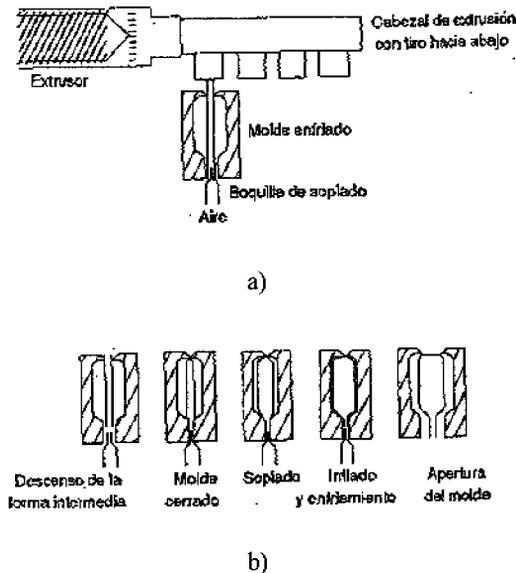


Figura 2.26 a) Forma común de moldeo por extrusión soplado.
b) Etapas del soplado de una botella

La extrusión puede ser continua, en cuyo caso la forma intermedia se corta y se mueve hacia el molde o el molde se mueve llevando la forma intermedia. También, la extrusión puede ser intermitente, cuando el molde queda bajo el punto de extrusión. La primera disposición es la más común ya que permite mayor producción.

En la figura 2.26 a se muestra el arreglo mas común, con una extrusión hacia abajo. Esto produce dos efectos importantes: la forma intermedia se cuelga, debido a la gravedad, y el efecto de hinchamiento en el dado.

Estos efectos se oponen hasta cierto grado, pero actúan en conjunto para dar formas intermedias con pared gruesa en su parte inferior y delgada en su parte superior: al comenzar la extrusión da la forma intermedia, el hinchamiento en el dado engrosa las paredes; posteriormente, el peso creciente estira la forma intermedia y la adelgaza. En la figura 2.27 se muestra el dispositivo que se usa para contrarrestar estos efectos; es un mandril variable que se llama variador de la forma intermedia y varía el espesor de pared durante la extrusión.

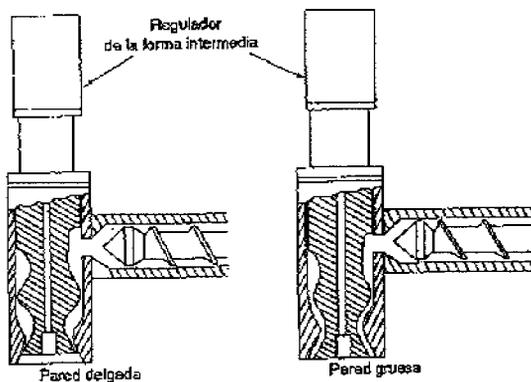


Figura 2.27

Conforme desciende, la forma intermedia se halla claramente bajo la acción de fuerzas de tracción y no de cortantes. El tiempo del proceso es del orden de 1 a 5 seg. Y el tiempo natural o de relajación de la mayoría de los polimeros es mayor que estos valores bajo tales condiciones. El proceso es entonces de naturaleza principalmente elástica. El módulo de elasticidad en tracción es de 10^4 Nm^{-2} y el esfuerzo de tracción de 10^3 a 10^4 Nm^{-2} , de modo que hay grandes deformaciones. Sin embargo, el variador del extruido primario puede contrarrestar fácilmente estos cambios. En la figura 2.26 b se muestra un arreglo de “soplado por debajo”; la forma intermedia desciende hacia la boquilla de soplado (conocida también como grifo o mandril de soplado). La ventaja de este método es que no se pierde tiempo entre el cierre de moldeo y el soplado; la desventaja es que con frecuencia se crea una cicatriz en el cuello de la botella debido a que la forma intermedia tiene que ser suficientemente larga para descender sobre la boquilla y se requiere desbastar la botella después de moldearla. Para obtener un cuello de botella “libre de borbollones”, que se diseña quizá para ajustar un tapón

roscado y otro del tipo sellador, se puede usar el soplado por arriba; sin embargo, esto requiere tiempo para insertar la boquilla.

Morton - Jones, David H
Procesamiento de plásticos

Puerta lógica

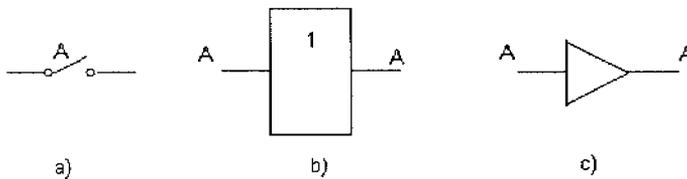
Una puerta lógica, o compuerta lógica, es un dispositivo electrónico que es la expresión física de un operador booleano en la lógica de conmutación. Cada puerta lógica consiste en una red de dispositivos interruptores que cumple las condiciones booleanas para el operador particular. Son esencialmente circuitos de conmutación integrados en un chip.

Claude Elwood Shannon experimentaba con relés o interruptores electromagnéticos para conseguir las condiciones de cada compuerta lógica, por ejemplo, para la función booleana Y (AND) colocaba interruptores en circuito serie, ya que con uno solo de éstos que tuviera la condición «abierto», la salida de la compuerta Y sería = 0, mientras que para la implementación de una compuerta O (OR), la conexión de los interruptores tiene una configuración en circuito paralelo.

La tecnología microelectrónica actual permite la elevada integración de transistores actuando como conmutadores en redes lógicas dentro de un pequeño circuito integrado. El chip de la CPU es una de las máximas expresiones de este avance tecnológico.

Lógica directa

Puerta SI



Símbolo de la función lógica SI a) Contactos, b) Normalizado y c) No normalizado

La puerta lógica SI, realiza la función booleana igualdad. En la práctica se suele utilizar como amplificador de corriente (buffer en inglés).

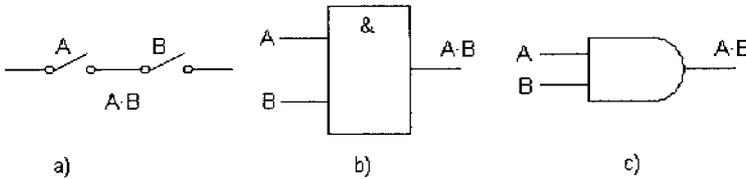
La ecuación característica que describe el comportamiento de la puerta SI es:

$$F = A$$

Su tabla de verdad es la siguiente:

Tabla de verdad puerta SI	
Entrada A	Salida A
0	0
1	1

Puerta Y (AND)



Símbolo de la función lógica Y a) Contactos, b) Normalizado y c) No normalizado

La puerta lógica Y, más conocida por su nombre en inglés *AND*, realiza la función booleana de producto lógico. Su símbolo es un punto (\cdot), aunque se suele omitir. Así, el producto lógico de las variables A y B se indica como AB, y se lee A y B o simplemente A por B.

La ecuación característica que describe el comportamiento de la puerta AND es:

$$F = AB$$

Su tabla de verdad es la siguiente:

Tabla de verdad puerta AND		
Entrada A	Entrada B	Salida AB
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

Su definición se puede dar, como una compuerta que entrega un 1 lógico sólo si todas las entradas están a *nivel alto* 1.

Puerta O (OR)

La puerta lógica O, más conocida por su nombre en inglés *OR*, realiza la operación de suma lógica.

La ecuación característica que describe el comportamiento de la puerta OR es:

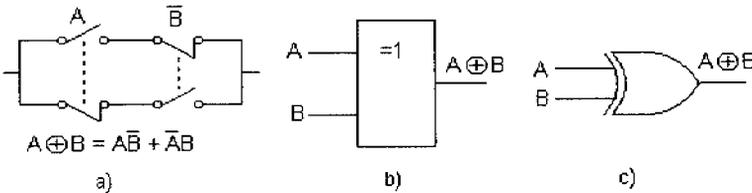
$$F = A + B$$

Su tabla de verdad es la siguiente:

Tabla de verdad puerta OR		
Entrada A	Entrada B	Salida A + B
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

Podemos definir la puerta O como aquella que proporciona a su salida un 1 lógico si al menos una de sus entradas está a 1.

Puerta OR-exclusiva (XOR)



Símbolo de la función lógica O-exclusiva. a) Contactos, b) Normalizado y c) No normalizado

La puerta lógica O-exclusiva, más conocida por su nombre en inglés *XOR*, realiza la función booleana $A'B+AB'$. Su símbolo es el más (+) inscrito en un círculo. En la figura de la derecha pueden observarse sus símbolos en electrónica.

La ecuación característica que describe el comportamiento de la puerta XOR es:

$$F = A \oplus B$$

Su tabla de verdad es la siguiente:

Tabla de verdad puerta XOR		
Entrada A	Entrada B	Salida $A \oplus B$
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

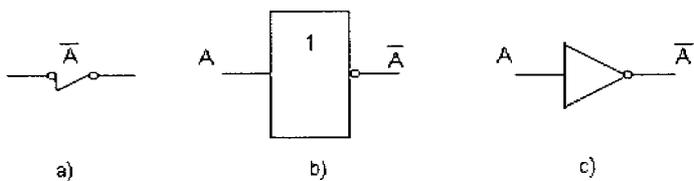
Se puede definir esta puerta como aquella que da por resultado uno, cuando los valores en las entradas son distintos. ej: 1 y 0, 0 y 1 (en una compuerta de dos entradas).

Si la puerta tuviese tres o más entradas, la XOR tomaría la función de suma de paridad, cuenta el número de unos a la entrada y si son un número impar, pone un 1 a la salida, para que el número de unos pase a ser par. Esto es así porque la operación XOR es asociativa, para tres entradas escribiríamos: $a \oplus (b \oplus c)$ o bien $(a \oplus b) \oplus c$. Su tabla de verdad sería:

XOR de tres entradas			
Entrada A	Entrada B	Entrada C	Salida $A \oplus B \oplus C$
0	0	0	0
0	0	1	1
0	1	0	1
0	1	1	0
1	0	0	1
1	0	1	0
1	1	0	0
1	1	1	1

Lógica negada

Puerta NO (NOT)



Símbolo de la función lógica NO a) Contactos, b) Normalizado y c) No normalizado

La puerta lógica NO (*NOT* en inglés) realiza la función booleana de inversión o negación de una variable lógica.

La ecuación característica que describe el comportamiento de la puerta NOT es:

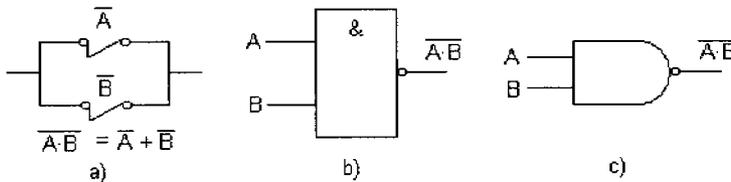
$$F = \bar{A}$$

Su tabla de verdad es la siguiente:

Tabla de verdad puerta NOT	
Entrada A	Salida \overline{A}
0	1
1	0

Se puede definir como una puerta que proporciona el estado inverso del que esté en su entrada.

Puerta NO-Y (NAND)



Símbolo de la función lógica NO-Y. a) Contactos, b) Normalizado y c) No normalizado

La puerta lógica NO-Y, más conocida por su nombre en inglés *NAND*, realiza la operación de producto lógico negado. En la figura de la derecha pueden observarse sus símbolos en electrónica.

La ecuación característica que describe el comportamiento de la puerta NAND es:

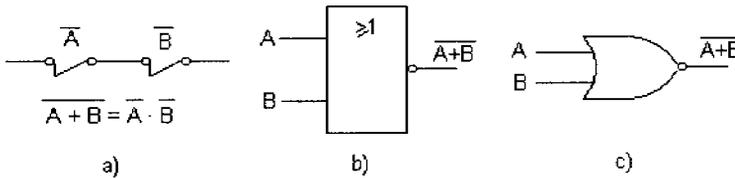
$$F = \overline{AB} = \overline{A} + \overline{B}$$

Su tabla de verdad es la siguiente:

Tabla de verdad puerta NAND		
Entrada A	Entrada B	Salida \overline{AB}
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

Podemos definir la puerta NO-Y como aquella que proporciona a su salida un 0 lógico únicamente cuando todas sus entradas están a 1.

Puerta NO-O (NOR)



Símbolo de la función lógica NO-O. a) Contactos, b) Normalizado y c) No normalizado

La puerta lógica NO-O, más conocida por su nombre en inglés *NOR*, realiza la operación de suma lógica negada. En la figura de la derecha pueden observarse sus símbolos en electrónica.

La ecuación característica que describe el comportamiento de la puerta NOR es:

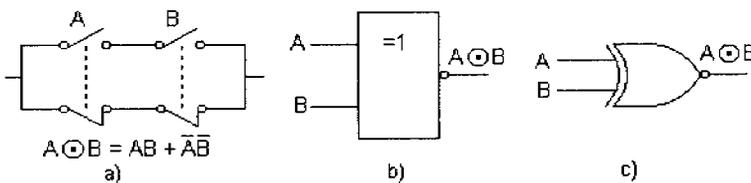
$$F = \overline{A + B} = \overline{A} \times \overline{B}$$

Su tabla de verdad es la siguiente:

Entrada A	Entrada B	Salida $\overline{A + B}$
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	0

Podemos definir la puerta NO-O como aquella que proporciona a su salida un 1 lógico sólo cuando todas sus entradas están a 0. La puerta lógica NOR constituye un conjunto completo de operadores.

Puerta equivalencia (XNOR)



Símbolo de la función lógica equivalencia. a) Contactos, b) Normalizado y c) No normalizado

La puerta lógica equivalencia, más conocida por su nombre en inglés *XNOR*, realiza la función booleana $AB + A'B'$. Su símbolo es un punto (\odot) inscrito en un círculo. En la figura de la derecha pueden observarse sus símbolos en electrónica. La ecuación característica que describe el comportamiento de la puerta XNOR es:

$$F = \overline{A \oplus B}$$

Su tabla de verdad es la siguiente:

Entrada A	Entrada B	Salida $\overline{A \oplus B}$
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	1

Se puede definir esta puerta como aquella que proporciona un 1 lógico, sólo si las dos entradas son iguales, esto es, 0 y 0 ó 1 y 1.

http://es.wikipedia.org/wiki/Puerta_l%C3%B3gica

III.- AUTOMATIZACIÓN

III.1.- Introducción al Control Automático

En la actualidad la automatización y el control son conocimientos que están revolucionando la vida del ser humano tanto en sus vidas cotidianas como en sus lugares de trabajo. Así cada día se van encontrando soluciones, con la ayuda de la automatización, a los problemas que se presentan ya sea desde procesos en industrias, manejo de información financiera, transporte, comunicaciones, confort en lugares públicos, etc. Desde la primera industrialización el mundo ha estado cambiando apresuradamente y más que nada por el avance científico y tecnológico, así entonces todas las culturas que quieran seguir existiendo tienen que adaptarse a este nuevo sistema de vida.

Lo que ocurre actualmente en los países desarrollados, donde la mayoría de la población puede satisfacer sus necesidades alimentarias, ocurre por primera vez desde que el hombre pobló el mundo. Es un milagro que se debe al progreso científico y técnico, a los avances en la industria y en la agricultura.

La aplicación práctica de un descubrimiento científico, la fuerza elástica del vapor de agua, preparó un proceso de renovación de la industria, tan profunda que alteró completamente el aspecto de los países donde tuvo lugar. Se disponía de un sustituto del esclavo, muchas veces más poderoso.

Se sustituía, finalmente, el trabajo muscular por el trabajo de las máquinas. Energías mucho más poderosas se ponían al servicio del hombre, permitiendo una mayor acción sobre la naturaleza. Después de las máquinas de vapor, son los motores de explosión, la combustión interna y la energía los que dan origen a nuevos desarrollos industriales.

El advenimiento de la primera revolución industrial permitió liberar al hombre de la tarea primaria de la utilización de la fuerza muscular, para conformar y utilizar más herramientas. Esta liberación le permitió canalizar sus energías para crear nuevos utensilios y nuevos desarrollos.

Desafortunadamente, la primera revolución industrial presentó dos aspectos. Paralelamente con el progreso sin par, con el aumento de la riqueza y del nivel de vida de un gran sector de la población, la industrialización desencadenó catástrofes y miserias.

Esta época puede ser el comienzo a una segunda revolución industrial como consecuencia del advenimiento de la automatización.

Horta Santos, José J
Técnicas de automatización industrial

¿Cuáles serán las consecuencias que se deriven de esta situación? ¿La notoria independencia de sistemas e industrias automatizados con respecto al humano creará un desequilibrio en el bienestar social? ¿Se debe reglamentar el uso de la automatización o dejar que crezca espontáneamente? Ciertamente las respuestas a preguntas como estas no se saben y quedan fuera de la explicación de este trabajo pero seguro serán temas de investigación futuros.

Se podría decir que el progreso ha sido el proceso de humanización del mundo inanimado. Esta capacidad no se detiene: en los últimos años se han concebido dispositivos que no solo extienden la locomoción muscular, habla, oído o vista del ser humano sino también al sistema nervioso y la capacidad de pensar.

Y es el conjunto de técnicas que permiten tal prodigio a la que se le denomina automatización. Ésta fue posible como resultado de las generalizaciones permitidas por una nueva ciencia, la cibernética y la electrónica especialmente en el dominio de las computadoras.

Desde el comienzo de la revolución industrial, hasta hace pocas décadas, el mando y control de todos los mecanismos y de todos los equipos, los efectuaban operadores humanos.

Se trataba de una asociación en dónde la máquina suministraba la fuerza y el hombre el pensamiento.

El maquinismo, al no disponer de medios de información tiene un comportamiento que se repite uniformemente, indiferente a las alteraciones del medio. Es el operador, el operario, que al disponer de observaciones sensoriales, de datos, de aparatos de medición y de informaciones varias, introduce correcciones en el funcionamiento del sistema de máquinas de modo de llegar, lo mejor que sea posible, a un fin determinado.

La automatización es un concepto y un conjunto de técnicas por medio de las cuales se construyen sistemas activos, capaces de actuar con una eficacia óptima con el uso de informaciones recibidas del medio sobre el que actúan. Con base en informaciones el sistema calcula la acción correctiva más apropiada. Un sistema de automación se comporta exactamente como un operador humano el que, utilizando las informaciones sensoriales, piensa y ejecuta la acción mas apropiada.

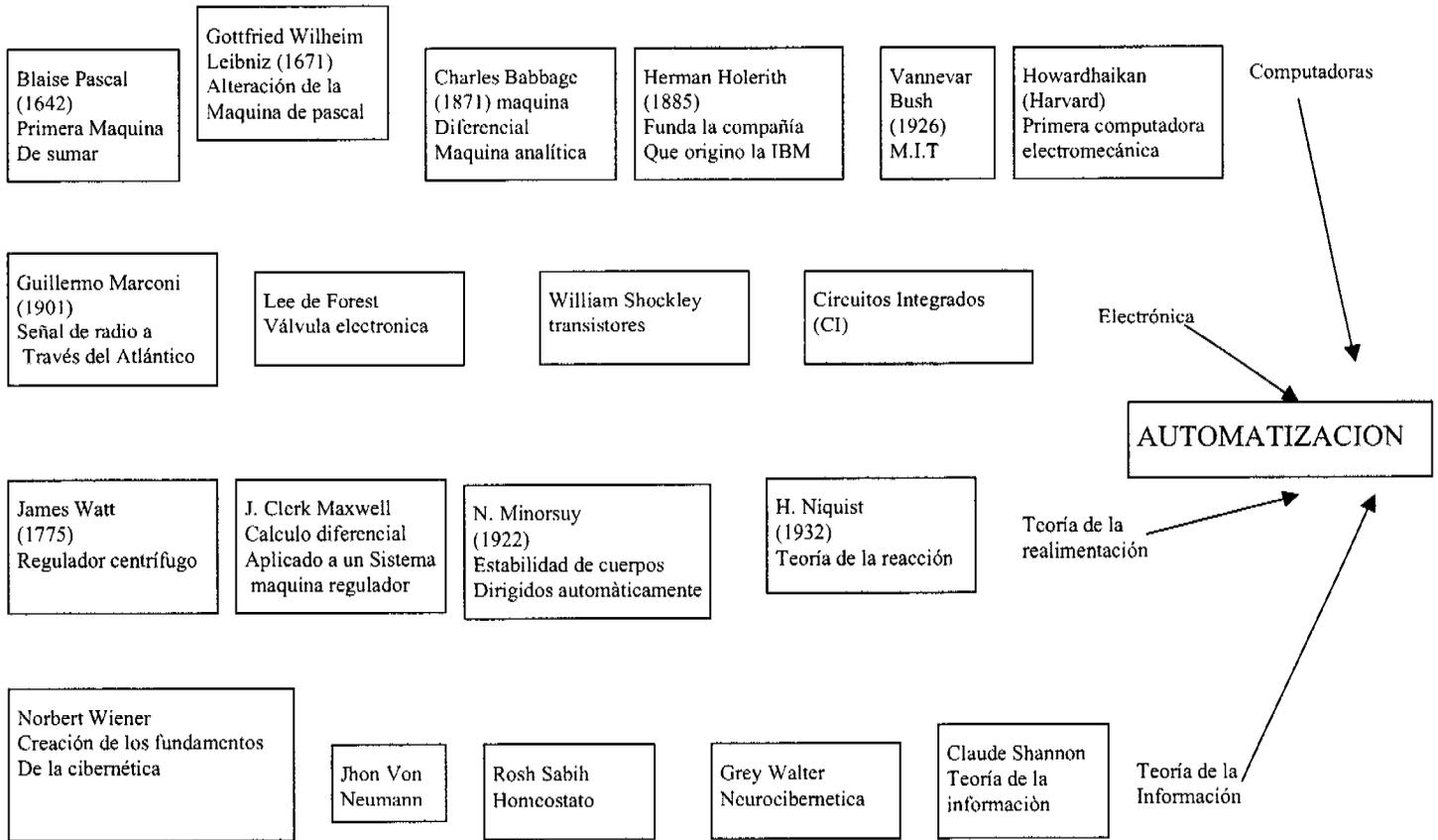
Pero la mayor parte de la industria mecanizada esta simbolizada en la cadena de producción en masa, ya se trate de un montaje mecánico, de fabricación de lámparas, o de empaquetado de cigarrillos. Los movimientos de las máquinas están sincronizados; son rigurosa y cronométricamente repetitivos.

Este tipo de industria exige del operario movimientos también monótonos que puedan seguir a la máquina dentro de rigurosos límites de tiempo. El operario queda reducido a una condición de esclavo de la máquina, sin ninguna posibilidad de alterar su comportamiento.

La automatización es la herramienta más poderosa para la producción de la riqueza que ha conocido el mundo histórico. Después de la primera revolución industrial que, con sus máquinas motrices y sus automatismos ciegos, vino a revolucionar todas las constantes económicas y sociales del hombre, estamos desde hace poco tiempo presenciando la implementación de una segunda revolución industrial de consecuencias incalculables para el mundo.

Sucesora de la cibernética, la electrónica, las computadoras digitales, la teoría de la realimentación, la informática, la lógica simbólica, la técnica de los transductores de medida, etc. la automatización se aplica prácticamente en todos los dominios de la actividad humana.

En el esquema siguiente se resumen las principales aportaciones para el advenimiento de la automatización.



Las funciones generales de la automatización se pueden resumir como se indica en la figura 3.1

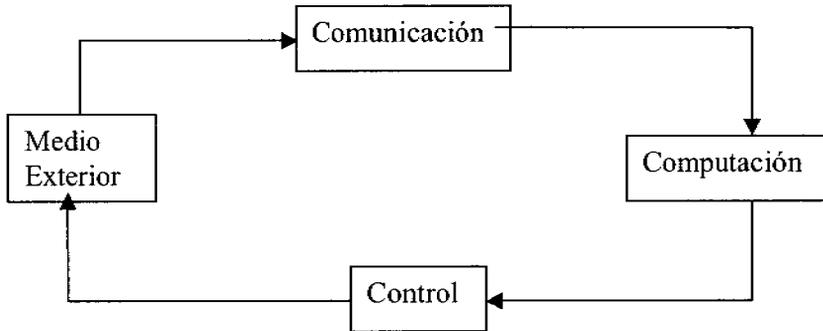


Figura 3.1

Las analogías con las de un operador humano se pueden esquematizar de este modo

Sistema de automación	Operador Humano
Comunicación ó Información	Impresión sensorial
Computación	Raciocinio
Control	Acción

El órgano central de un sistema de automatización es en la mayoría de los casos, la computadora electrónica.

La computadora, debido a la posibilidad que tiene de manejar gran numero de datos en tiempo muy corto, y debido a que puede procesar operaciones lógicas y matemáticas, permite extender el dominio de la automatización a un sin número de actividades humanas.

Por tanto, las limitaciones intrínsecas del hombre confieren a este proceso de integración una lentitud incompatible con las grandes producciones de las unidades fabriles modernas. Atender a dos hechos simultáneos es prácticamente imposible. Un esfuerzo encaminado a una mayor rapidez trae implícito un aumento en errores y falsas maniobras.

El aumento de los rendimientos (cualitativos y/o cuantitativos) de un proceso fabril, esto es, su optimización, a cualquier nivel de producción exige el conocimiento de la matemática de las relaciones entre gran numero de variables y parámetros. Estas relaciones (funciones de transferencia) se deben establecer tanto en un régimen estático (en equilibrio) como dinámico (durante o después de las perturbaciones del equilibrio). Estas relaciones pueden alcanzar gran complejidad (en el caso de que se puedan establecer).

Solo la computadora está a la altura de esta misión. El operador humano apenas puede y con lentitud, introducir acciones aproximadas de control.

El control automático es verdaderamente una primera fase de la automatización. Por tanto se trata de una automatización no integrada y a nivel de sistemas fabriles relativamente sencillos.

Al paso que al principio era el operario quien, guiándose, por ejemplo, por la lectura de un manómetro, intentaba regular una presión, abriendo o cerrando válvulas, ahora es una cadena de regulación (o red de control) lo que realiza la misma actividad con muchas ventajas.

Se encuentran en una cadena de control las funciones básicas de medida, cálculo y control que serán características de la automatización.

Aunque no se exija ya del operario una atención constante en el control de las innumerables variables continúa siendo necesario que el operario integre mentalmente una multitud de lecturas y que en todo momento, sepa lo que está ocurriendo en la fábrica. Las varias redes de control actúan aisladamente, independientes una de las otras. Actuando "inteligentemente" sus pequeños dominios (regulación de un nivel, de una temperatura o de un gasto), los controles son ciegos para lo que ocurre en otras cadenas.

Corresponde al operario el papel, aunque muy complejo y por encima de sus posibilidades, de armonizar el proceso fabril a fin de conjugar las numerosas tendencias en juego. Debe decidir, de acuerdo con el técnico de la fábrica, las condiciones que se deben mantener en ciertas partes de la instalación. Es una especie de director de orquesta donde cada músico está sometido a influencias externas que lo desvían de la partitura a cada instante.

Además de estas funciones, el operador debe mantener un registro de valores de las variables para futura referencia y para detección de anomalías.

La automatización industrial funciona la mayoría de las veces del modo siguiente: una computadora digital recibe señales de entrada provenientes de diversos instrumentos de medida de la fábrica, compara esas medidas con los valores deseados y ejecuta operaciones matemáticas de manera que generen señales de conexión que va a instruir a los instrumentos de control sobre la alteración más apropiada en cada instante.

La computadora no dirige su "atención" simultáneamente a todas las variables de entrada y a todos los instrumentos de salida. Por el contrario; las barre sucesivamente en rápida secuencia. Sin embargo, es tan grande su velocidad que cada uno de los instrumentos de control no notará las distracciones muy cortas de la computadora y creará que dispone de toda su atención.

La computadora se puede programar de modo de optimizar un conjunto de condiciones (temperaturas, presiones, flujos, composiciones, etc.) de modo de llegar en todos los momentos a una producción óptima desde determinado punto de vista, ya sea cualitativo, ya sea cuantitativo. Esta optimización se lleva a cabo por medio de la revolución de sistemas de ecuaciones diferenciales que expresan las relaciones entre las variables en juego, esto es, que expresan las características del proceso a controlar.

Con el desarrollo de procesos de automatización, la actuación de los operarios fabriles quedará reducida a funciones de vigilancia y mantenimiento. Evidentemente se necesitarán técnicos de alto nivel, capaces de reparar y dirigir el sistema electrónico.

III.2 Fundamentos de Control automático

En sus principios generales obedece al esquema general de automatización. Como se muestra en la figura 3.2

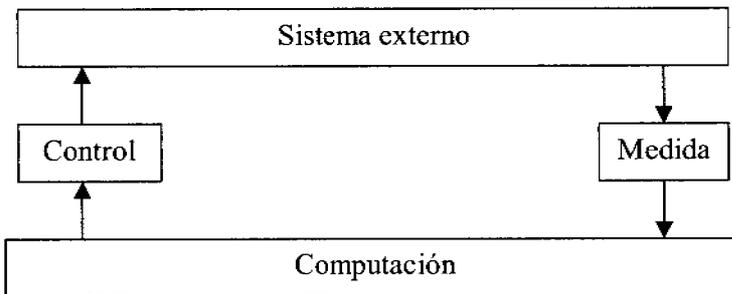


Figura 3.2

Como se puede ver en la figura existe una señal de retorno al sistema externo, ésta es una señal de corrección y depende de la señal que sale de la medida. En virtud a este retorno se dice que el sistema tiene realimentación ó retroalimentación.

El estudio de la retroalimentación se encuentra más específicamente en la cibernética en donde también se ve el fenómeno de la comunicación y el control, en el hombre, en la máquina y en la naturaleza. Además también estudia la teoría de la información y de la comunicación.

El control automático tiene como finalidad mantener cierta variable o condición en cierto valor (fijo o variando el tiempo a nuestra voluntad). Este valor que se pretende es el *valor deseado*.

Para alcanzar esta finalidad el sistema de control automático opera de la siguiente manera:

- Medida del valor actual de la variable que se quiere regular.
- Comparación del valor actual con el valor deseado (siendo este último comunicado al sistema de control por el operador humano o una computadora). Determinación de la desviación.
 - Utilización de la desviación (o error) para generar una señal de corrección.
 - Aplicación de la señal de corrección al sistema a controlar de modo que sea eliminada la desviación, esto es, de manera a volver a llevar a la variable al valor deseado. La señal de corrección introduce variaciones de sentido contrario al error.

Se puede definir el control automático como el mantenimiento del valor de cierta condición a través de su medida, de la determinación de la desviación en relación con el valor deseado, y de la utilización de la desviación para así generar y aplicar una acción de control capaz de reducir o anular la desviación.

Para concretar se considera el control de temperatura del agua en un depósito, como se ve en la figura siguiente:

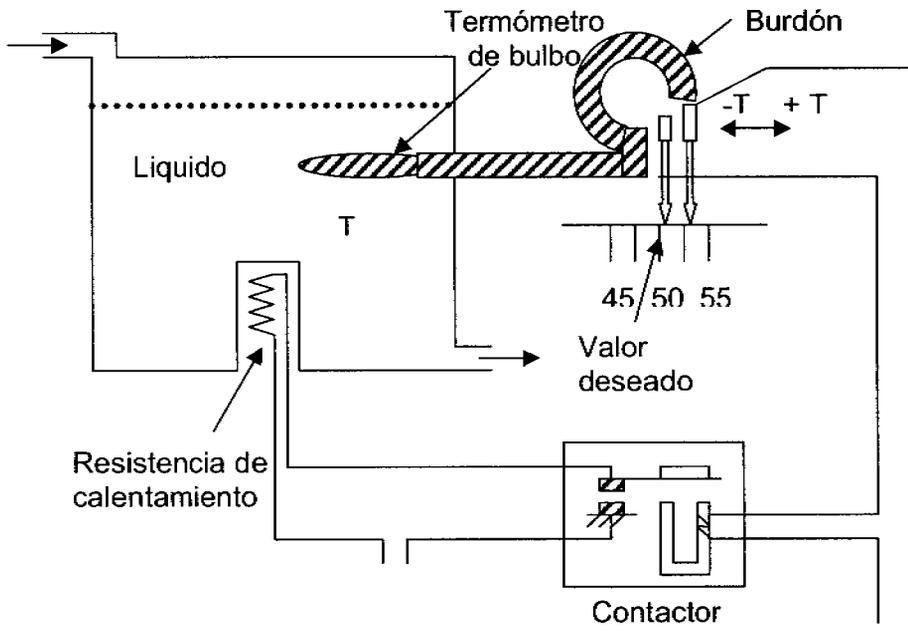


Figura 3.3

De todas las magnitudes relativas al sistema (nivel de agua, presión, densidad, pH, energía suministrada, salinidad, etc.) la magnitud que nos interesa regular en este caso es la temperatura del agua.

La temperatura es entonces la *variable controlada*.

Un termómetro de bulbo permite medir el valor actual de la variable controlada. Las dilataciones y contracciones del fluido contenido dentro del bulbo obligarán al burdón (tubo curvo de sección elipsoidal) a enrollarse o desenrollarse. Los movimientos del extremo del burdón indican la temperatura del agua, la que puede leerse en una escala.

En el diagrama se presenta un contacto eléctrico en el extremo del burdón y otro contacto de posición ajustable a voluntad. Este conjunto constituye un termostato.

Admitase que se quiere mantener la temperatura del agua en la vecindad de los 50 grados centígrados. Este valor de temperatura del agua es el *valor deseado* v.

Si la temperatura, por cualquier motivo, sobrepasa el valor deseado, el contacto del termostato queda abierto. La bobina del contactor no está excitada y este mantiene interrumpida la alimentación de la resistencia de calentamiento. Al no haber suministro de

calor, la temperatura del agua bajará debido a las pérdidas, y la temperatura se acerca al valor deseado v .

Cuando, por el contrario, la temperatura es inferior al valor deseado, el burdón se enrolla y cierra el contacto del termostato que alimenta a la resistencia de calentamiento. En consecuencia, la temperatura del agua en el depósito subirá de nuevo para llegar al valor deseado v .

En este sencillo ejemplo se encuentran las funciones esenciales de una red de control.

Medida	Comparación (a cargo del sistema termométrico)	Efectuada por el sistema de contactos (posición relativa)
Computación	Generación de la señal de conexión.	Efectuada también por el sistema de contactos y por el resto del circuito eléctrico del termostato.
Corrección	Desempeñada por el órgano de control.	Contactador.

Nótese que, para la conexión de la **variable controlada** (temperatura) se actuará sobre una variable (cantidad de calor suministrado al depósito). La acción de control se aplicará normalmente a otra variable de la cual depende la variable controlada, y que se designa con el nombre de **variable manipulada**.

En nuestro ejemplo, la SEÑAL DE CONTROL puede ser la corriente eléctrica.

La función que relaciona la señal de control con la desviación es mucho mas elaborada.

La figura 3.4 representa en un diagrama simbólico las diversas funciones y variables encontradas.

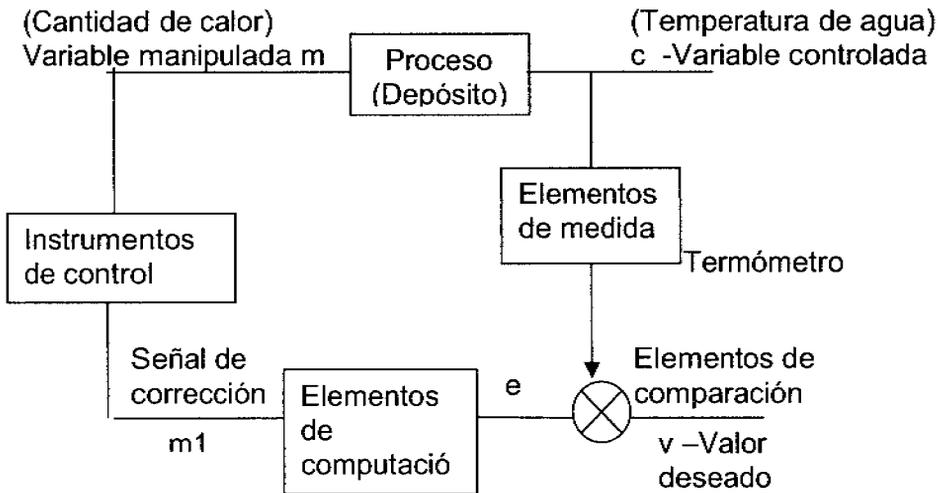


Figura 3.4

Horta Santos, José J
Técnicas de automatización industrial

Dos Tipos de Control Automático

El control automático resuelve dos tipos diferentes de problemas:

- 1 Control con valor deseado fijo
- 2 Control con valor deseado variable.

En el control de tipo 1 se quiere que la variable controlada tenga un valor constante a pesar de las perturbaciones externas sobre el sistema al que pertenece. Es el caso de la mayoría de los controladores industriales.

Volviendo al ejemplo de nuestro depósito, admítase la existencia de una entrada de agua fría. Esta temperatura de entrada, si varía con el tiempo, constituirá una variable capaz de perturbar el valor de la variable controlada.

A las variables perturbadoras se les da el nombre de variables de carga.

Se presentan por la letra u .

En el control de tipo 2, la variable controlada debe mantener un *valor deseado que cambia en el tiempo*, de acuerdo con las órdenes dadas. La variable de carga es constante.

Es lo que ocurre, por ejemplo, en el mando de un navío. Sería imposible para el piloto actuar directamente sobre el mecanismo de dirección. Se recurre entonces a una rueda de timón

de pequeñas dimensiones cuya posición en cada instante constituye el valor deseado v , el que se transmite, en forma de señal, a los instrumentos de control de mando.

El control de tipo 2 constituye el caso general del servo-mecanismo.

Diagramas de Bloques

Se utilizan diagramas de bloques para representar las relaciones de dependencia entre las variables que interesan a la cadena de control.

El proceso a regular se presenta por un rectángulo con una entrada (variable manipulada) y con una salida (variable controlada). Este rectángulo simboliza la relación funcional que liga a la variable de salida con la variable de entrada y con el tiempo. Como se refiere a variaciones en el tiempo se trata de una función dinámica.

Se entiende por proceso una alteración o una serie de alteraciones sobre materiales cualesquiera o sobre formas de energía a fin de llevarlas a estados o formas más útiles.

Las alteraciones pueden ser de naturaleza química o física. Como ejemplo de procesos se pueden indicar los casos de una caldera de vapor, una instalación de bombeo, una columna de destilación, una máquina herramienta de mando numérico, etc.

Las otras relaciones dinámicas entre las variables importantes de la cadena se representan también por rectángulos con una entrada y una salida.

La función algebraica de adición se simboliza por un círculo con dos entradas y una salida.

Se ilustra con el ejemplo de un control de presión. Figura 3.5.

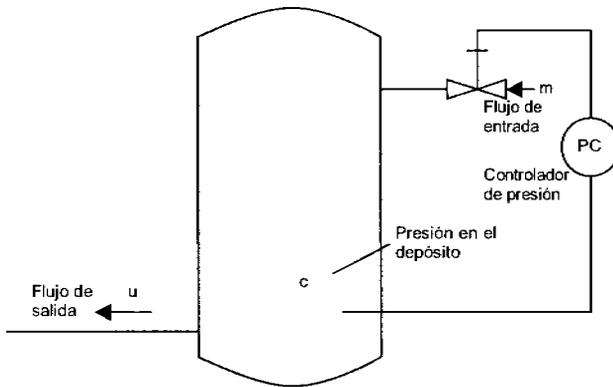


Figura 3.5

La variable controlada es la presión c y la variable manipulada es el gasto de entrada m . En este caso la variable de carga más importante es el gasto de salida u .

Siendo u constante, el proceso se representa, desde el punto de vista del control como se ve en la figura 3.6

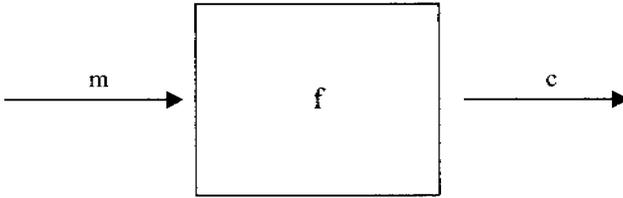


Figura 3.6

Esta representación geométrica simboliza la función dinámica que liga la salida c con la entrada m y con el tiempo.

$$C = f(m, t)$$

Si la variable de carga u tuviera variaciones en el tiempo y sólo así se justifica el control automático, el proceso puede representarse como en las figura 3. 7.

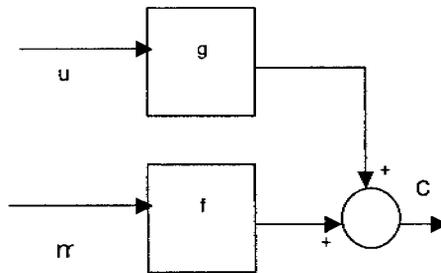


Figura 3. 7

La relación dinámica entre las variables es, generalmente:

$$C = f(m, t) + (u, t)$$

En la figura 3.8, se representa la cadena completa, incluidas las funciones de los instrumentos de realimentación.

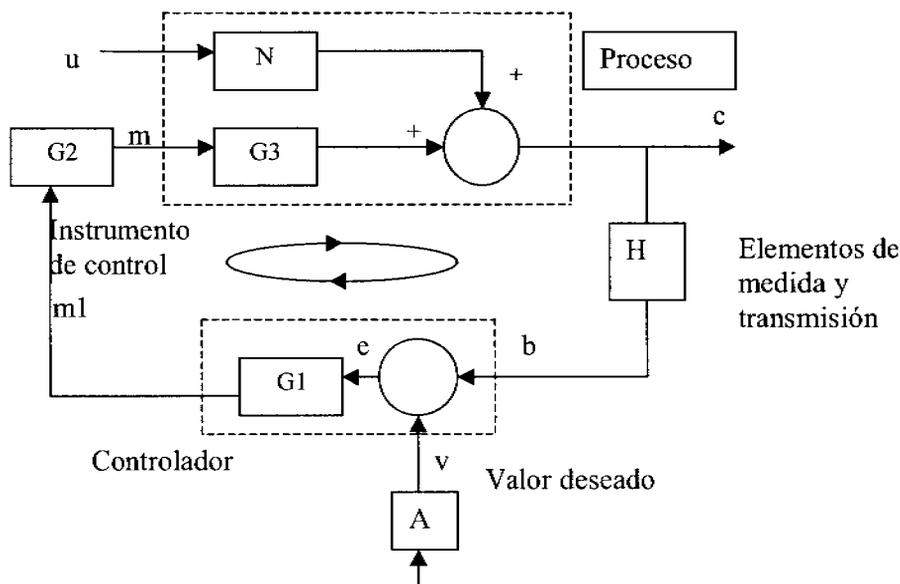


Figura 3.8.

Horta Santos, José J
Técnicas de automatización industrial

III. 3 Procesos

III.3.1 Características Estáticas y Dinámicas

Para el estudio de la automatización de un proceso interesa el conocimiento de las relaciones existentes entre las variables de entrada y salida (variable manipulada y variable controlada) cuando no hay variaciones en el tiempo, esto es en condiciones de equilibrio. Las relaciones entre las variables, en dos condiciones de equilibrio, son las características estáticas. Así el proceso representado en la figura 3.9, a cada gasto de entrada Q_1 corresponderá, después de alcanzado el equilibrio, un cierto nivel h . No se acciona la restricción R.

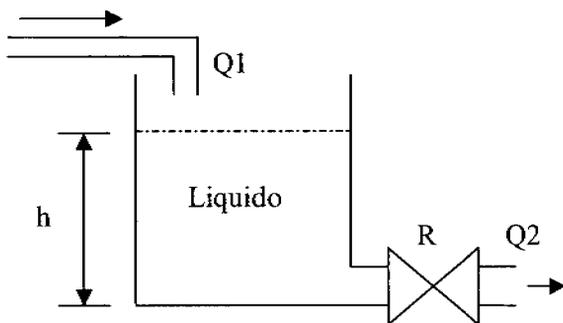


Figura 3.9

La relación $h=f(Q_1)$ expresa una de las características estáticas del proceso.

En las relaciones que expresan las características estáticas no entra la variable tiempo.

Se define la ganancia estática de un proceso, cuando se encuentra en equilibrio la relación entre la salida y la entrada.

$$K=X_s/X_e$$

Pero la cadena de control automático se concibió para actuar cuando las condiciones se desvían del equilibrio. Interesa, por tanto, conocer en especial la manera como la variable controlada evoluciona a lo largo del tiempo cuando ocurren perturbaciones en el equilibrio del proceso. Estas desviaciones del equilibrio se deben a alteraciones en los valores de una o más variables de carga o de la propia variable manipulada. En el ejemplo anterior, si el gasto Q_1 pasara bruscamente a un nuevo valor (es lo que se llama perturbación en escalón) ¿cómo ha de variar la variable h a lo largo del tiempo hasta alcanzar un nuevo equilibrio? Esto es, en forma de función:

$$h=\Psi(Q_1, t)$$

Las ecuaciones y curvas que expresan la evolución de la variable controlada después de una perturbación, constituyen las características dinámicas. El conocimiento del comportamiento dinámico de los procesos de los restantes elementos de la cadena de control, constituyen el problema fundamental del control automático. Las características dinámicas pueden establecerse, en los casos más sencillos, por vía analítica utilizando ecuaciones diferenciales con el solo conocimiento de las leyes físicas y de las constantes del proceso.

III.3.2 Tipos de Procesos Industriales.

Los procesos industriales, en función de su evolución con el tiempo, pueden clasificarse en alguno de los grupos siguientes:

- Continuos
- Discontinuos o por lotes
- Discretos
- Eléctricos, Mecánicos, Hidráulicos, Neumáticos y Térmicos

Tradicionalmente, el concepto de automatización industrial se ha ligado al estudio y aplicación de los sistemas de control empleados en los procesos discontinuos y los procesos discretos, dejando los procesos continuos a disciplinas como regulación o servomecanismos.

Continuos:

Un proceso continuo se caracteriza porque las materias primas están constantemente entrando por un extremo del sistema, mientras que en el otro extremo se obtiene de forma continua un producto terminado.

Un ejemplo típico de proceso continuo puede ser un sistema de calefacción, figura 3.10, para mantener una temperatura constante en una determinada instalación industrial. La materia prima de entrada es la temperatura que se quiere alcanzar en la instalación; la salida será la temperatura que realmente existe. El sistema de control consta de un comparador que proporciona una señal de error igual a la diferencia de la temperatura deseada y la temperatura que realmente existe, la señal de error se aplica al regulador que adaptara y amplificara la señal que ha de controlar la electro válvula que permite el paso de gas hacia el quemador de la caldera.

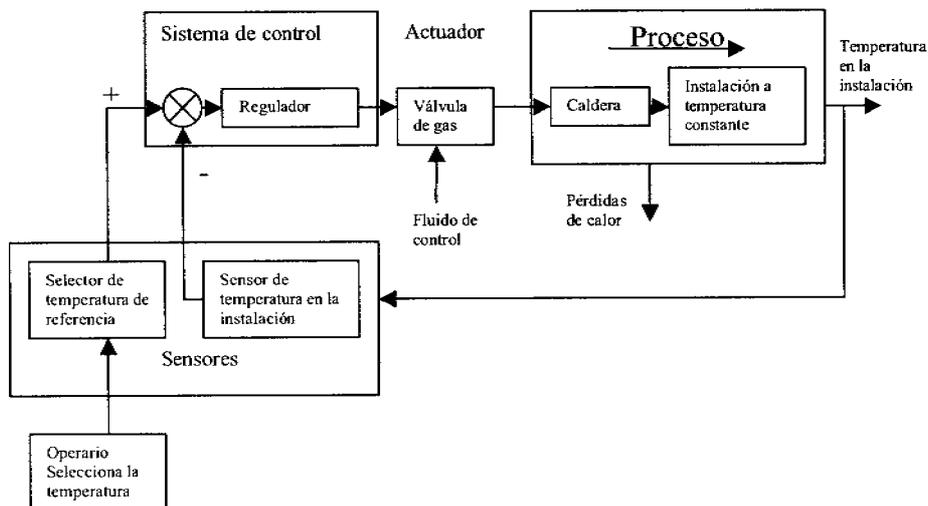


Figura 3.10

El regulador en función de la señal de error y las pérdidas de calor existentes en la instalación mantendrá la temperatura deseada en la instalación, controlando la cantidad de gas que pasa por la electro válvula; se utilizan dos sensores: la temperatura real existente en la sala y la temperatura programada por el operario.

A la vista de la instalación se comprueba dos características propias de los sistemas continuos:

- El proceso se realiza durante un tiempo relativamente largo.
- Las variables empleadas en el proceso y sistema de control son de tipo analógico; dentro de unos límites determinados las variables pueden tomar infinitos valores.

El estudio y aplicación de los sistemas continuos es objeto de disciplinas como Regulación y Servomecanismos.

Discretos:

El producto de salida se obtiene a través de una serie de operaciones, muchas de ellas con mucha similitud entre sí. La materia prima sobre la que se trabaja es habitualmente un elemento discreto que se trabaja de forma individual, figura 3.11.

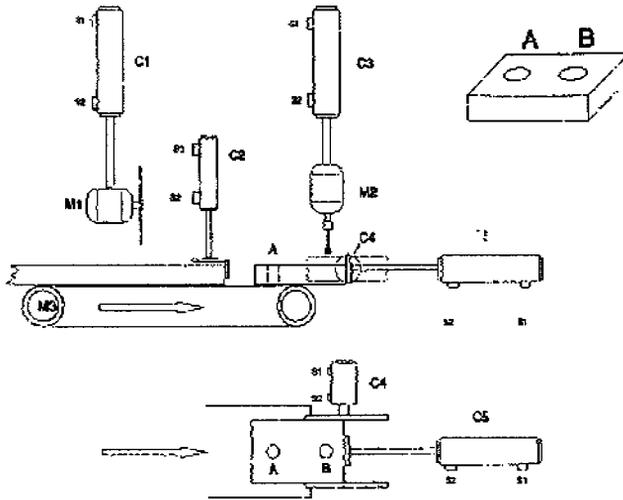


Figura 3.11

Un ejemplo de proceso discreto es la fabricación de una pieza metálica rectangular con dos taladros. El proceso para obtener la pieza terminada puede descomponerse en una serie de estados que han de realizarse secuencialmente, de forma que para realizar un estado determinado es necesario que se hayan realizado correctamente los anteriores para el ejemplo propuesto estos estados son:

- Corte de la pieza rectangular con unas dimensiones determinadas, a partir de una pieza que alimenta la sierra.
- Transporte de la pieza rectangular a la base del taladro.
- Realizar el taladro A.
- Realizar el taladro B.
- Evacuar pieza.

Cada uno de estos estados supone a su vez una serie de activaciones y desactivaciones de los actuadores (motores y cilindros neumáticos) que se producirán en función de:

- Los sensores (sensores de posición situados sobre la cámara de los cilindros y contactos auxiliares situados en los contactores que activan los motores eléctricos).
- Variable que indica que se ha realizado el estado anterior.

Discontinuos o por Lotes

Se reciben a la entrada del proceso las cantidades de las diferentes piezas discretas que se necesitan para realizar el proceso. Sobre este conjunto se realizan las operaciones necesarias

para producir un producto acabado o un producto intermedio listo para un procesamiento posterior, figura 3.12

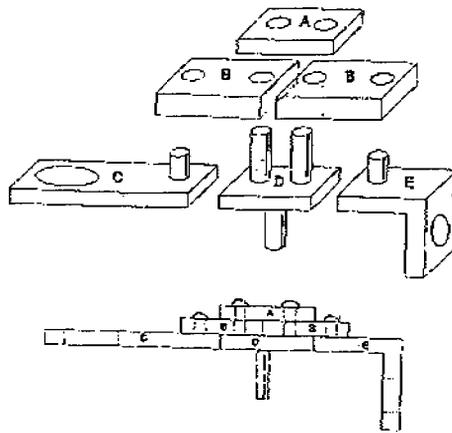


Figura 3.12

Por ejemplo, se trata de formar una pieza de una máquina partiendo de las piezas de la figura, que se han obtenido a partir de una serie de procesos discretos; las piezas se ensamblaran como se indica en la figura; una vez colocadas se remacharán los cilindros superiores de las piezas C, D y E de forma que puedan obtenerse la pieza terminada.

- El proceso puede descomponerse en estados, que, por ejemplo, podrían ser:
- Posicionar piezas C, D y E.
- Posicionar piezas B.
- Posicionar pieza A.
- Remachar los cilindros superiores de C, D y E.

Estos estados se realizarán de forma secuencial, y para activar los dispositivos encargados de posicionar las diferentes piezas –como ocurriría en el proceso discreto- serán necesarias:

- Señales de sensores.
- Variables de estados anteriores.

J. Pedro Romera, J. Antonio Lorite y Sebastián Montoso
Automatización. Problemas resueltos con autómatas programables

Eléctricos, Mecánicos, Hidráulicos, Neumáticos y Térmicos.

Hay semejanza en la forma de las ecuaciones de los sistemas eléctricos y las ecuaciones de los sistemas térmicos, fluidicos y mecánicos.

Por tanto, el análisis dinámico de un proceso se puede hacer con el recurso de las analogías, analizando un proceso eléctrico. Un proceso eléctrico convenientemente escogido, puede simular el comportamiento dinámico de un proceso de cualquier naturaleza.

Sistema eléctrico: Los sistemas eléctricos constituidos por resistencias y capacitancias poseen comportamientos dinámicos similares a los sistemas fluidicos y térmicos.

Recordando las ecuaciones fundamentales de resistencia y capacitancia, figura 3.13

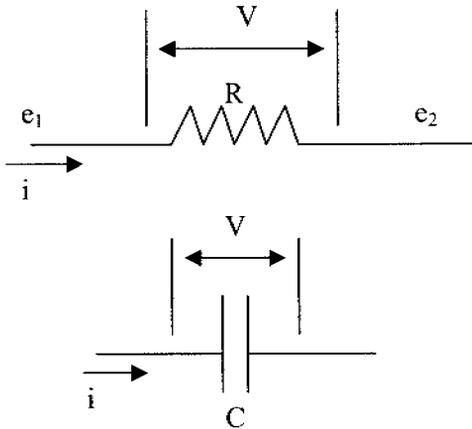


Figura 3.13

Resistencias

$$\boxed{IR = e_1 - e_2} \quad \text{Y} \quad \boxed{iR = V}$$

si la resistencia varía con la corriente o la tensión:

$$\boxed{R = \frac{dV}{di}}$$

Capacitores

$$\boxed{q = CV} \quad 1) \quad \text{Y} \quad \boxed{C = Q/V} \quad 2)$$

donde q es la carga, C la capacitancia y V la tensión aplicada. La dinámica eléctrica del condensador se expresa gracias a la siguiente ecuación diferencial, que se obtiene derivando respecto al tiempo la ecuación 2.

$$i = C \frac{dV}{dt}$$

$$\frac{dq}{dt} = C \frac{dV}{dt} \quad \text{e} \quad \text{como} \quad \frac{dq}{dt} = i$$

Donde:

i - intensidad de corriente

C - capacitancia

t - tiempo

diferenciando 1) se puede también escribir

$$C = \frac{dq}{dV}$$

Las capacitancias eléctricas son generalmente constantes, esto es, no se alteran cuando varía la tensión aplicada. En este caso se aplica la ecuación 2).

Técnicas de automatización industrial
Horta Santos, José J

III. 3.3 Respuesta en los Procesos Industriales

Rendimiento de un Sistema

Como se puede ver en la figura 3.14 la variable y, que es la salida del proceso, debe equiparar su valor al de la entrada x; el sistema intentará lograr esto calculando el error $e = x - y$, y generando una señal que envía al proceso, u, basada en el valor de e. El rendimiento del sistema se mide según los siguientes estándares:

- 1.- La rapidez con que la variable de salida del proceso, y, responde a un cambio en la entrada x.
- 2.- El error e entre la señal de entrada x y la variable de salida del proceso, y, después de un periodo de tiempo.
- 3.- La estabilidad del sistema.
- 4.- La sensibilidad del sistema a las perturbaciones.

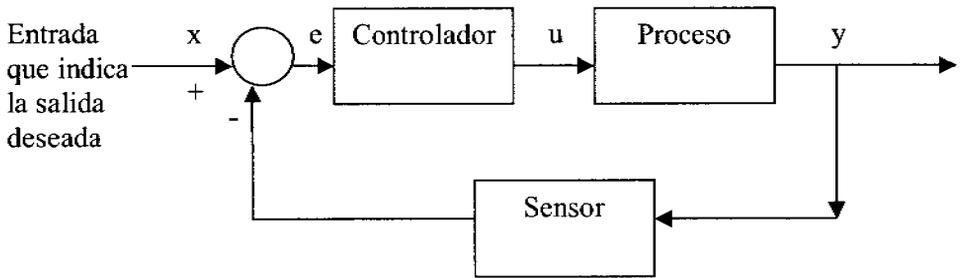


Figura 3.14 sistema de lazo cerrado

El rendimiento de un sistema automatizado se determina midiendo la estabilidad, sensibilidad y rapidez en la respuesta del mismo, además de otros parámetros que afectan igualmente a la salida deseada.

El Transitorio en la Respuesta

Cuando la entrada x a un sistema de control sufre un cambio brusco, la salida y , representada en función del tiempo, responderá a dicho cambio en un modo determinado, que se denomina respuesta en el transitorio o respuesta transitoria. Esta respuesta puede tomar una de las tres formas genéricas que se muestran en la figura 3.15. Se asume que la entrada ha cambiado repentinamente de 0 a 1, y la salida intenta alcanzar dicho valor en el transcurso del tiempo.

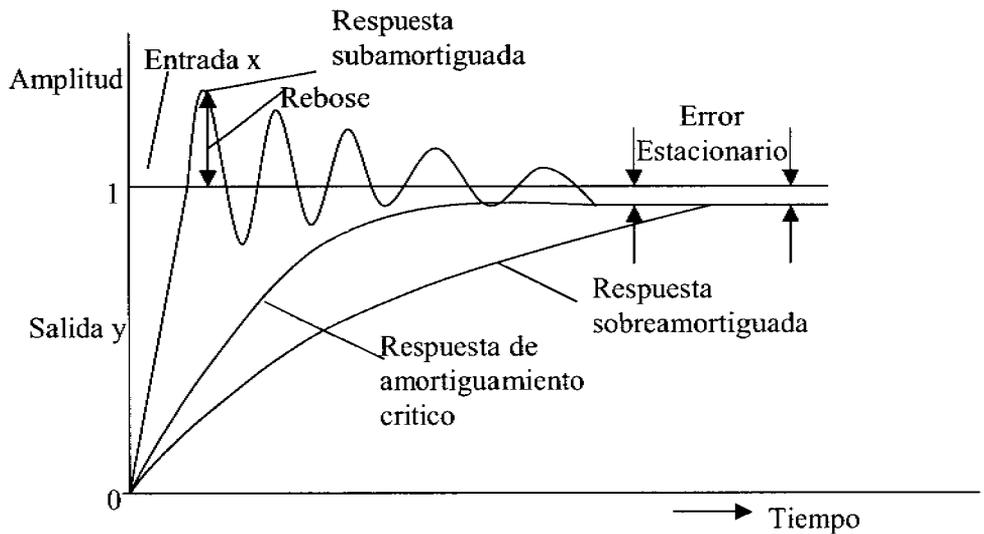


Figura 3.15 tipos de respuesta transitoria

El primer tipo de respuesta se denomina subamortiguada. La salida y asciende rápidamente rebasando con creces el valor fijado por la entrada, luego desciende por debajo de este, y finalmente oscila hasta alcanzar dicho valor, o, más bien, un valor muy próximo al mismo. Se dice que esta respuesta tiene un efecto oscilante.

Una segunda posible respuesta es la que se denomina sobre amortiguada, en la cual la salida y no sólo no llega nunca a rebasar el valor dictado por la entrada, sino que además tarda un tiempo relativamente largo en alcanzar su valor final.

El tercer posible tipo de respuesta es la respuesta de amortiguamiento crítico; en este caso la salida y alcanza su valor final en el mínimo tiempo en que esto es posible, sin llegar a rebasar el valor fijado por la entrada x .

Todos los sistemas de control mecánico, eléctrico, etc., tienen características de respuesta en el tiempo.

Un proceso dado puede permitirse el oscilar en torno al valor final sin que ello produzca consecuencias adversas. Sin embargo, otros requieren que la salida jamás sobrepase a la entrada. En cada uno de estos casos deberá elegirse y ajustarse el controlador de modo que se comporte de la manera deseada.

Error del Estado Estacionario

Después del periodo transitorio, la salida y alcanzará, para una entrada x , un valor final estacionario. La diferencia entre la salida final estacionaria y el valor dictado por la entrada es lo que se denomina el error del estado estacionario o, simplemente, error estacionario.

Estabilidad

Si, para una entrada o perturbación dadas, la respuesta en el transitorio es tal que se alcanza una salida estacionaria como la que se muestra en la figura 3.15, entonces se dice que el sistema es estable. Si el sistema es inestable, la salida seguirá aumentando ilimitadamente hasta que el sistema acabe por autodestruirse, a no ser que se incluyan circuitos de seguridad capaces de parar el sistema.

Sensibilidad

La sensibilidad de un sistema es la relación entre el porcentaje de variación de la salida y el porcentaje de variación de las entradas al sistema. Estas entradas pueden ser tanto las normales como perturbaciones no deseadas. Los parámetros del proceso pueden variar debido al envejecimiento, al entorno, o a una calibración incorrecta. Los sistemas en lazo cerrado son mucho menos sensibles a estos cambios que los de lazo abierto, ya que aquellos mantienen la salida bajo control continuo y pueden compensar dichos cambios. Cuando es necesario utilizar sistemas en lazo abierto de mucha precisión (con bajo error estacionario), es necesario seleccionar los componentes del sistema muy cuidadosamente, aunque el coste del mismo sea elevado.

Respuesta en los Sistemas de los Procesos

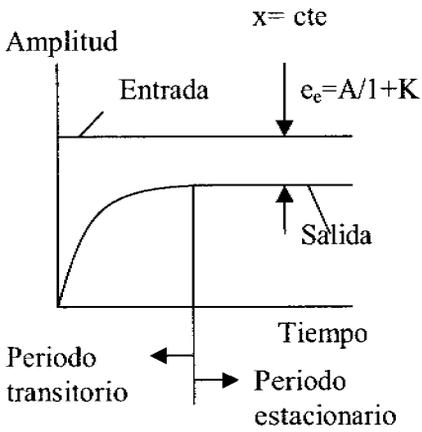
Los tres tipos de sistema son los siguientes.

Tipo 0 ó de primer grado: Una señal de entrada x constante da como resultado un valor constante (posición constante) para la variable de salida que se está controlando, y .

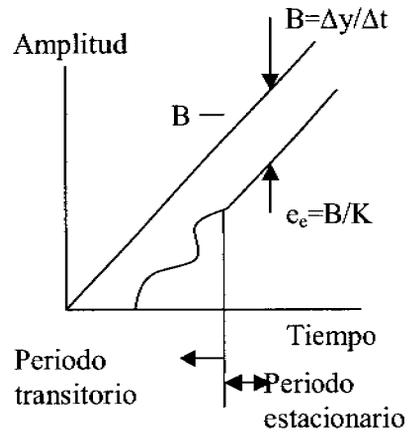
Tipo 1 ó de segundo grado: Una señal de entrada x constante da como resultado un ritmo de variación constante (velocidad constante) para la variable de salida y .

Tipo 2 ó de orden elevado: Una señal de entrada x constante da como resultado una aceleración constante para la variable de salida y .

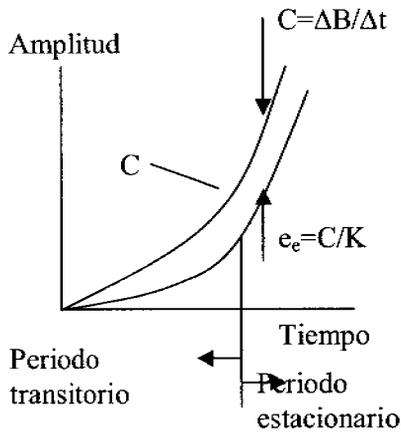
El tipo de sistema queda determinado cuando se consideran conjuntamente el controlador y el proceso. Cada uno de los tipos de sistemas tiene una respuesta estacionaria diferente. Esto se ve en la figura 3.16.



a) Sistema tipo 0



a) Sistema tipo 1



a) Sistema tipo 2

Figura 3.16 Tipos de sistemas y su error estacionario.

Tipo 0

En la figura 3.16 a) puede verse la respuesta estacionaria de este sistema a una entrada con forma de escalón. Si el sistema tiene una ganancia K , el error estacionario e_e correspondiente a este tipo de entrada, suponiendo un salto de la misma a un valor A , es:

$$e_e = A/1+K$$

Cuanto mayor sea el valor de K , menor será el error. Sin embargo un valor demasiado grande puede hacer que el sistema sea inestable. Si la entrada a un sistema de tipo 0 es una velocidad o una aceleración, la salida no es capaz de seguirla y el error estacionario crece con el tiempo y su valor tiende al infinito.

Tipo 1

El error estacionario de un sistema de tipo 1, frente a un escalón de entrada, es nulo. Sin embargo, no lo es el que se obtiene cuando la entrada es lo que denominamos una rampa de pendiente B , como puede verse en la figura 3.16b. K sigue siendo la ganancia del sistema, y en este caso el error estacionario sería:

$$e_e = \frac{B}{K}$$

Como antes, un aumento de K hace disminuir el error estacionario. Un sistema de tipo 1 no puede seguir a una entrada con forma de aceleración; si ésta se presenta, el error estacionario crece indefinidamente.

Tipo 2

Un sistema de tipo 2 tiene un error estacionario nulo, tanto para entradas en forma de escalón como de rampa (entradas de tipo posición y velocidad). Si la entrada es una aceleración de valor C , entonces el error estacionario e_e es el que se muestra en la figura 3.16c y se calcula mediante:

$$e_e = \frac{C}{K}$$

Nuevamente un aumento de K hace disminuir el error estacionario, aunque influye negativamente en la estabilidad del sistema.

Neil M. Schmitt y Robert F. Farwell
A fondo: Robótica y sistemas automáticos

III.4 Características de los controladores

A continuación se examinan los métodos de que se dispone para controlar un sistema, así como las características referentes al rendimiento del sistema, asociadas a cada uno de estos métodos.

La localización del controlador en una cadena cerrada de mando automático está como se ve en la figura 3.17

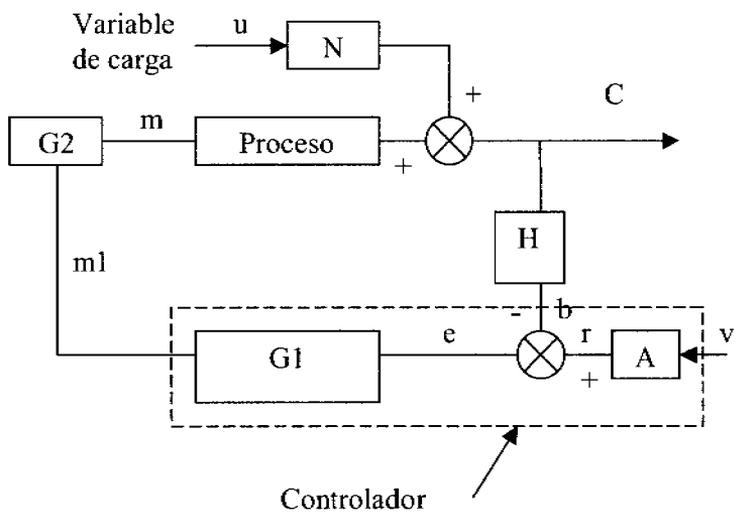


Figura 3.17 Cadena cerrada de mando automático

La medida de la variable controlada la realizan instrumentos (elementos primarios o transductores) que transforman esa variable en otra capaz de ser transmitida al controlador. Si el controlador es local, la señal b recibida de los órganos de medida puede ser de naturaleza mecánica (por ejemplo la rotación de un eje). Pero si el controlador está montado en una sala de control, a una cierta distancia del lugar de medida, la señal de medida es normalmente una señal neumática o eléctrica enviada por el transmisor asociado a los órganos de medida.

Aún en el caso de controladores locales, parte del sistema de medida puede tomar parte del controlador.

Los principales tipos de controladores utilizados en la industria son los neumáticos y los electrónicos. La casi total de las instalaciones fabriles actuales depende, para el control automático de las variables en acción (presiones, temperaturas, niveles, etc.) de controladores de los más diversos tipos.

Se puede considerar los controladores como pequeñas computadoras capaces de generar una señal de salida m_1 , relacionada con el error e por una cierta función matemática (o algoritmo). En un esquema de bloques, se puede simbolizar el controlador por medio de un operador que al actuar sobre el error lo transforma en la señal de control m_1 :

$$m_1 = G_1 e$$

Como se verá en seguida, esta función matemática está habitualmente constituida por la adición de términos de forma simple (términos lineales, derivadas, integrales, etc.). Estos términos se designan como modos de control del controlador.

La forma de la función matemática del controlador (esto es, los modos de control utilizados) y la selección de diversas constantes (ganancias, tiempo de integración, etc.) depende, para que se obtenga un control óptimo, de las características estáticas y dinámicas del proceso.

Bajo este aspecto es que se puede decir que existe en el controlador una memoria del proceso, un “conocimiento”, sobre las características del sistema a controlar. El controlador y el proceso son, pues, complementarios e inseparables cuando se procede al estudio de las características del control y de la estabilidad de una cadena cerrada.

En el esquema de la figura 3.17, H representa a los elementos de medida y transmisión que transforman la *variable controlada* c en una *variable indicada* b . El valor al cual se desea tener la variable controlada, o *valor deseado* v , se introduce en el controlador por un dispositivo mecánico graduado (índice, escala, botón), o neumáticamente. Los órganos de entrada A transforman a v en una variable de la misma naturaleza que b .

Un dispositivo diferencial (representado por un círculo) genera una señal e según la siguiente ley

$$e=r-b$$

donde b y r son magnitudes analógicas de la variable controlada y del valor deseado y como son habitualmente despreciables el atraso y la constante de tiempo de los elementos de medida, se puede decir que, en cualquier instante, e representa el error o desviación entre el valor deseado y la variable controlada.

$$e=v-c$$

La parte G_1 del controlador, constituido por generadores de función y amplificadores, alterará la señal de error por amplificación, integración, diferenciación, etc., de manera que genere la señal de control m_1 .

Por medio del órgano de control G_2 , la señal de control altera la variable manipulada m de modo que se compense la acción perturbadora y que se vuelva a llevar la variable c al valor deseado.

Horta Santos, José J
Técnicas de automatización industrial

Modos de Control

Los controladores industriales, se pueden clasificar de acuerdo a sus acciones de control, de la siguiente forma:

- Controladores de dos posiciones, o intermitentes (encendido –apagado)
- Controladores proporcionales
- Controladores integrales
- Controlador proporcional- integral
- Controlador proporcional-derivativo

- **Controlador proporcional-integral-derivativo**

La mayoría de los controladores industriales utilizan electricidad o algún fluido, como aceite o aire a presión, a modo de fuentes de potencia. Los controladores también se pueden clasificar según el tipo de potencia que utilizan en su operación, como neumáticos, hidráulicos o electrónicos. La clase a controlador a usar se decidirá en base a la naturaleza de la planta y las condiciones de operación, incluyendo condiciones tales como seguridad, costo, disponibilidad, confiabilidad, exactitud, peso y tamaño.

Acción de control de dos posiciones, o de encendido-apagado

En un sistema de control de dos posiciones, el actuador tiene solo dos posiciones fijas, que en muchos casos son, simplemente conectado y desconectado. El controlador de dos posiciones, o de encendido-apagado es relativamente simple y económico, y por esta razón se usa ampliamente en sistemas de control, tanto industriales como domésticos.

Sea $u(t)$ la señal de salida del controlador y $e(t)$ la señal de error. En un controlador de dos posiciones, la señal $u(t)$ permanece en un valor máximo o mínimo, según sea la señal de error positiva o negativa, de manera que

$$\begin{aligned}u(t) &= U_1 \quad \text{para } e(t) > 0 \\u(t) &= U_2 \quad \text{para } e(t) < 0\end{aligned}$$

Donde U_1 y U_2 son constantes. Generalmente el valor mínimo de U_2 puede ser, o bien cero, o $-U_1$. En general los controladores de dos posiciones son dispositivos eléctricos, donde habitualmente hay una válvula accionada por un solenoide eléctrico. Los controladores neumáticos proporcionales con muy altas ganancias también actúan como controladores de dos posiciones y se les conoce como controladores neumáticos de dos posiciones.

En las figuras 3.18 a) y b) se pueden ver diagramas de bloques de controladores de dos posiciones. El rango en el que la señal de error debe variar antes de que se produzca la conmutación, se denomina brecha diferencial o zona muerta. En la figura 3.18 b) se indica una brecha diferencial. Tal brecha diferencial hace que la salida del controlador $u(t)$ mantenga su valor hasta que la señal de error haya rebasado ligeramente el valor cero. En algunos casos, la brecha diferencial es el resultado de una fricción no intencional o movimiento perdido; sin embargo, a veces se provoca de forma deliberada para impedir la acción excesivamente frecuente del actuador y el elemento final de control. Una reducción de la brecha diferencial aumente la cantidad de conmutaciones por minuto, y por tanto reduce la vida útil de los componentes. La magnitud de la brecha diferencial se debe determinar por consideraciones de exactitud deseada y duración de los componentes.

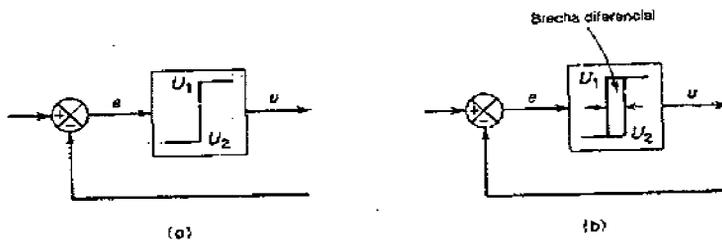


Figura 3.18

Katsuhiko Ogata
Ingeniería de control moderna

Controlador proporcional

Como su propio nombre lo indica, la relación que une la variable de mando m_1 con la desviación e , es una relación lineal.

La ley matemática que relaciona esta ley es:

$$m_1 = Ke + A \quad 3)$$

Si el órgano de control final (por ejemplo, la válvula de control) tuviera característica lineal, se puede tomar (aparte de las constantes).

$$m \text{ por } m_1 \quad m \equiv m_1$$

En la figura 3.19 el esquema de bloques de acción proporcional se muestra.

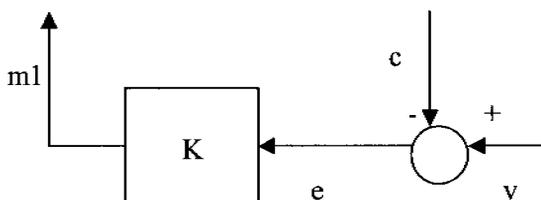


Figura 3.19 Esquema de modo proporcional.

En la expresión 3) la constante K es la ganancia proporcional. Como se ve es igual a la variación de variable manipulada, para una variación unitaria de la desviación e :

$$K = \Delta m / \Delta e$$

Las dimensiones de K son las que resultan de las dimensiones de las magnitudes m y e.
 Es muy común usar el inverso de la ganancia proporcional:

$$1/K = BP = \Delta e / \Delta m = \Delta c / \Delta m$$

por ser $e = v - c$ y: $\Delta e = \Delta c$

BP es la banda proporcional que puede definirse como la variación de la variable controlada necesaria para llevar la variable manipulada m del mínimo al máximo (esto es, para desviar la válvula de control en todo su recorrido).

Si el controlador tiene una escala graduada que indique la variable controlada, la variación Δc que causa la desviación plena de Δm se puede expresar en %.

Se dará el siguiente ejemplo: En un control de nivel (variable c) la escala del instrumento lee de 2 a 6 metros. Una variación de 1 metro en el nivel provoca la plena actuación del órgano de control. ¿Cuáles serán la BP y la ganancia K?

$$BP = 1/6 - 2 = 1/4 = 25\%$$

$$K = 1/BP = 1/.25 = 4$$

La constante A de la expresión 3) representa el valor que toma la variable manipulada cuando el error e es nulo. Este valor se ajusta manualmente cuando se monta el controlador.

La acción proporcional se puede representar gráficamente con la figura 3.20 para el caso en que el error e sufriera una variación unitaria y en escalón ($\Delta e = 1$). Eliminando las constantes de tiempo y los atrasos del controlador, la variable sigue fielmente el progreso de e. La variación de m es:

$$\Delta m = K \Delta e = K$$

Nótese que se considera un controlador aislado del proceso. En el caso contrario, la variación de m reduciría el valor de e.

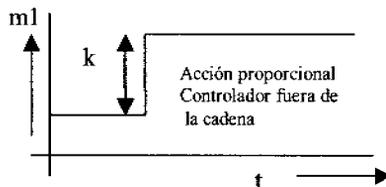
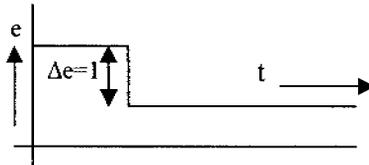


Figura 3.20 Acción proporcional

Controlador integral

En este modo de actuación el controlador genera una señal de corrección que depende de la integración de la desviación e a lo largo del tiempo. La velocidad de variación del órgano de control será tanto mayor cuanto mayor fuera el error. Si se expresa la velocidad de variación de la variable de control m_1 por su derivada \dot{m}_1 podemos escribir:

$$\dot{m}_1 = 1/T_i e \quad 4)$$

T_i es una constante conocida como tiempo de integración o tiempo integral (pero solamente tendrá las dimensiones de un tiempo si e y m_1 son magnitudes dimensionalmente idénticas).

Integrando 4), la ecuación toma la forma:

$$m_1 = 1/T_i \int e dt + M \quad 5)$$

M es una constante de integración que depende de las regulaciones iniciales. Si el error fuera constante durante un cierto periodo, y haciendo $M = 0$ la ecuación 5) toma la forma simplificada

$$m_1 = 1/T_i e t$$

Por tanto, la señal de control aumenta proporcionalmente al tiempo, en el caso de que el error sea constante.

Escribiendo el operador $\int dt$ bajo la forma operacional $1/p$, la ecuación se escribe:

$$m_1 = 1/T_i p e$$

La figura 3.21 muestra la señal de control generada por el modo integral, para el caso de una variación en escalón, e igual a la unidad, de la señal de error.



Figura 3.21 señal de control en modo integral.

Se ha hecho notar que estas características se refieren a un controlador separado del proceso. El diagrama de bloques del modo integral se representa en la figura 3.22

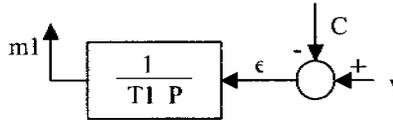


Figura 3.22 modo integral.

Pocas veces se usa aisladamente el modo integral. Basta la sola existencia de tiempos muertos en el proceso para que la cadena que tenga solamente el modo integral se vuelva inestable.

Control derivativo

Esta acción de control genera un término de la señal de corrección m_1 que depende de la velocidad de variación del error e . Esto es:

$$m_1 = T_d \, de/dt$$

donde T_d es una constante denominada tiempo derivativo.

Operacionalmente, esta ecuación tiene la forma (donde $p = d/dt$)

$$m_1 = T_d \, p \, e$$

El modo derivativo no se puede usar aisladamente. La acción del control derivativo para una variable en escalón no tiene sentido, en tal caso se tendría una derivada d/dt infinita en el punto de discontinuidad de e .

Control P+I

Un controlador PI, denominado también compensador de retardo, ajusta la ganancia del sistema del mismo modo que lo hace un controlador proporcional.

Una acción proporcional utilizada aisladamente solamente puede ser satisfactoria en algunos controles que no tengan grandes exigencias, ya que conducen a desviaciones permanentes (offset) de la variable controlada.

Esta desviación permanente se anula por el uso de acciones proporcionales e integrales combinadas. El modo de controlar P+I se expresa por la siguiente ecuación, escrita de diversas formas:

$$\text{Forma integral} \quad m_1 = K/T_i \int e \, dt + K e + M \quad (6)$$

Primer término es lo integral y el segundo es lo proporcional

$$\text{Forma operacional} \quad m_1 = K(1/T_i p + 1) e$$

$$\text{Forma aproximada para un periodo de } e \text{ constante} \quad m_1 = K e + K \, 1/T_i \, e \, t$$

La ganancia K aparece en todos los términos porque la generación de la función integral está en los controladores, seguida de amplificación de la señal.

Nótese que en la ecuación 6) que para un tiempo t igual a T_i , la acción integral se vuelve igual a la acción proporcional.

En vez de la ganancia K se puede utilizar el recíproco de la banda proporcional P:

$$K = 100/p$$

En la figura 3.23 se muestra el diagrama de bloques de un controlador con acción P+I y a la acción de control (de cadena abierta) para una variación en escalón del error.

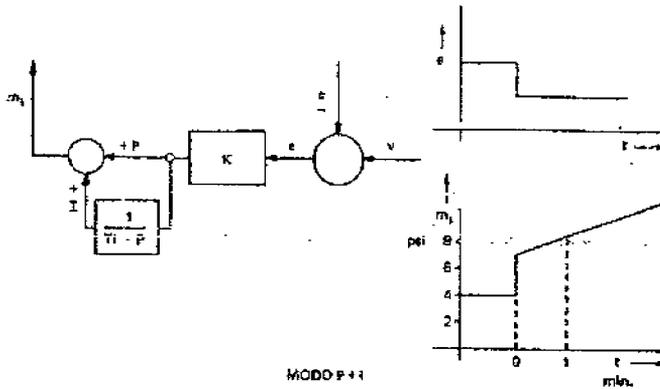


Figura 3.23 acción P + I

Control P+I+D

El controlador PID, permite alterar la ganancia, el tipo de sistema y la respuesta en el transitorio, con el fin de mejorar el funcionamiento del sistema. A medida que aumenta la complejidad del sistema, se va haciendo más y más difícil la determinación de la ganancia adecuada, capaz de mantener al sistema estable y de proporcionar al mismo tiempo la respuesta deseada.

El error estacionario es nulo en lo referente a la posición y a la velocidad, y se mantiene constante en la aceleración, para una señal de entrada con aceleración constante.

Además de la eliminación del offset se consigue, con regulaciones apropiadas, estabilizar el proceso y un retorno más rápido al equilibrio de lo que se obtendría con el modo P+I.

Sin embargo, hay casos difíciles, como por ejemplo los procesos con realimentaciones positivas internas o con elevados tiempos muertos y grandes constantes de tiempo para los cuales no basta la acción PID. En este caso se recurre a sistemas más complejos de control.

La ecuación que relaciona la señal de control m_1 con la desviación e, es la siguiente:

$$m_1 = Ke + K/T_i \int e dt + K T_d de/dt$$

o, en forma operacional:

$$m_i = K (1 + 1/T_i p + T_d p) e$$

Nótese que, con este modo de control, una variación brusca del error (por ejemplo, por variación manual del valor deseado) dará origen a un término derivativo de alto valor por algún tiempo, lo que puede originar perturbaciones en el control. El diagrama de bloques de un controlador PID (con un término derivativo generado a partir de la variable controlada y no del error) puede ser como se muestra en la figura 3.24

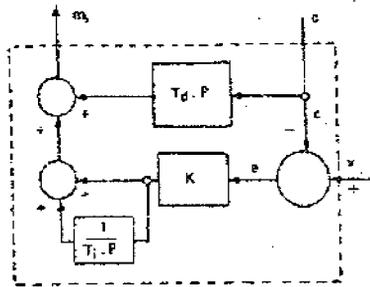


Figura 3.24 acción PID

Horta Santos, José J
Técnicas de automatización industrial

Control PD

El controlador proporcional derivativo, denominado también compensador de avance, permite una alteración de la respuesta del sistema en el transitorio. El uso de un controlador PD correctamente diseñado puede convertir un sistema subamortiguado en un sistema crítico o sobre amortiguado, o al revés, dentro de las restricciones establecidas por el propio proceso. Al igual que ocurre con el resto de los controladores proporcionales, es posible modificar la ganancia para alterar así la estabilidad del sistema y su error estacionario. El tipo de sistema se modifica de la misma forma que el controlador PI; sin embargo, esta característica no suele utilizarse por sí misma en este tipo de sistemas.

III.5 Estructura de los sistemas de control (lazo abierto y lazo cerrado)

Sistema de lazo abierto: En la figura 3.25 puede verse un típico sistema de control de lazo abierto. El control del proceso se lleva a cabo introduciendo al controlador las condiciones que se creen necesarias para la consecución del resultado deseado, y extrayendo los resultados como salida, sean éstos cuales fueren. La cocción de un asado en un horno de forma automática, mientras nos hallamos fuera de casa, es un buen ejemplo de sistema de lazo

abierto. Colocamos el asado en el horno, fijamos el tiempo y la temperatura de cocción, y lo sacamos cuando regresamos a casa. Las entradas al sistema de control son el tiempo y la temperatura fijados, el control estaría formado por el temporizador y el termostato que determina cuando es preciso conectar y desconectar el horno y, por último, los dispositivos de actuación serían los interruptores que controlan la aplicación de la electricidad a los elementos calefactores. El proceso sería la cocción, y la salida sería el asado. En este sencillo controlador, no es necesario acondicionamiento alguno de la señal.

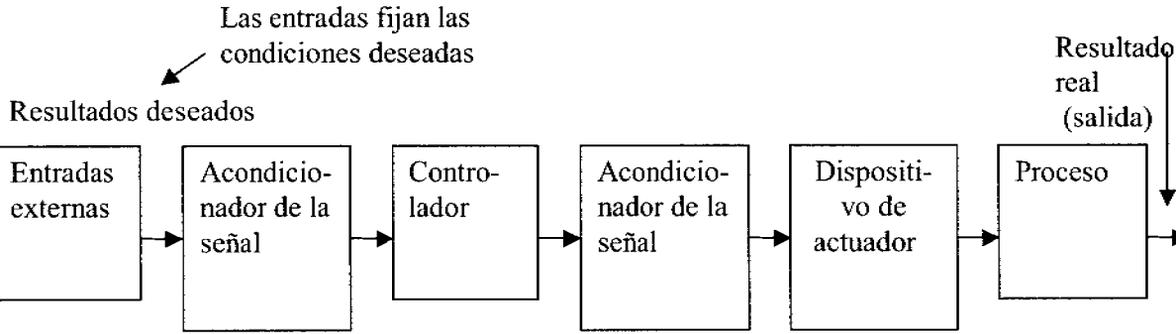


Figura 3.25

Como se puede ver en la figura 3.25 en la salida del diagrama de bloques no se nota ninguna conexión con la entrada del sistema, o sea, no hay comunicación entre la salida y la entrada. Esto se tendría que hacer con sensores de realimentación y desde luego el lazo de realimentación. Esto puede ocasionar grandes errores en la salida. En el ejemplo del horno el asado podría quemarse o quedarse crudo.

En un sistema de control de lazo abierto, no se utiliza realimentación a la entrada con información procedente de la salida. Como consecuencia de esto, los estados de las entradas determinan completamente el de la salida y, dependiendo de la respuesta del sistema, pueden dar como resultado grandes errores en la misma.

Sistema de lazo cerrado: Un sistema en lazo cerrado es un sistema que realiza medidas sobre la salida real del proceso, y las compara con la salida deseada. El sistema de control realiza los ajustes necesarios a fin a que las diferencias entre la salida y la que se desea se reduzca al mínimo. La figura 3.26 muestra un típico sistema de lazo cerrado

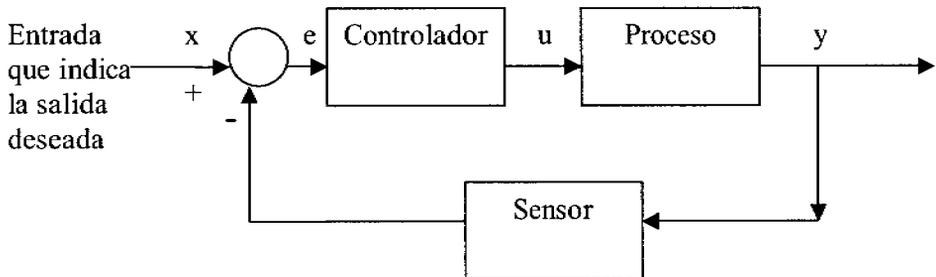


Figura 3.26. Típico sistema en lazo cerrado.

Fíjese en que la salida real es medida y enviada como realimentación para ser sustraída de la entrada que indica cual es la salida que se desea. Si ambas difieren, llega una señal al controlador que le indica que debe emprender alguna acción, con el objetivo de que la salida real varíe, de modo que la diferencia se reduzca a cero. En el caso de nuestro anterior ejemplo, si se colocase algún sensor capaz de medir la temperatura de la carne, y si el horno estuviese controlado por la temperatura previamente fijada, y si de igual manera se mantuviese el horno encendido hasta que la temperatura de la carne alcanzase la prefijada, y entonces se apagase, en este caso el sistema sería un sistema en lazo cerrado. Las entradas externas serían en instante de encendido, la temperatura del horno, así como la temperatura deseada para la carne. La entrada al controlador sería la diferencia entre la temperatura real de la carne, y la que se desea. Cuando dicha diferencia alcanzase el valor cero, el controlador apagaría el horno. En realidad, lo que haría sería anticiparse y apagar el horno antes de que la diferencia alcanzase exactamente el valor cero, previniendo el hecho de que la cocción proseguiría durante un cierto tiempo después de haber sido apagado el horno. Incluso de este sencillo ejemplo se puede deducir que son posibles diferentes niveles de control en lazo cerrado.

La utilización de los sistemas en lazo cerrado no deja de tener sus inconvenientes. Además de ser más complejos y costosos que los sistemas en lazo abierto, son capaces de conducir a la salida hacia una oscilación de amplitud creciente. Un sistema de estas características se dice que es inestable, y si se le permite continuar en este estado acabará por destruirse a sí mismo.

Neil M. Schmitt y Robert F. Farwell
A fondo: Robótica y sistemas automáticos

IV.- DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO

Esta maquina es un equipo que trabaja para fabricar artículos de plástico (juguetes) figura 4.1 con el método de extrusión y moldeo por soplado. Hace juguetes desde 30 gramos hasta 100 gramos con polietileno de baja y alta densidad. El volumen o espacio que ocupa el equipo sin tomar en cuenta los subsistemas es aproximadamente 1.70 m largo, 1.20m ancho y 1.7 m alto. En realidad es un equipo muy chico con una fabricación austera como se ve en la figura 4.2. La producción es aproximada a las 800 piezas en un turno de 8 horas pero la fabricación real por pieza es de 20 segundos tomando en cuenta una pieza de 100 gramos. Esto es

$$800\text{pza}/8\text{hrs} = 100 \text{ pza}/\text{hr} = 1.666 \text{ pza} / \text{min} \quad \text{Producción Promedio}$$

$$1 \text{ pza}/20 \text{ seg} = 1 / .333\text{min} \quad 3 \text{ pzas} / \text{min} \quad \text{Producción Real}$$

$$1.666/3 = 0.555 \text{ relación de producción real respecto a la producción promedio.}$$

Por lo tanto un 45 % aproximadamente queda en tiempos improductivos

Las expectativas que el fabricante desea es completar como mínimo una producción de 1200 piezas por turno.

La maquina para ser operada necesita de una persona que principalmente se ocupa de supervisar, sustentar de material y maniobrar los mecanismos de moldeo. La mayoría de las piezas fabricadas terminan con un poco de rebaba pero su limpieza se hace en otro proceso.

Su fuente de energía es completamente eléctrica ya que se necesita mover un motor eléctrico trifásico para la transmisión y además se calientan resistencias eléctricas para generar calor.

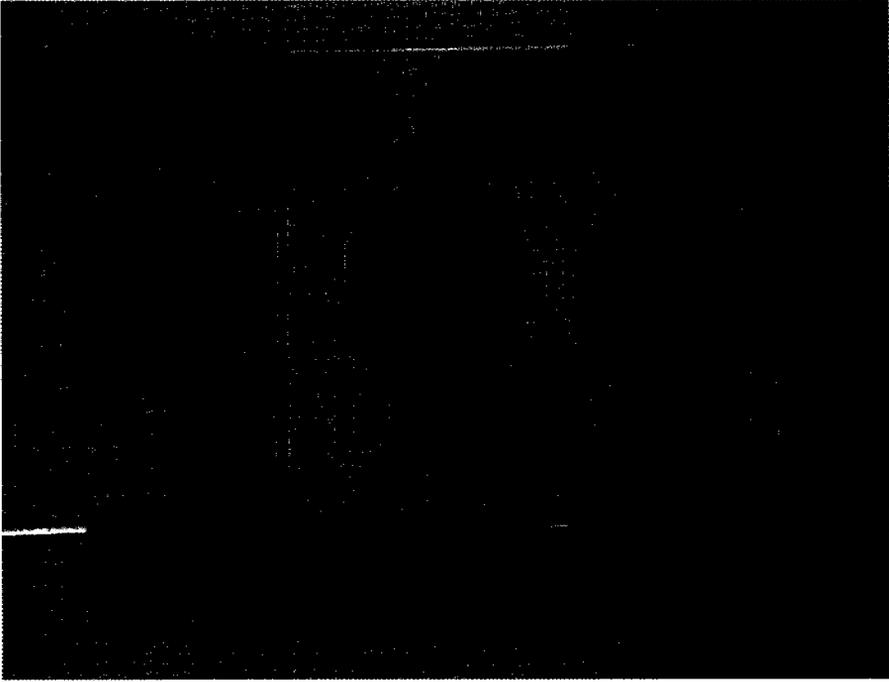


Figura 4.1 Piezas fabricadas

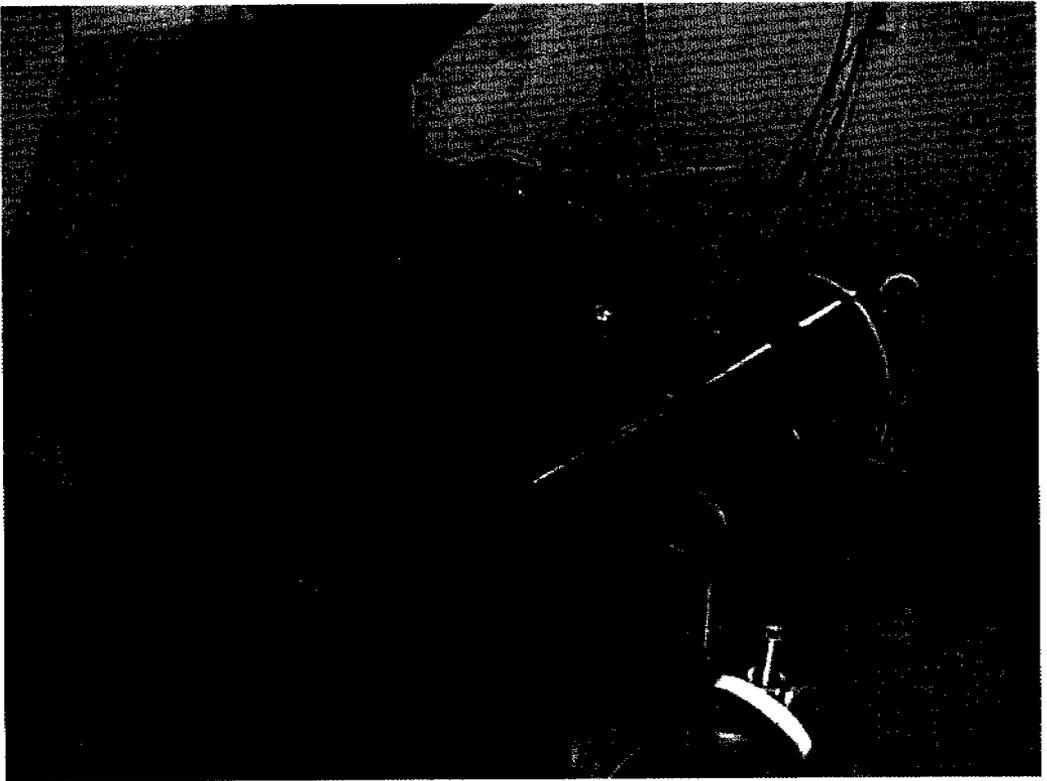


Figura 4.2 máquina extrusora con moldeo por soplado.

Las partes principales de la maquina son las que se presentan en el esquema de la figura 4.3 y el funcionamiento en general es el siguiente:

El motor eléctrico, por medio de una banda, se acopla a una caja de engranes que cuenta con dos velocidades. Esta a la vez se acopla con una polea la cual esta montada en el extremo de un usillo teniendo un movimiento circular. Este usillo con una forma de tornillo sinfin se encuentra en el interior del cañón de forma de barra hueca o cilindro y juntos tienen la función de transportar la materia prima o plástico desde la tolva que es el recipiente donde se coloca el material en principio pasando en el interior del cañón por todo su largo hasta la boquilla donde va saliendo extruido ya habiendo sido procesado de un estado sólido a un estado viscoso por medio de cambio de temperatura transferido a lo largo de la superficie del cañón. En la periferia o superficie del cañón se encuentran las resistencias eléctricas que generan el calor hacia el usillo y al material plástico.

El molde que debe ser de dos piezas estando en posición abajo de la boquilla y en un estado de separado o abierto es llenado de plástico, cuando tiene la cantidad suficiente se cierra y se traslada hacia el soplador (a un lado de la boquilla). Este sopla aire al interior del molde

por medio de unos orificios para que la pieza se infle por dentro tomando la forma interior del molde que es el modelo deseado, ya después de un tiempo de enfriamiento el molde se vuelve a abrir expulsando la pieza para volver a su punto inicial (abajo de la boquilla) y reiniciar el ciclo.

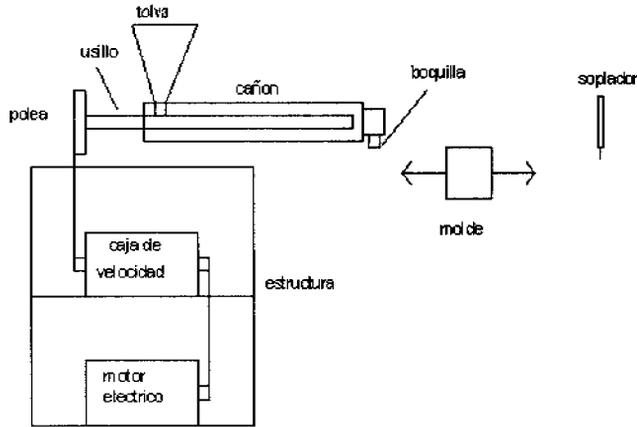
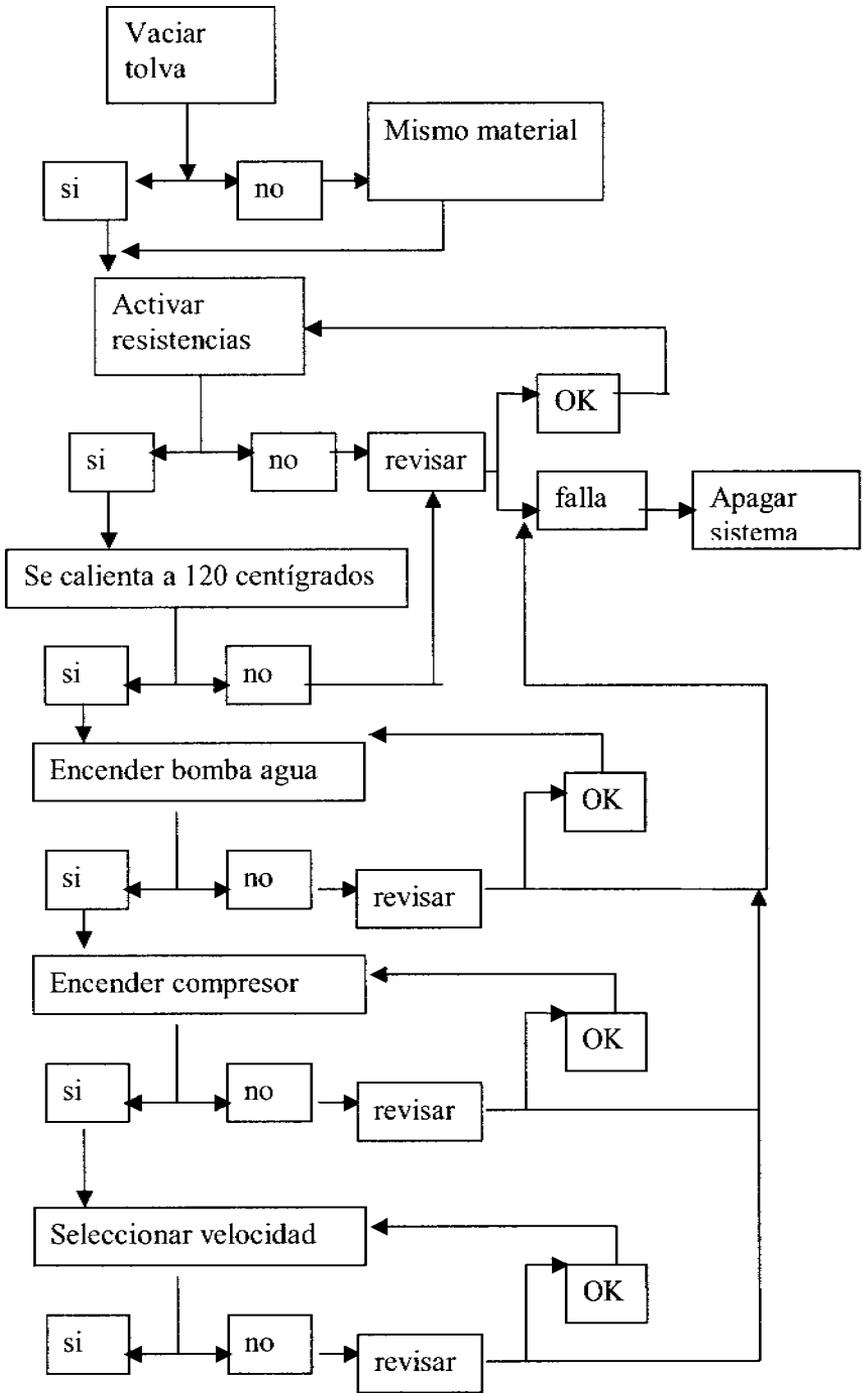
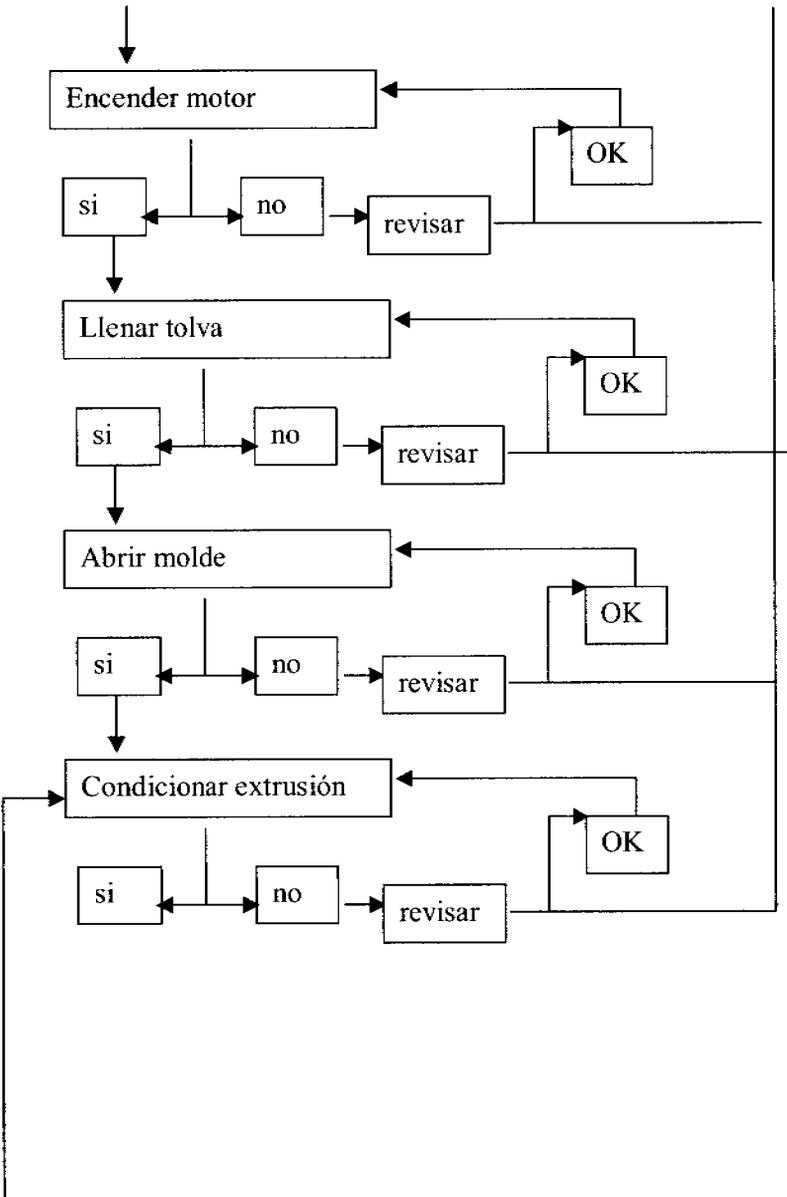


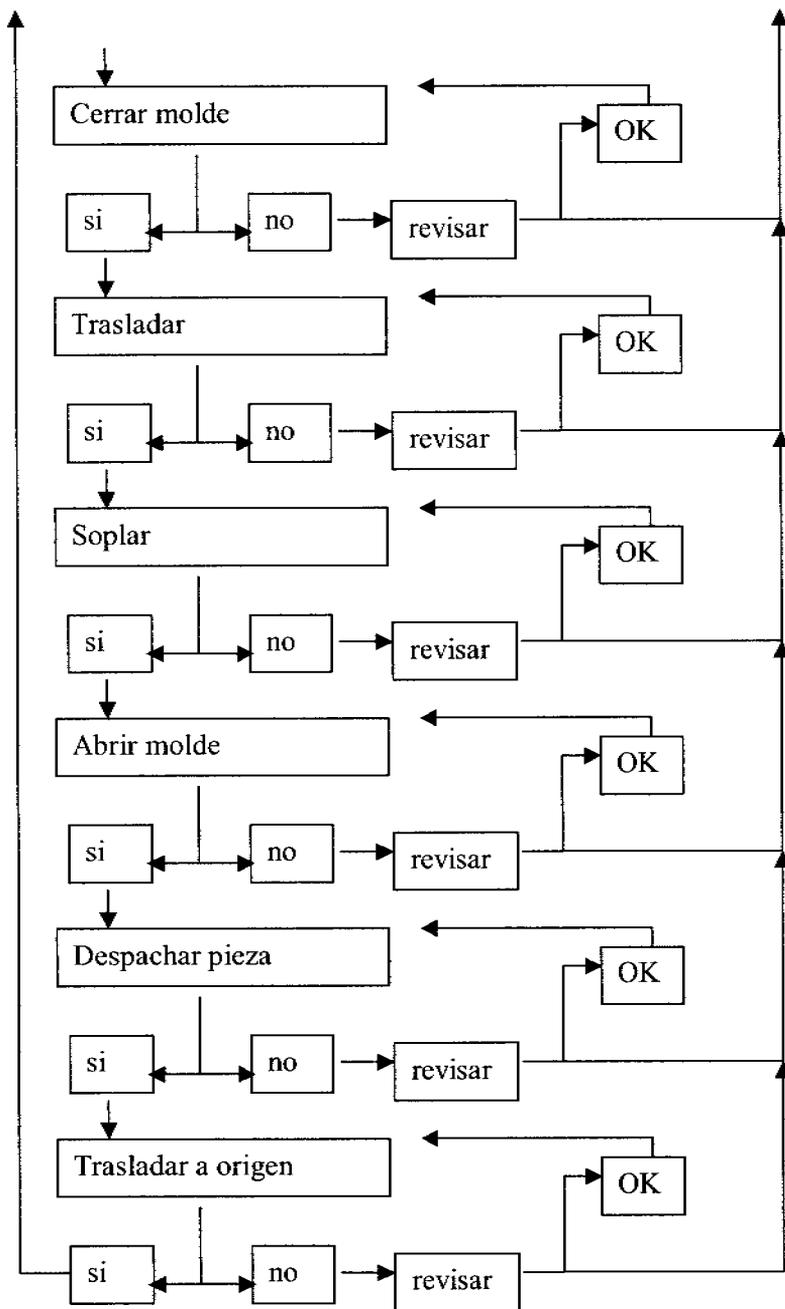
Figura 4.3 Partes principales

IV.1 Descripción del proceso

En realidad el proceso es muy simple pues se manejan cantidades pequeñas y tiene bajo volumen de producción. El sistema es básico pero sin embargo debe cumplir una serie de pasos y controlar algunas variables. Este proceso es para la fabricación de artículos de plástico especialmente juguetes por el método de soplado de plástico. La maquina esta constituida por mecanismos y sistemas de control muy sencillos los cuales están bajo el manejo de una persona que viene siendo el operador. Esta persona debe estar pendiente en la secuencia de las acciones de la maquina, esto se describirá mas adelante. El siguiente diagrama de bloques describe el procedimiento del proceso.







En seguida se describe textualmente el diagrama de bloques. En general el proceso o actividad maquina-hombre esta dividida en tres partes importantes, en primer lugar se debe hacer una preparaci3n de la maquina y de la materia prima. Luego viene un ajuste que va a permitir que la maquina se encuentre en un estado "lista para empezar". Posteriormente est1 la actividad central del operador que es la manipulaci3n u operaci3n del equipo para ir fabricando los artculos.

Para tener una mejor idea de lo que viene conviene referirse a la figura 4.3 adem1s de los diagramas o dibujos que se presenten.

El proceso inicia como sigue: como ya se menciono se hace limpieza de la tolva retirando el material sobrante de la producci3n anterior, de hecho est1 actividad se debe hacer al final de cada jornada esto por si cambia el tipo de materia prima o para que no haya material apelmazado en la salida de la tolva que impida una buena alimentaci3n y por tanto un buen ajuste en el flujo del material procesado. La figura 4.4 muestra la posici3n de la tolva en la maquina y adem1s como se encuentra el pl1stico molido en su interior.

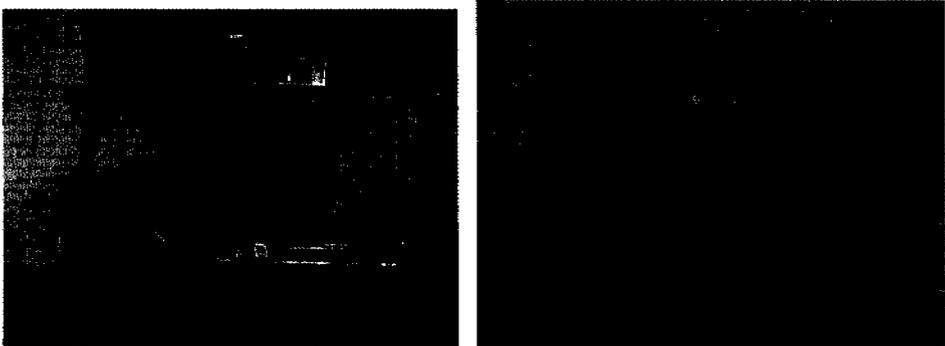
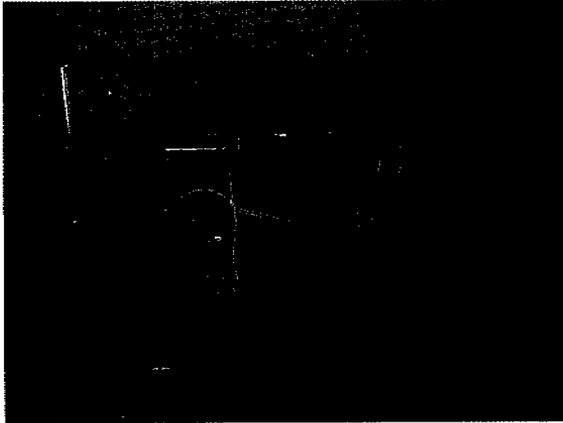
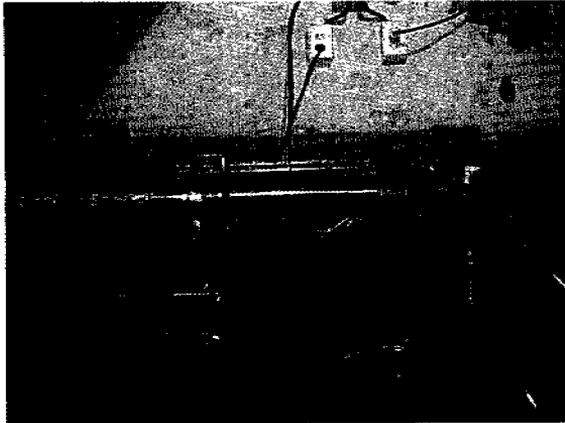


Figura 4.4 tolva de materia prima

Mediante un switch independiente se encienden las resistencias el6ctricas que se encuentran en la superficie del cañ3n pr1cticamente abraz1ndolo en toda su periferia y a lo largo de casi toda su longitud calent1ndolo como se muestra en la figura 4.5. 4.5 a) Vista del lado del panel se muestran dos resistencias sobre el cañ3n y una resistencia en el cabezal, 4.5 b) vista de las resistencias desde el lado trasero, 4.5 c) panel de control, est1n switch de encendido de motor, de resistencias y los tres pir3metros correspondientes a las tres resistencias. Tambi3n el cabezal tiene resistencias que lo elevan a la temperatura de fusi3n del pl1stico. El calor por resistencia el6ctrica es el que va a fundir al pl1stico para que se pueda transformar en lo que se desee pero para ello se debe alcanzar la temperatura id3nea en todo el sistema de transformaci3n y para que eso suceda se debe dejar calentar por lo menos 1:30 hrs. antes de mover el sistema de transmisi3n. La temperatura se controla por medio de unos termopares colocados en el cañ3n y cabezal conectados a los controladores de temperatura.



4.5 a



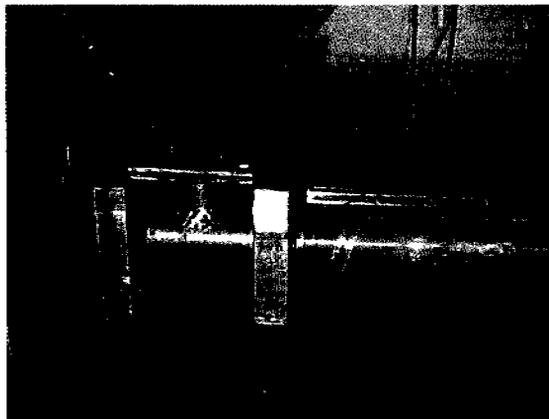
4.5 b



4.5 c

Figura 4.5 sistema de resistencias eléctricas

Cuando la temperatura de trabajo se ha alcanzado se acciona la bomba de agua de enfriamiento por medio de su switch independiente. Este sistema se encuentra externo a la maquina. El flujo de agua se ocupa principalmente para dos cosas: enfriar una placa o bloque metálico que aísla el calor no permitiendo conducirse desde la zona de resistencias hacia la tolva donde esta la materia prima, el agua fluye por unas venas en el interior de la placa. Y también para enfriar el molde cuando esté en su momento de trabajo, o sea, para enfriar las piezas moldeadas como se explicara mas adelante. La figura 4.6 muestra la posición de la placa o bloque y del molde y además un esquema del circuito de enfriamiento.



Bloque de aislamiento térmico

Bloque entre zona de resistencias y la tolva.



Molde

Mangueras de agua para enfriar

Disposición del molde en la máquina y los ductos de enfriamiento.

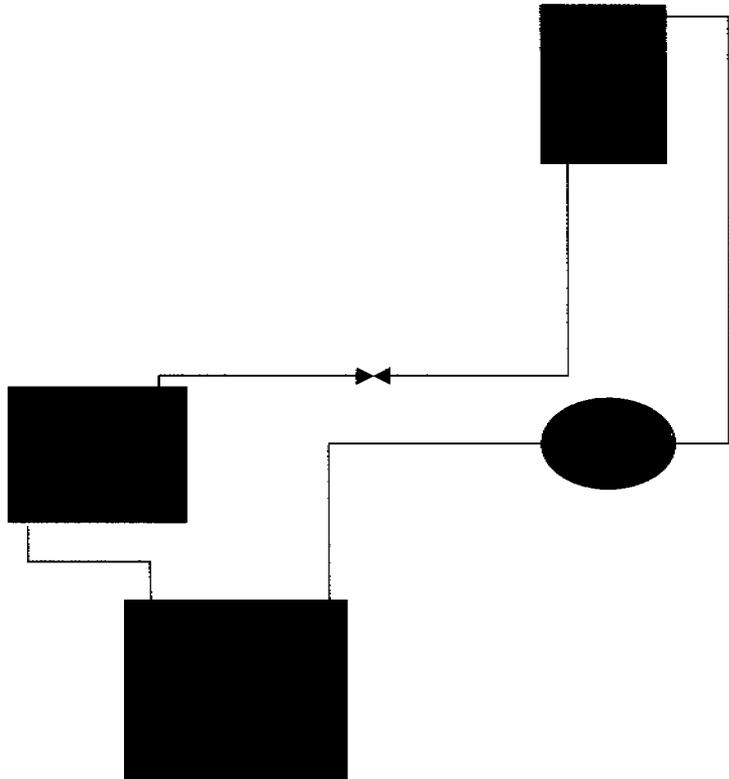


Figura 4.6 sistema de enfriamiento. En la máquina se aplica principalmente en el bloque de aislamiento y el molde.

Después se hace funcionar el compresor de aire que también se encuentra externo a la maquina, por su switch independiente para que se acumule aire a presión en el deposito y se tenga listo para usar en inflar o soplar la pieza cuando está dentro del molde, claro que la pieza debe estar en un estado plástico para que con la presión del aire la pieza tome la forma del molde. El sistema de aire comprimido durante la jornada se mantiene a una presión cercana a los 7 bar y esto es controlado por un presostato. Del deposito solo hay una salida que va directamente a la boquilla de soplador y a un pistón neumático de simple efecto, esto acciona la entrada y salida de la boquilla al molde, pero se mantiene obstruida por una válvula de pulso que el operador activa cuando se debe soplar la pieza, esto se ve en la figura 4.7 que muestra el compresor de aire y un diagrama del sistema de aire comprimido.



Sistema de compresión de aire.

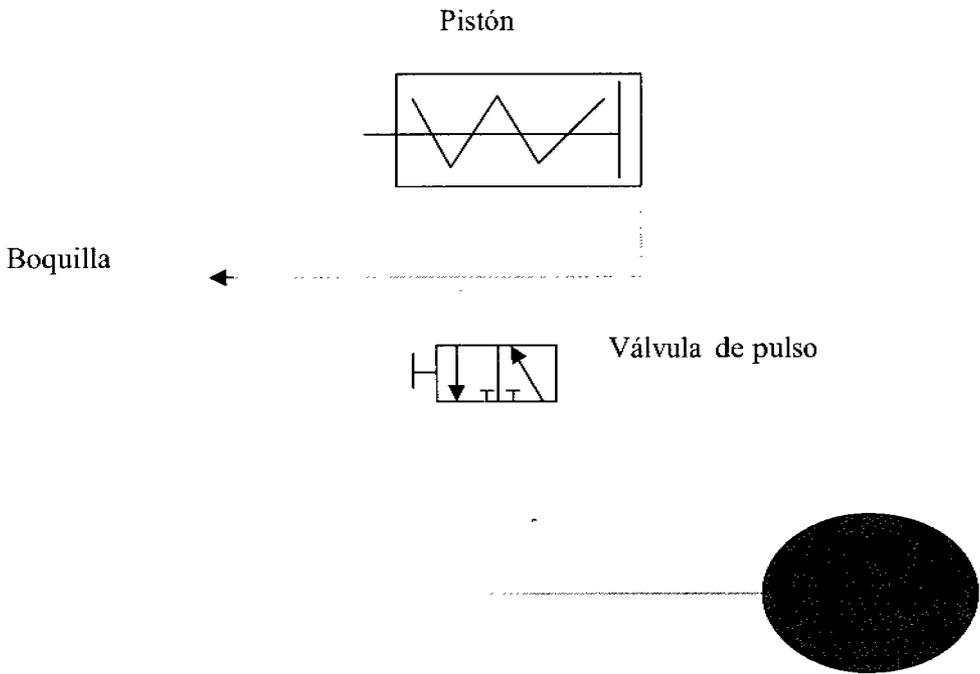
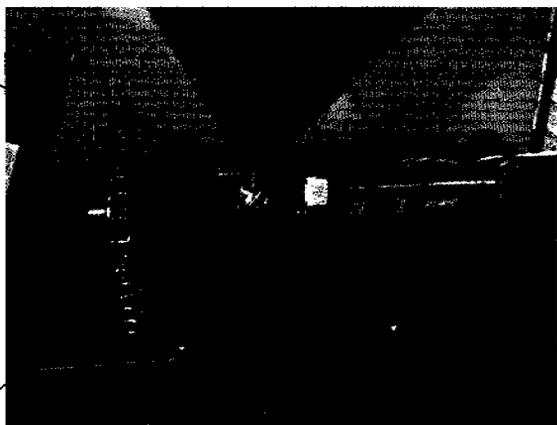


Figura 4.7 sistema de aire comprimido.

Posteriormente en la caja mecánica de velocidades por medio de una palanca se posiciona una de las dos velocidades disponibles muy similar a las velocidades de un automóvil, éste sistema controla el giro o movimiento del sistema extrusionador o flujo de material a procesar, la velocidad elegida va a dar como resultado la cantidad de producción por tiempo: una velocidad baja dará menor producción y una velocidad alta mayor producción aunque cada una tiene sus inconvenientes y sus beneficios que se describirán mas adelante. Ésta elección se hace tomando en cuenta la habilidad del operador, el tamaño de pieza, calidad de plástico, desempeño de la maquina con el plástico a trabajar, temperatura ambiente, etc. Solo se puede hacer el cambio con la caja en estado de paro pues no cuenta con un embrague que le ayude a hacer el cambio de velocidad en rotación o en funcionamiento. Las figuras 4.8 nos muestra la secuencia de transmisión desde el motor pasando por la caja de velocidades conectada a la polea o catarina del usillo.

Catarina en el usillo

Tolva



Cadena de transmisión

Caja de velocidades

Banda de transmision



Motor eléctrico

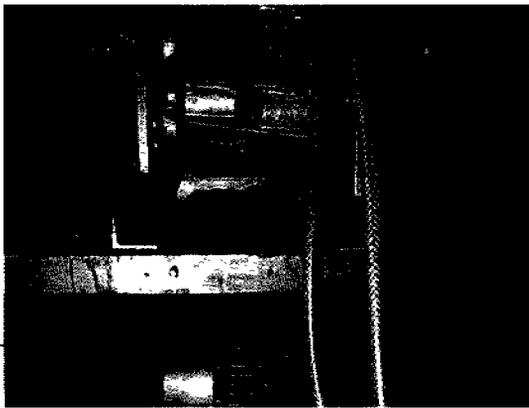


Figura 4.8 Secuencia de transmisión.

Después se procede a hacer funcionar el motor eléctrico por medio de su arrancador independiente, éste al activarse va a transmitir su giro y par a la caja de velocidades la cual ya habiendo transformado o controlado el movimiento rotatorio se transmite al sistema extrusionador, esto es, que se toma material plástico de la tolva (aunque a esta altura está vacía y solo empleara el material que se encuentra adentro de la maquina) y se procesa por medio del calor de las resistencias eléctricas y del movimiento rotatorio del usillo para que ya salga fundido por la boquilla del cabezal en forma de colada continua o extruido. A partir de este momento el motor girará durante todo el tiempo de la jornada a menos de que haya algún contratiempo. La figura 4.8 nos muestra el sistema de transmisión y el motor eléctrico.

Ya que el sistema de transmisión esta activado y la temperatura esta en su punto se procede a llenar la tolva con el plástico molido, esto se hace poco a poco para asegurar que el usillo continúe alimentándose del material. La tolva tiene un límite de llenado y es en donde se debe dejar el nivel.

Cuando la maquina empieza a tomar su paso se debe ajustar la temperatura otra vez y debe ser mas o menos la de fusión del material. Se debe tener cuidado de no tener una temperatura muy alta para que no se queme el material o salga muy aguado el flujo extruido porque la pieza podría tardar mas en enfriar o las piezas se abren por los gases del material, entre otras cosas. De hecho la manipulación de la temperatura es una variable que el operador debe estar controlando con la perilla del controlador de temperatura porque sí tiene cambios conforme pasa el tiempo.

Ahora entraremos en la parte del sistema de moldeo por soplado que principalmente está compuesto por el juego de moldes, la estructura, el mecanismo de cierre y apertura de molde, sistema de traslación, boquilla de soplado de aire y enfriamiento de moldes.

Ya cuando la maquina esta procesando la materia prima ésta tiende a fluir ya transformada y la salida es por la boquilla del cabezal que es la parte final del cañón como se muestra en la figura 4.1 el material sale verticalmente con una forma de barra hueca o manguera con el espesor que determine la boquilla para la pieza a realizar, este material sale a alta temperatura. La figura 4.9 muestra la disposición del cabezal, la boquilla, el molde y cañón.

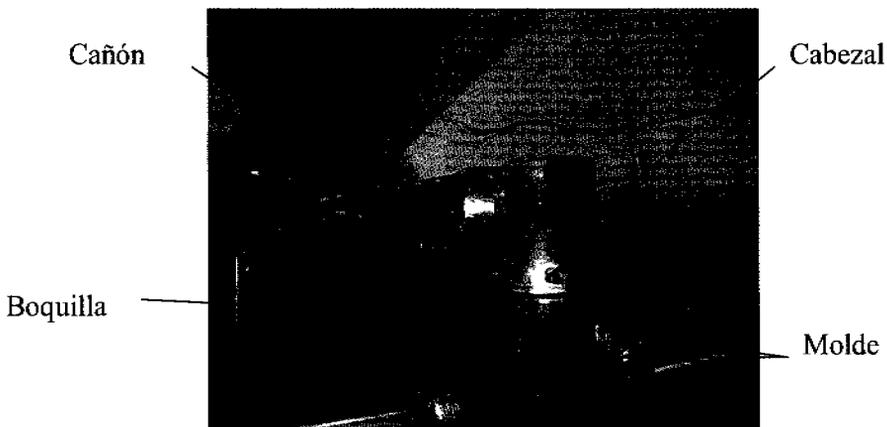
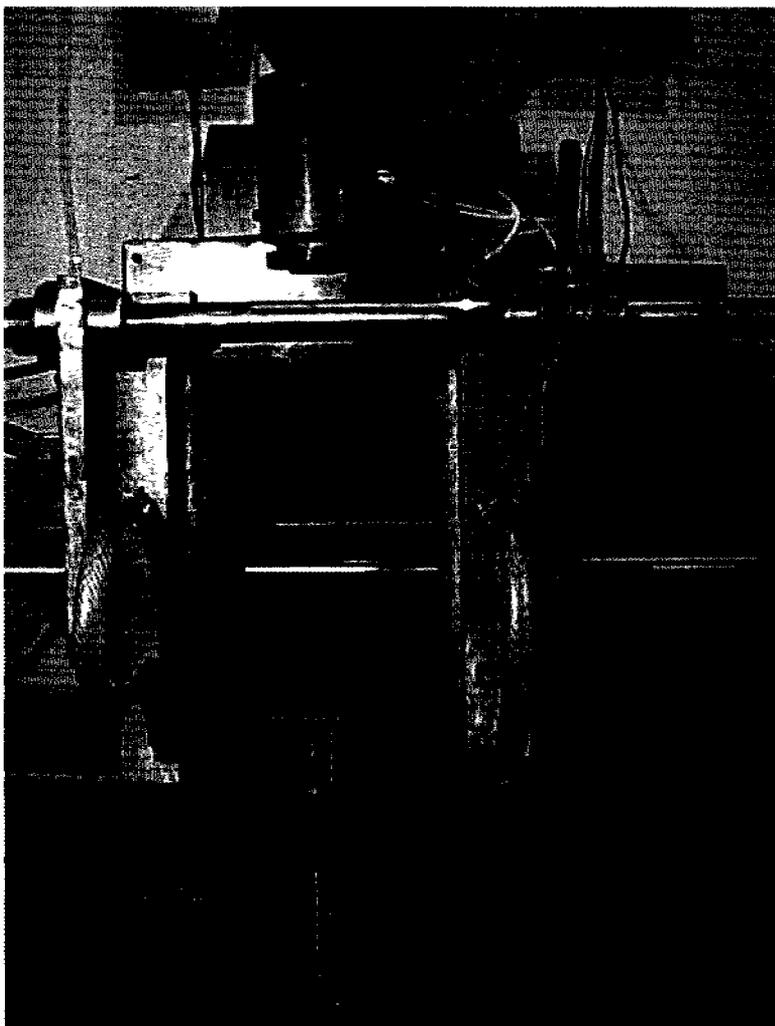


Figura 4.9 Espacio de la salida del plástico.

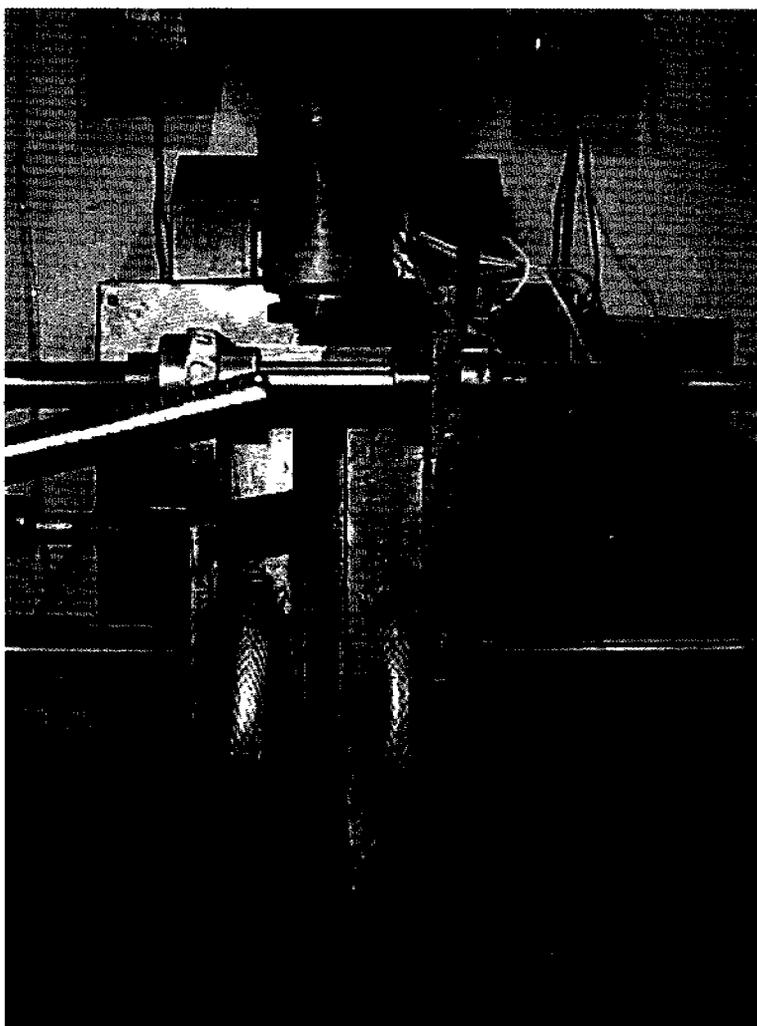
El material extruido debe alcanzar una longitud que es un poco mayor al alto del molde. En este punto el operador debe estar listo para accionar la palanca que cierra el molde y así atrapar al material extruido.

El molde esta formado regularmente por dos partes y se encuentran por debajo de la boquilla del cabezal, cuando se encuentra abierto están a una distancia igual cada parte con respecto a la boquilla. Cada parte del molde esta hecha de un bloque de metal: en la parte trasera tiene barrenos con cuerda para que se pueda sujetar en la placa del mecanismo de cierre y apertura, en los contornos están hechos barrenos que traspasan el molde acondicionados de tal manera que se conecten mangueras y se haga pasar agua para el enfriamiento y en la parte frontal es en donde se encuentra una concavidad que es una cierta parte de la figura de la pieza a fabricar. Si por ejemplo se fabrica una pelota, en cada mitad de molde se encontrara una concavidad igual a medio hemisferio de la pelota para que al unir las dos mitades quede en el corazón del molde un hueco semejante a una esfera que será la forma de la pelota a fabricar. A parte de la concavidad existe también en forma cóncava un ducto por donde la boquilla de soplado entrara al molde cerrado y pueda inflar el material que esta dentro del molde, como se ve en la figura siguiente.

Ya que el material tiene las condiciones necesarias, el operador cierra el molde y ya con el material dentro del molde inmediatamente jala todo el sistema de moldeo que esta montado sobre unas carretillas que ayudan en su traslación, esto es, para que en primer lugar, permita el espacio de la extrusión continua de la boquilla del cabezal y además para la continuación del proceso. El movimiento que se hace es hacia el frente de la maquina a unos 50 cm. que viene siendo otra posición fija del sistema de moldeo. Cabe mencionar que la ruptura que hubo entre el material que esta en el molde y el que iba saliendo de la boquilla se efectuó por el puro jalón que dio el operador al sistema de moldeo y así la extrusión continúa en la boquilla del cabezal sin ningún problema para el siguiente ciclo. La figura 4.10 muestra la posición del molde en estado abierto y estado cerrado.



Molde abierto



Molde cerrado

Figura 4.10

Cuando el sistema de molde ya se encuentra en su segunda posición, retirado de la boquilla, el material tiene una menor temperatura pero sin embargo todavía con la propiedad de moldearse. En ese momento la boquilla de soplado se activa por medio de un pistón pues este movimiento es con el pulsador de aire y se introduce en el molde por la cavidad que le corresponde y además sopla la pieza dentro del molde. Tarda unos 15 seg. mas o menos hasta que considere que la pieza esta formada y enfriada para que mantenga su nueva forma. Después se suelta el pulsador y se retira la boquilla de soplado dejándola en su lugar de

reposo. Todavía el molde permanece unos segundos en estado de cerrado para que la pieza termine de enfriarse bien gracias al efecto del agua fluyendo por el interior del molde.

Posteriormente el molde se abre gracias al movimiento que el operador efectúa sobre la palanca dejando caer la pieza en el recipiente. Apresuradamente el operador debe llevar o trasladar al molde con el estado de abierto a la posición original para que se realice un nuevo ciclo.

Cabe recordar que todas las actividades que el operador realiza si bien no son complejas pero si muy repetitivas y agotadoras y además dependientes de las acciones de la maquina, esto es, que no se puede atrasar porque le “gana la maquina” así que el operador tiene la obligación de estar a un mismo ritmo y también estar sincronizado con la maquina. Si se toman en cuenta algunas perturbaciones como descalibración del equipo, cansancio del operador, monotonía, abastecimiento de material, etc., el operador queda en un porcentaje muy bajo de eficiencia y el equipo aún más.

IV.2 Variable de referencia para la sincronización del sistema.

El tiempo de trabajo de cada subsistema (moldeo, transmisión, calentamiento, alimentación, etc.) tienen dependencia entre si ya sea que una acción va seguida de otra o bien dos acciones estén sincronizadas. Para tener una mejor visualización de los tiempos de cada actividad se presenta la tabla VI.1 de pulsos y cada pulso se aplica sobre un subsistema o bien un actuador.

	Vaciar tolva	Enc. Resistencias	Calentar a 150 gra. En 1:30 Hr.	Enc. Bomba	Enc. Compresor	Poner velocidad a la caja	Enc. Motor	Llenar tolva	Abrir molde	Condicionar extrusión	Cerrar molde	Trasladar hacia delante	Soplar	Abrir molde	Trasladar hacia atrás
Flonetro 1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Flonetro 2	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Flonetro cabezal	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Bomba de agua	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Compresor	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Válvula de pulso	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
Motor eléctrico	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Tabla VI.1 Encendidos entre las acciones y los actuadores

La velocidad de la producción depende de la velocidad del proceso. El operador debe poner mucho de su parte para sacar la mayor cantidad de piezas y desde luego tratar de que la maquina trabaje correctamente. Pero también hay otras variables por parte de la maquina que marcan una velocidad de producción constante como son temperatura de enfriamiento del material soplado en el molde suficiente para solidificar, la velocidad que entrega la caja de velocidades, velocidad de flujo en la extrusión, temperatura de fusión del material, etc.

Los factores más importantes que cambian la velocidad de producción son: la temperatura, la velocidad del motor eléctrico y la rapidez de enfriamiento en el molde. Siempre y cuando estén dentro de la capacidad de rapidez del operador.

Con respecto a la temperatura si se incrementa hasta un punto en donde no queme al material el comportamiento de la materia va a ser mas fluido y en el interior del cañón al usillo le cuesta menos trabajo transportar el material. Si se decrementa la temperatura hasta un punto que no solidifique entonces el material va a ser más difícil de trasportar teniendo menos poder de flujo.

Debido a la masa constituida por el cañón, cabezal, usillo y el material plástico en toda la zona de resistencias el tiempo de cambio de temperatura es muy largo y el resultado en el incremento de producción es retardado, los instrumentos para sensar la temperatura existentes en el equipo no son de precisión y por lo tanto tienen un rango amplio de control de temperatura.

El material común a trabajar en esta maquina es polietileno de distintas densidades y calidades revuelto entre si o sea material reciclado molido, aunque en algunas ocasiones sí se trabaja con material virgen. Esto hace que el material sea de mala calidad e implica muchas perturbaciones para el funcionamiento optimo de la maquina. Ya que en un determinado volumen de material plástico hay distintos puntos de fusión se debe ajustar la temperatura a la de mayor punto de fusión así aunque el material no se homogeniza en un cien por ciento si se alcanza a controlar para fabricar el producto deseado. Además el material puede contener impurezas que se mantienen sólidas o bien se fusionan muy rápido, esto perjudica en muy alto grado el moldeo y la buena conformación de la pieza. Por estas circunstancias esta variable de temperatura no se puede tomar como referencia para controlar la secuencia de la maquina.

La velocidad del motor eléctrico también influye en el incremento o decremento de la cantidad de producción por tiempo. Esta velocidad solo tiene dos valores y esta comandado por la caja mecánica de velocidades. Cuando se pone la velocidad menor el movimiento del sistema en el arranque es inmediato y con un buen torque, el flujo del material también es lento. Cuando se pone la velocidad mayor el torque disminuye y el arranque es trabajoso aunque cuando alcanza la velocidad de trabajo el desempeño en producción es mas satisfactorio porque el flujo es mas rápido. El cambio de la variable de velocidad de motor es mas directa y mas rápida para el control de producción, pero desafortunadamente solo existen dos velocidades y además no existe un embrague para poder hacer un cambio de velocidad a motor en marcha. Por lo tanto no se toma como variable para controlar la velocidad de producción o como valor de referencia para el control de la secuencia del sistema.

Con respecto al enfriamiento en el molde la circulación del agua en su interior es constante y la temperatura de esta depende de la temperatura ambiente y del tiempo del trabajo del molde. Esto es porque no existe un sistema de enfriamiento que mantenga constante la temperatura del agua a la entrada del molde. La recirculación actual principalmente esta compuesta por una bomba que toma agua de una cisterna la envía hacia un tanque elevado de allí por gravedad circula por los ductos que son tubería, molde, válvulas y después la hace llegar a la misma cisterna (figura 4.6). Si la pieza moldeada terminara el proceso sin solidificarse completamente podría sufrir algún daño irreversible. Como solamente el agua se deja correr por el sistema esta variable no tiene ningún control para que se pueda usar como controlador de la secuencia del sistema.

La capacidad de movimiento del operador también es parte importante para la velocidad del proceso. Las actividades importantes del operador son el supervisar que el material extruido vaya en buenas condiciones, esto quiere decir que no esté quemado, deformado, tenga buen color, que no lleve partes sólidas, etc. Para que empiece a ejecutar un ciclo el material extruido debe alcanzar una longitud y por medio de una palanca hace cerrar el molde atrapando el material. Inmediatamente jala el carro del molde separándolo por un fuerte jalón el material que va en el molde y el que está extruyéndose por la boquilla. El espacio que ocupaba el carro de molde queda libre para que el material se siga extruyendo, ya que la extrusión es continua, y esté listo para el otro ciclo. El carro de moldeo es llevado a otro punto u otro espacio estático. Con la ayuda de un mecanismo se introduce una boquilla de soplado de aire en el molde y abre una válvula de pulso, cuando suelta la válvula se suspende el soplado y entonces se retira la boquilla sopladora ayudándose con el mismo mecanismo. Después con la palanca del sistema de molde se abre el molde y así la pieza cae a un depósito. Inmediatamente después traslada el sistema de moldeo hacia su posición original o de inicio para que vuelva a atrapar el material que ya se ha estado extruyendo y así comenzar otro nuevo ciclo.

Esta actividad es repetitiva pieza a pieza hasta que alguna perturbación detenga los ciclos. Las perturbaciones pueden ser entre otras error del operador, error de la maquina, cansancio del operador, abastecimiento de material, corte de energía, fallo de equipo, etc.

Como se puede notar la velocidad que pueda ejecutar el operador depende de la velocidad de extrusión. Si la extrusión fuera muy rápida el operador tendría que moverse también muy rápido. Si tuviera un retraso o de plano la extrusión le ganara la merma sería bastante grande, por el contrario si la extrusión fuera demasiado lenta el operador haría sus actividades calmadamente pero en este caso la producción sería baja.

Asimismo el operador observa la calidad de la extrusión del plástico para tomar la decisión en ocuparla o desecharla como merma, en caso de que salga defectuosa esperaría hasta que se establezca la extrusión o haría los ajustes correspondientes a la maquina.

En resumen la referencia más importante para un buen ciclo de proceso son las características del material plástico extruido en la boquilla el cabezal. Estas características corresponden a:

- Velocidad de flujo.
- Temperatura
- Color homogéneo
- Forma
- Sin imperfecciones
- Sin basuras
- Textura homogénea

IV.3 Partes del Equipo

Sistema de transmisión

El sistema de transmisión esta formado principalmente por un motor eléctrico, una caja de velocidades y el usillo ó tornillo. El primero es el que da la fuerza motriz al sistema, el segundo es el que la regula y el tercero es en donde finalmente se entrega esta fuerza para el desarrollo del proceso. Como se puede ver en la figura 4.8.

Sus características generales son las siguientes:

Motor eléctrico:

- Marca Siemens
- 1730 rpm
- 3 H.P.
- 60 hz.
- 220 V 14.2 A
- 440 V 7.5 A

Caja de velocidades:

- Relación de velocidades E/S
- Diámetro de puela de entrada 19"

- Diámetro de polea de salida 5"
- Dos velocidades

Usillo ó tornillo:

En acero AISI/NOM H 13

80 cm largo

1 5/8 "Diámetro

Al poner en marcha el motor eléctrico transmite el movimiento giratorio de su eje con la polea y por medio de una banda hasta la polea de entrada en la caja de velocidades. La caja de velocidades se encarga de regular o disminuir este movimiento por medio de la serie de engranes internos, como ya se dijo, disminuyendo la velocidad y aumentando el torque entregando este cambio de movimiento en la catarina de salida. Consecutivamente por medio de una cadena se conecta con la catarina del tornillo en uno de sus extremos. Existe una diferencia de diámetros entre las dos catarinas: la de la caja de velocidades es más pequeña que la del tornillo, esto es para aumentar el torque y disminuir todavía más la velocidad. Aquí finaliza el sistema de transmisión impulsando el tornillo para la ejecución del transporte de la materia prima.

Estructura

La estructura y soportería de la máquina esta dividida en dos partes. Una es la que contiene al sistema de transmisión, soporta la tolva de alimentación, al cañón y a los controles. La otra parte soporta al sistema de moldeo, soplado, y enfriamiento.

En la figura 4.3 se muestra el esquema de la estructura del sistema de transmisión está hecha de ángulo de 2.5 pulgadas en acero dulce y con unión por soldadura. La figura 4.11 muestra la forma de la estructura.

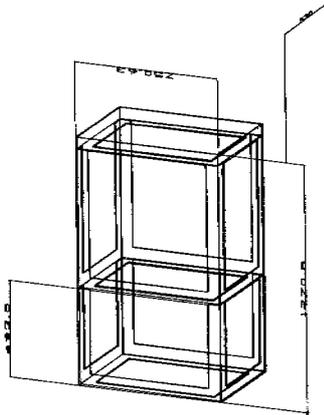
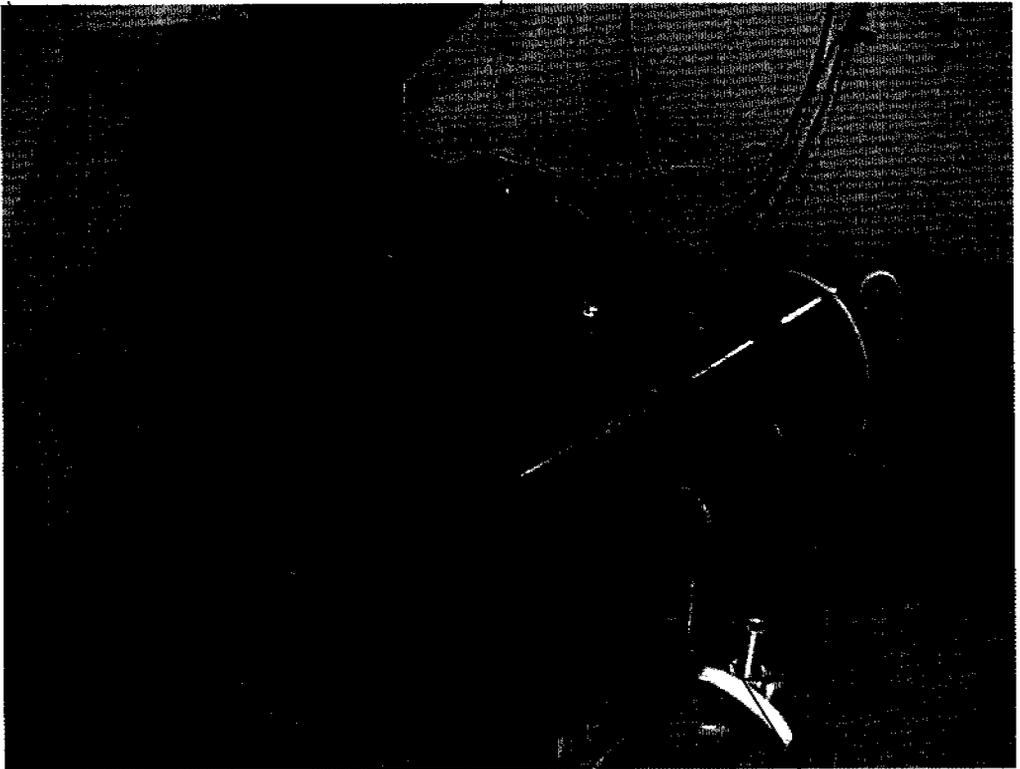


Figura 4.11 estructura de transmisión

Esta estructura lleva en los lados cubiertas con lámina de calibre 18 atornilladas. Sólo en el lado frontal la lámina tiene abertura por donde están los controles. La estructura contiene la soportería para sostener al motor eléctrico en la base, en la parte de en medio sostiene a la caja de velocidades, en la parte superior tiene soportes para mantener chumaceras del eje del tornillo y al cañón junto con la tolva de alimentación. La estructura del sistema de moldeo también esta hecha con ángulo de 2.5 pulgadas en fierro dulce. No tiene cubiertas en ninguno de sus lados y también esta unida por soldadura. Repitiendo la figura 4.2 se puede notar como están acomodadas las estructuras mencionadas y también como se inter disponen entre ellas. Se puede ver en la figura como la estructura de moldeo soporta al molde y al mecanismo de cierre y apertura, éste sistema se puede deslizar sobre la estructura.

Estructura de transmisión

Cubierta de lámina



Estructura de moldeo

Sistema de moldeo

Figura 4.2 Repetida, mostrando disposición de estructuras.

Sistema de extrusión

Este sistema esta compuesto por el cañón, el tornillo (se encuentra en el interior del cañón), las resistencias, el cabezal, la boquilla, tolva alimentación y soportes de cañón. Como se muestra en la figura 4.12

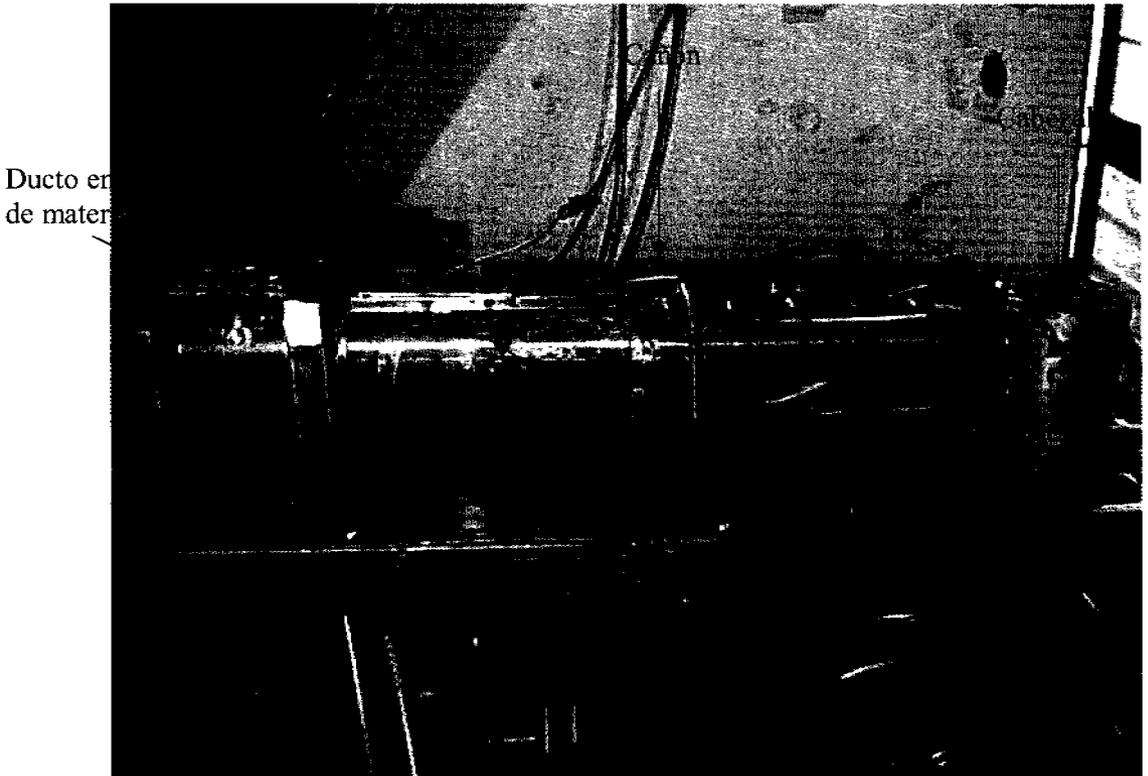


Figura 4.12 Sistema de extrusión

El cañón es un cilindro metálico abierto en sus extremos en cold roll de 64cm de largo, 1 5/8" D int. 2 3/4" D ext. Tiene 3 barrenos en la superficie para la colocación de termopares uno cerca de cada resistencias y en uno de los extremos en su sección transversal tiene barrenos con cuerda para la sujeción del cabezal con tornillo en forma de brida. Casi al final de uno de los extremos tiene una abertura de aproximadamente dos pulgadas en diámetro sobre la superficie en donde se conecta el ducto de la tolva para entrada de material. El cilindro del cañón se encuentra unido por soldadura a dos placas de 1 1/4 " X 5" X 5" c/u. para su apoyo con la base de estructura de ángulo. El tornillo o usillo es de material en acero AISI/NOM H 13 con 80 cm. largo y 1 5/8 " Diámetro. Esta pieza parte de un eje con el diámetro dicho y es maquinado partiendo de un extremo hasta unos 60 cm. en forma de tornillo, además lleva cajas para cuñeros así como maquinados para seguros contra movimiento axial.

El sistema de resistencias esta compuesto por 3 resistencias con sus respectivos controles cada uno. Dos de ellas son de un mismo modelo con una potencia de 1500 W a 220 V y debe mantener a 150 Grados centígrados y las dos cubren mas o menos 50 cm. de largo del cañón abarcando la superficie perimetral. La tercera resistencia es la que se ocupa en calentar el cabezal y también lo envuelve en su superficie. Esta resistencia es de mayor tamaño pues debe calentar a más masa y mantener en un estado de temperatura óptimo al material a trabajar. Debe mantenerse a unos 170 grados centígrados es de 1500 W a 220 V.

El cabezal se encuentra en la parte final del cañón. Es una pieza aparte del cañón pero están ensambladas por tornillos de tal manera que el material que lleva el cañón lo pasa al interior del cabezal. En este tipo de máquina el cabezal cambia el sentido del flujo del plástico: de un flujo horizontal a uno vertical. La figura 4.14 muestra la forma como se encuentra el cañón y el cabezal, la línea azul es el camino que sigue el flujo.

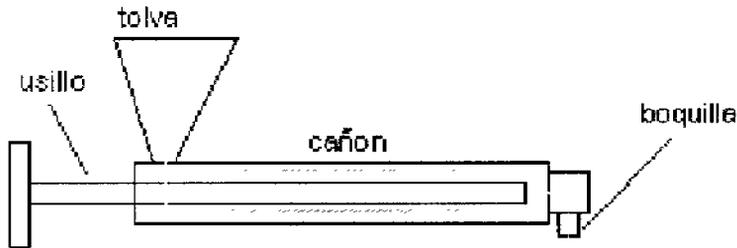


Figura 4.14 Flujo de plástico de izquierda a derecha

En el cabezal se encuentra la boquilla que es por donde sale el material y tiene la forma de cómo se desea la extrusión esto es el molde de salida o matriz. Por lo tanto el cabezal es el que prepara al plástico para la extrusión y por ello este debe de estar en un muy buen estado y también muy bien calibrado.

La tolva asimismo es parte del sistema de extrusión pues es por donde la maquina se abastece de material. Este es un contenedor trapezoidal que se encuentra en la parte mas alta de la máquina y esta ensamblado con el cañón. Cuando el operador abastece la tolva hasta un nivel predeterminado y el tornillo está girando, éste transporta el material de la tolva a la salida del cañón. Desde luego debe estar la temperatura suficiente para fundir el plástico. La tolva debe ser llenada constantemente mientras la máquina trabaja. Este contenedor está hecho de lámina metálica negra de espesor de 1/8".

Sistema de moldeo

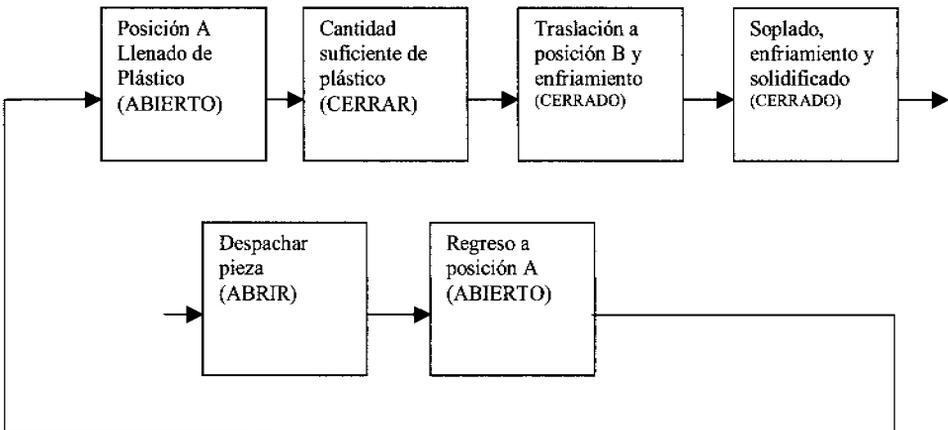
Regularmente el molde está fabricado en dos piezas y de forma simétrica entre sí. El material del que está hecho es el llamado SAMAC. El tamaño de molde varia según la pieza a fabricar pero el producto no debe pasar de los 100g para esta máquina. La forma que se va a moldear dentro del molde está grabada cóncavamente dividida entre las dos partes del bloque. Cuando se hace el ensamble existen pernos guía que aseguran la exacta unión de la figura a moldear; también existe un ducto entre la unión del ensamble y es por donde entra la boquilla

de soplado. La figura 4.15 muestra un molde típico para hacer pelotas de raqueta en polietileno, esta pieza es de 20 g.



Figura 4.15 Molde

También como se puede ver en la figura cada parte del molde en donde tienen dos tubos, estos son la entrada y la salida de agua para mantener frío el molde en los ciclos de trabajo y además enfrían el plástico que se este moldeando. Cada bloque en su lado trasero tiene barrenos con cuerda y sirve para sujetarlo con tornillos al mecanismo de moldeo. El sistema de moldeo es un mecanismo que se encarga de abrir y cerrar el molde. La secuencia de apertura y cierre es la siguiente.



Las 4 figuras 4.16 siguientes muestran como es el mecanismo y en modo general se describe su funcionamiento. Cuando la palanca se gira hacia la derecha hace girar al eje pivote y el brazo que está unido al eje pivote también gira. Como se ve el brazo está articulado con un eslabón y este a la vez está articulado con la placa soporte de molde, de tal manera que cuando se hace este giro de palanca el mecanismo obliga a deslizar a la placa. Estas placas mantienen su movimiento lineal mediante las barras guías fijas. El elemento que une mecánicamente al lado izquierdo con el derecho es la varilla y se puede notar que la disposición de los brazos derecho e izquierdo están invertidos esto es para que los bloques de moldes puedan unirse o separarse entre si.

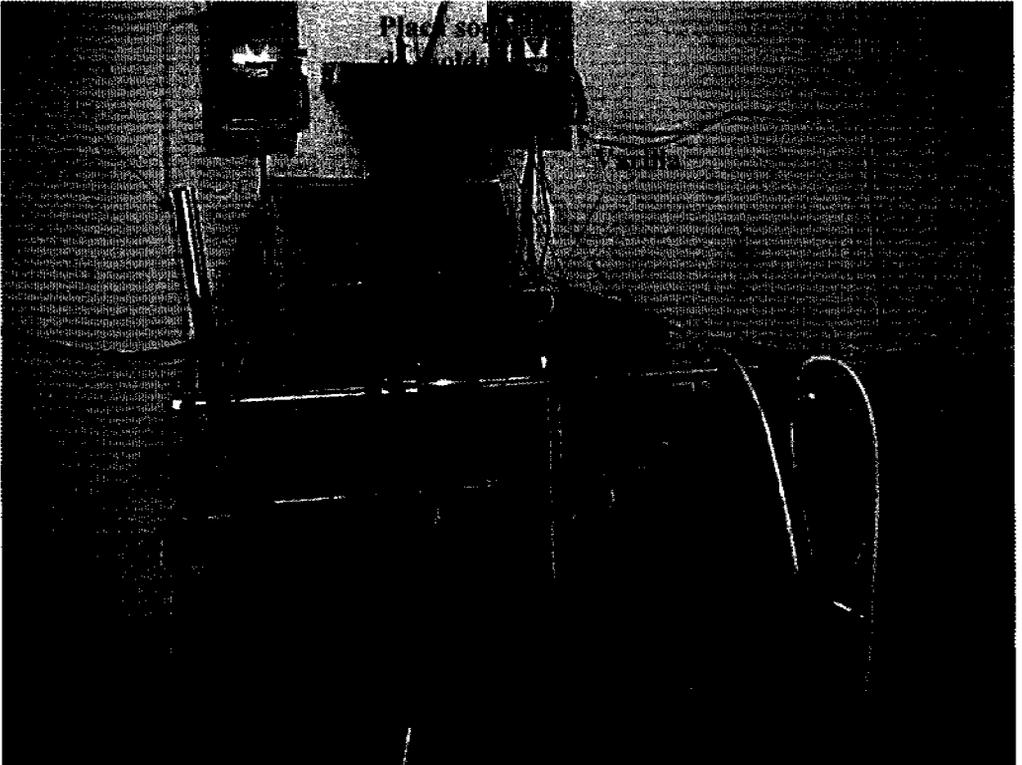


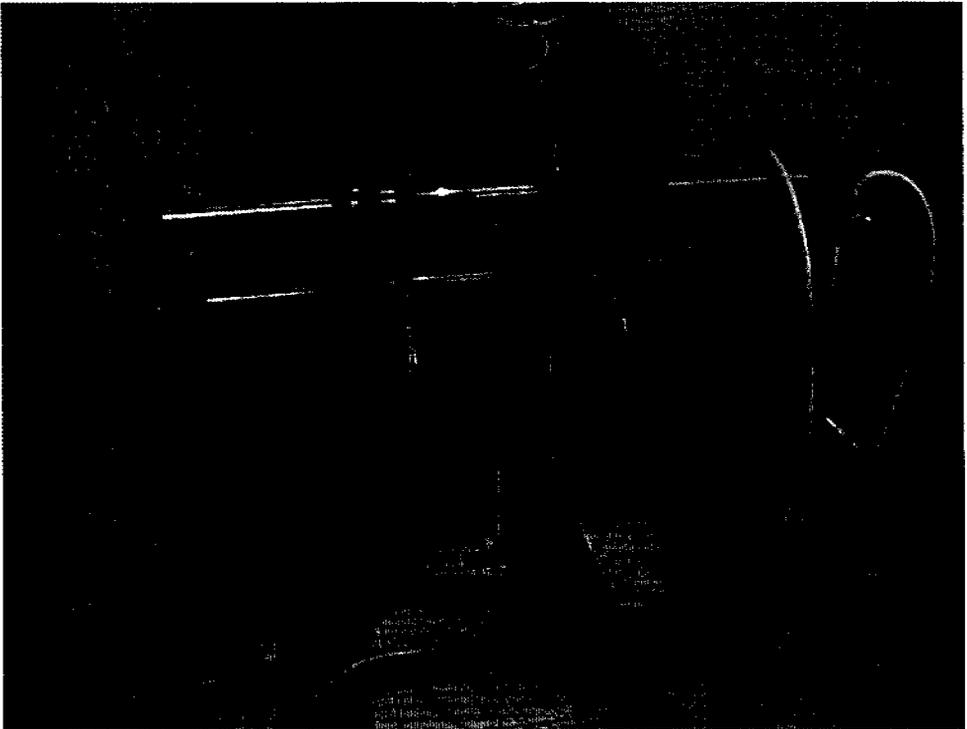


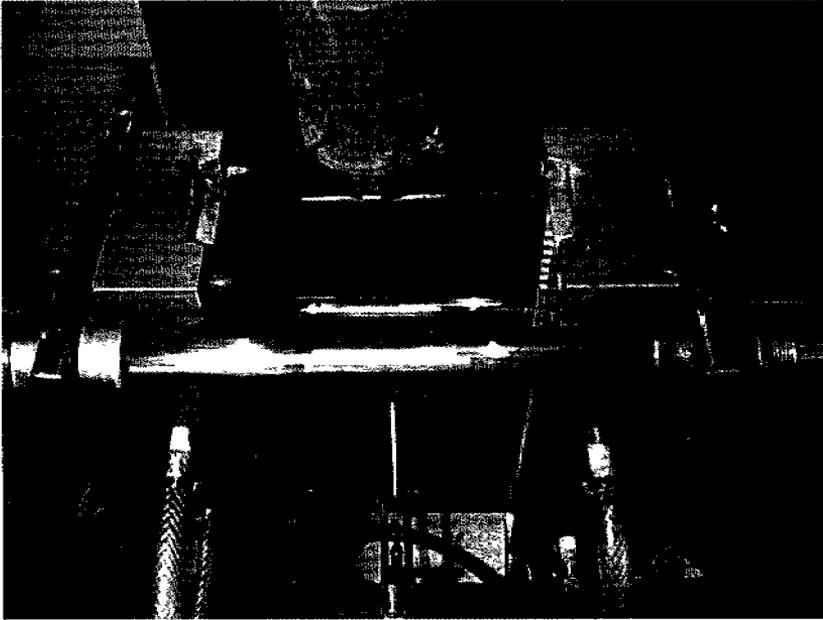
Figura 4.16 Mecanismo de apertura y cierre de molde

Sistema de soplado

EL sistema de soplado se utiliza para inflar la pieza y tome la forma deseada. Como ya se ha mencionado al cerrarse el molde con el material en el interior de él existe una cavidad que es el molde de la pieza a fabricar pero el plástico por si solo no toma la forma de esta cavidad sino que debe existir algo que haga que tome la forma de la cavidad. Esto se hace soplando el plástico en el interior del molde algo parecido como si infláramos un globo dentro de una botella el globo tomaría la forma del interior de la botella (desde luego que en la botella habría puntos de purga para que el aire que se encontrara en el interior saliera y permitir el inflado del globo). Solamente que en este proceso el plástico se encuentra caliente.

Para hacer este soplado se dispone de una boquilla en forma de punta de tal manera que se pueda introducir al molde por un mínimo espacio y desde luego el molde teniendo a disposición un agujero por donde entrará la boquilla. En las figuras 4.17 se muestran dos ángulos de vista donde se muestra la disposición y la forma de la boquilla. Esta se muestra en la figura siguiente.





Figuras 4.17 Disposición de la boquilla de soplado

El soplado debe accionarse cuando el molde se encuentra recién cerrado después de haber atrapado al material. La operación la hace el operador abriendo una válvula de pulso que mantiene oprimida mientras considera que la pieza se solidifique. La figura 4.18 muestra la válvula de pulso.



Figura 4.18 válvula neumática de pulso

Actividades del operador

El operador es el que hace una gran parte de las actividades en la maquina para el funcionamiento completo del proceso. Su papel de operador hace que tenga la responsabilidad de operarlo, supervisarlo, abastecerlo, limpiarlo, ajustarlo y en algunos casos hasta hacerle algunas reparaciones sencillas. En general la descripción de su puesto es la siguiente.

- Hace el encendido de las resistencias eléctricas.
- Prepara su lugar de trabajo, la maquina y sus herramientas.
- Prepara la materia prima que va a utilizar en el turno.
- Checa que funcione el compresor y esté a presión el acumulador.
- Checa si el agua esta en sus estados y niveles normales permitiendo el flujo.
- Manualmente limpia la máquina y revisa que todo esté en orden.
- Hace el vaciado de la tolva.
- Conforme pasa el tiempo manualmente revisa que se pueda dar vuelta al usillo moviendo la banda que hay entre el motor y la caja de velocidades, cuando se puede mover la maquina ya está lista para empezar.
- Acondiciona una de las velocidades en el equipo.
- Arranca el motor principal.
- Deja que salga el plástico que tenía el cañón y lo recolecta como merma.
- Llena la tolva.

- Cuando el material empieza a salir de la boquilla hace los ajustes correspondientes.
- Permite una estabilización en la extrusión.
- Cuando ya esta listo comienza con la operación del sistema de moldeo.
- Aplica el soplado.
- Permite un enfriamiento.
- Expulsa la pieza.
- Toma la pieza y le quita la rebaba.
- La hecha a un depósito.
- Toma el sistema de moldeo y repite el moldeado.
- Las piezas que no funcionen las manda como merma.
- Reajusta cuando es necesario.
- Continuamente checa niveles de material en la tolva, presión de aire y flujo de agua.

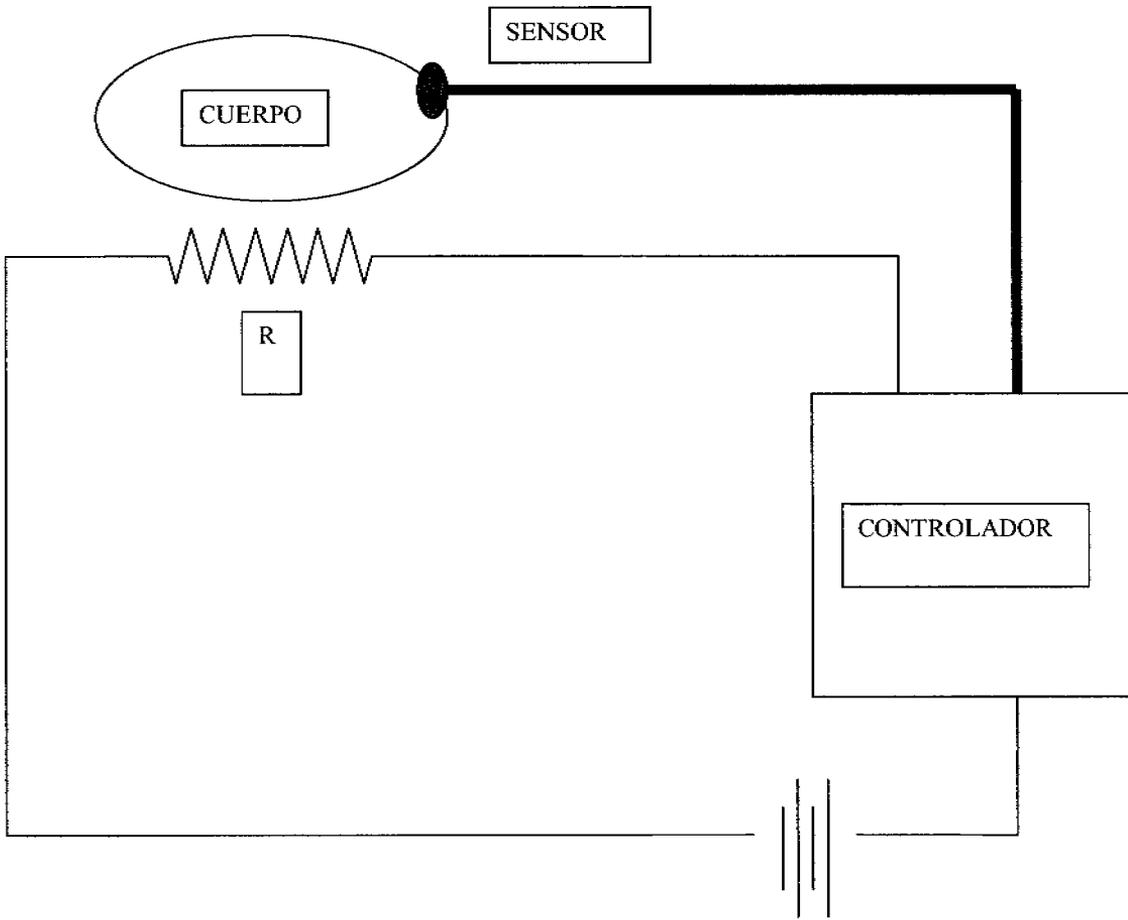
Alimentación de energía, control y accesorios

La maquina se alimenta de energía eléctrica únicamente. Esta se toma de la red pública a 220 V trifásica y los elementos que acciona son los siguientes:

Resistencias eléctricas, motor principal, pirómetros, bomba de agua y compresor de aire los demás accionamientos los hace el operador.

El sistema de control es muy sencillo y solo abarca lo indispensable: se coloca la temperatura de las resistencias, la presión del aire, los niveles del agua para enfriar el molde y la velocidad del motor.

El control en la temperatura de las resistencias es del tipo de lazo cerrado pero muy simple, aunque aquí se encuentra lo necesario de un sistema de control. El diagrama siguiente muestra el diagrama de la constitución del control de temperatura y la figura 4.5c muestra el tablero de los pirómetros en el equipo.



El papel de la resistencia es proporcionar calor al cuerpo que tenga en consideración, el controlador que es el pirómetro ya tiene un valor de referencia, entonces cuando el sistema alcanza la temperatura deseada el sensor termopar envía la señal al pirómetro diciéndole que ya es suficiente entonces este corta la energía eléctrica de las resistencias, así se deja de estar calentando. Pero cuando la temperatura bajas el mismo sensor envía la señal otra vez al pirómetro para que reconecte la energía a las resistencias y así volver a subir la temperatura.

El control en la presión del aire es muy similar aunque los elementos cambian. Aquí el elemento que acumula el aire es la bomba junto con su motor alimentado de energía eléctrica, el controlador y el sensor están en el mismo dispositivo que es el presostato que esta conectado al recipiente a presión. Cuando se acumula bastante presión en el deposito ésta es leída por el elemento sensor el cual manda la lectura al controlador el cual ya debe tener un valor de referencia, al hacer la comparación resulta que la presión en el contenedor ha llegado al valor descrito entonces corta la energía al motor para que se interrumpa la acumulación de aire. De modo inverso cuando la presión ha bajado el mismo sensor la detecta y vuelve enviar la lectura

al controlador otra vez se hace una comparación pero ahora con el valor mínimo de referencia y así decidir si se vuelve a conectar la energía al motor de la bomba. La figura 4.19 muestra el recipiente acumulador.



Figura 4.19 Compresor de aire

El agua que fluye por la máquina como de medio de enfriamiento especialmente en el molde y chumacera cerca de la tolva es por medio de la gravedad, esto es porque el agua está contenida en un depósito a 6 m más alto que el nivel de la máquina. Entre la maquina y este deposito solo existe una válvula de paso para mantener corriente o estancado el flujo. En si el único control que hay es el llenado del deposito. Por medio de un sensor de nivel se detecta el llenado y si el nivel se encuentra muy abajo permite el accionamiento de una bomba de agua que toma al fluido de una cisterna. Cuando el nivel esta en su medida se interrumpe la alimentación a la bomba y deja de abastecer agua. Se hace notar que el agua que sale de la maquina desagua en la misma cisterna. La figura 4.6 muestra el circuito de la red de agua para enfriamiento.

V DISEÑO DEL SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN

V.1 Objetivo de la automatización y control de la maquina.

El producir mas artículos con el equipo extrusor de plástico con sistema de moldeo por soplado es una necesidad para cumplir los requerimientos de producción y esto se debe hacer de manera que cada artículo fabricado tenga un costo de producción mínimo y además goce de buena calidad.

En la actualidad la operación del equipo es de forma manual, esto es, una persona esta manipulando casi la totalidad del funcionamiento de la maquina. Desde luego esto hace que la eficiencia del equipo así como la producción de artículos por unidad de tiempo sea muy deficiente y además el costo por producto este elevado.

Por lo tanto la técnica de automatizar y controlar el equipo promete reducir los costos de fabricación así como elevar la cantidad de artículos fabricados y además que el funcionamiento del equipo sea mas independiente ya no necesitando de la intervención total del operador, entonces éste tendría actividades mas de supervisión y poder cubrir otras tareas que le fueran mas provechosas.

V.2 Pasos del proceso

En primer lugar se debe entender lo que se quiere y para esto debemos saber como se obtiene una pieza de producción terminada con el equipo disponible. Existe un proceso para lograrlo en donde intervienen tiempos, movimientos, temperaturas, etc. Todo esto ya esta establecido, ahora el papel es automatizar al equipo y en principio se debe conocer el proceso. Anteriormente ya se ha explicado el proceso de fabricación pero éste es conforme a ejecuciones manuales, esta nueva descripción de proceso se ajusta a lo requerido con la automatización y el control.

Este desarrollo se explicara de cuatro formas para una mejor comprensión que servirá mas adelante: se tomara en cuenta los parámetros, los dispositivos actuadores, los sensores e interruptores y un diagrama de flujo del proceso.

La siguiente descripción, **Parámetros**, esta constituido en tres partes donde la primera es obtener las condiciones de inicio, la otra es arranque y ajuste y la ultima es repeticiones de ciclo.

Parámetros existentes:

- Material en tolva
- Temperatura de trabajo
- Molde abierto
- Carro de molde debajo de boquilla
- Presión de aire
- Circulación de agua
- Soplador posición arriba

- Giro del motor
- Presencia del material extruido
- Molde cerrado
- Carro de molde lejos de boquilla
- Soplador posición abajo

Condiciones de inicio

- Material en tolva
- Temperatura de trabajo
- Presión de aire
- Circulación de agua

Arranque y ajuste

- Condiciones de inicio
- Giro del motor (giro del usillo)
- Verificación de las condiciones del material extruido (manual)
- Ajustes de extrusión (manual)

Ciclo del proceso según parámetros

Paso 1 Cierre de molde

Condiciones de inicio

Giro del motor

Presencia del material extruido

Molde abierto

Carro de molde debajo de la boquilla

Soplador posición arriba

Paso 2 Traslación de carro lejos de molde

Condiciones de inicio

Giro del motor

Presencia del material extruido

Molde cerrado

Carro de molde debajo de la boquilla

Soplador posición arriba

Paso 3 descenso de soplador y soplado

Condiciones de inicio

Giro del motor

Molde cerrado

Carro de molde lejos del boquilla

Paso 4 Asenso de soplador y soplado

Condiciones de inicio

Giro del motor

Molde cerrado

Carro de molde lejos de boquilla

Soplador posición abajo (señal de retardo para soplado y enfriamiento)

Paso 5

Apertura de molde y traslación de carro de molde debajo de boquilla

Condiciones de inicio

Giro del motor

Carro de molde lejos de la boquilla

Soplador posición arriba

A continuación se describe el proceso tomando en cuenta el estado de los **actuadores** en cada momento de la secuencia.

Dispositivos actuadores:

- Motor principal
- Pistón de molde
- Pistón de traslación
- Pistón soplador
- Resistencias eléctricas
- Válvula de soplado

Inicio

- Resistencias calientes
- Pistón de molde (-)
- Pistón de traslación (-)
- Pistón soplador (-)
- Motor principal apagado
- Válvula de soplado cerrada
- Arranque de motor
- Resistencias calientes
- Pistón de molde (-)
- Pistón de traslación (-)
- Pistón soplador (-)
- Motor principal encendido
- Válvula de soplado cerrada

Ciclo del proceso según los dispositivos actuadores

Paso 1 Cierre de molde

Resistencias calientes

Pistón de molde (-)

Pistón de traslación (-)

Pistón soplador (-)
Motor principal encendido
Válvula de soplado cerrada

Paso 2 Traslación de carro de molde

Resistencias calientes
Pistón de molde (+)
Pistón de traslación (-)
Pistón soplador (-)
Motor principal encendido
Válvula de soplado cerrada

Paso 3 Activación de pistón de soplado y soplado

Resistencias calientes
Pistón de molde (+)
Pistón de traslación (+)
Pistón soplador (-)
Motor principal encendido
Válvula de soplado apagada

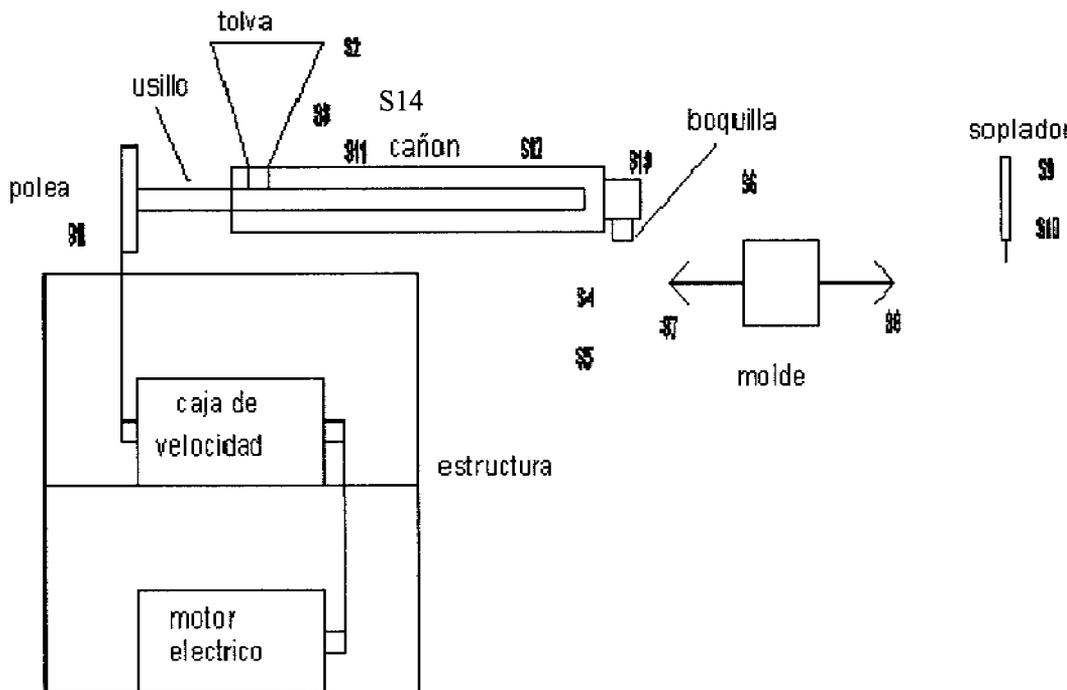
Paso 4 Desactivación del pistón de soplado y soplado

Resistencias calientes
Pistón de molde (+)
Pistón de traslación (+)
Pistón soplador (+)
Motor principal encendido
Válvula de soplado encendida

Paso 5 Apertura de molde y traslación de carro de molde debajo de boquilla

Resistencias calientes
Pistón de molde (+)
Pistón de traslación (+)
Pistón de soplado (-)
Motor principal encendido
Válvula de soplado cerrada

A continuación se manifiesta el proceso en base al estado de los **sensores** involucrados. El esquema siguiente muestra la disposición de los sensores así como su nomenclatura.



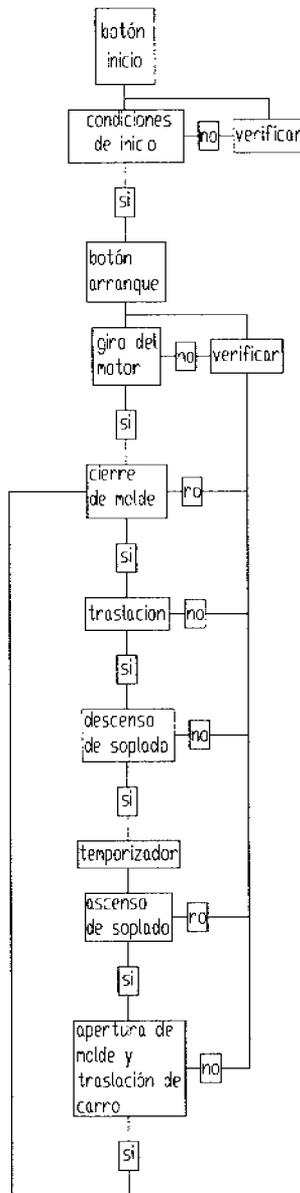
Sensores

- S1 Giro del usillo
- S2 Nivel superior de material en tolva
- S3 Nivel mínimo de material en tolva
- S4 Presencia de materia extruida
- S5 Molde abierto
- S6 Molde cerrado
- S7 Carro de molde abajo de boquilla
- S8 Carro de molde fuera de boquilla
- S9 Soplador posición superior
- S10 Soplador posición inferior
- S11 Resistencia de zona 1 del cañon
- S12 Resistencia zona 2 del cañon
- S13 Resistencia de cabezal
- S14 Control de temperatura

La tabla siguiente indica el estado de sensores en cada paso

Pasos Sensor	Inicio	Arranque	1 Paso	2 Paso	3 Paso	4 Paso	5 Paso
S1	-	1	1	1	1	1	1
S2	-	-	-	-	-	-	-
S3	1	1	1	1	1	1	1
S4	-	-	1	1	0	-	-
S5	-	-	1	0	0	0	0
S6	-	-	0	1	1	1	1
S7	-	-	1	1	0	0	0
S8	-	-	0	0	1	1	1
S9	-	-	1	1	1	0	1
S10	-	-	0	0	0	1	0
S11	1	1	1	1	1	1	1
S12	1	1	1	1	1	1	1
S13	1	1	1	1	1	1	1
S14	1	1	1	1	1	1	1
Presión	1	1	1	1	1	1	1
Flujo	1	1	1	1	1	1	1

El siguiente diagrama muestra el flujo del proceso y posteriormente la descripción del mismo



Botón de inicio:

- Se pone en ON el botón principal
- Se pone en ON bomba de agua (activación de S16, flujo de agua)
- Se pone en ON calentamiento de resistencias

Condiciones de inicio

Después de cumplir las tres acciones anteriores debe pasar un tiempo suficiente, 1.5 Hrs aproximadamente, para que todo el cañón y el cabezal estén calientes. La validación de esta condición la dará el controlador de temperatura que enviará la señal al programa y desde luego el valor de ésta temperatura será programada en el mismo controlador de temperatura..

Además debe cumplir lo indicado en parámetros, actuadores y sensores señalados anteriormente. Si alguno de los anteriores no cumple su estado de inicio el ciclo del proceso no se activará.

Una señal indicadora debe avisar “lista para trabajar”

Botón de arranque, Giro del motor

- Se pone en ON botón de contacto doble uno para la compresora (activación de S15 presión aire) y otro para arranque de motor.
- Botón de stop de emergencia debe estar OFF.
- Botón By Pass tolva debe estar en OFF.

Revisión de la calidad del material extruido

- Tener en OFF botón de inicio de ciclo
- Verificar la extrusión visualmente

Comienzo de ciclo de proceso

- Se pone en ON botón de inicio de ciclo (el equipo comienza a realizar el proceso de producción ciclo tras ciclo interrumpiéndose solo si no se cumple alguna condición incluyendo el paro intencional del operador).

V.3 Partes que se deben controlar y automatizar

Como ya se ha dicho anteriormente la automatización debe servir principalmente para obtener una mayor eficiencia del equipo y en este caso la eficiencia se vera reflejada en una mayor cantidad de piezas por tiempo con alta calidad y menor dependencia humana. Así, en base al objetivo que se presenta en este capitulo se automatizaran y controlaran las partes y/o sistemas que sean necesarios y que desde luego estén al alcance del desarrollo de este trabajo. Este subcapitulo nos dice cuales sistemas se deben automatizar y sus especificaciones pero no nos muestra el aterrizaje de la automatización en la maquina, esto se vera mas adelante.

En el subcapitulo anterior se identifico el proceso que se sigue para realizar una pieza de plástico con la maquina extrusora y de soplado, pero también se involucro la inicialización y arranque así como la presentación en cuatro formas que fueron parámetros, actuadores, sensores y el diagrama de flujo.

Hasta ahora ya se saben las acciones que hay en cada paso, que debe hacerse y en que secuencia. Falta conocer en que manera va a ser el comportamiento o desarrollo de cada una de las acciones.

Antes se deben aclarar las especificaciones de cada acción para descubrir su comportamiento e indicar el modo de control pertinente.

Comenzando desde condiciones de inicio se descubre que hay unas resistencias eléctricas y la función de éstas sobre la maquina es calentar la parte del cañón y el cabezal por lo tanto esta es nuestra primera acción.

CALENTAMIENTO

También se ve la "indicación de material en tolva" esta acción debe hacer que la tolva de alimentación del equipo tenga siempre el material para que la máquina trabaje continuamente. Esta será otra acción.

TOLVA C/MATERIAL

Como el molde esta bipartido para que atrape al material debe tener dos posiciones; abierto para cuando espera al material o para cuando expulsa la pieza conformada y cerrado para atrapar el material extruido y para cuando la pieza se esta conformando. Esta es otra acción.

APERTURA Y CIERRE DE MOLDE

El siguiente elemento es el carro que soporta al molde el cual debe tener un desplazamiento desde debajo de la boquilla hasta otro punto lejano a éste. En el primer estado es para atrapar el material en el segundo estado es para expulsar la pieza.

TRASLACIÓN CARRO DE MOLDE

El siguiente más que un movimiento es una condición del proceso por lo tanto debe estar siempre presente.

PRESIÓN DE AIRE

El flujo del refrigerante es también una condición que debe estar siempre presente tanto para ayudar a conformar la pieza como para enfriar algunas partes de la máquina.

CIRCULACIÓN DE AGUA

La siguiente acción por tomar en cuenta es el accionamiento del sistema de soplado, este debe tener dos posiciones; arriba y abajo. En el primer caso estaría prácticamente sin tener función en la posición de abajo es cuando se ocupa para soplar la pieza dentro del molde y así se logre conformar.

SOPLADOR

Desde luego el trabajo del motor es imprescindible pues es el que genera la extrusión por medio del usillo en el cañón.

ARRANQUE DE MOTOR

En resumen, las acciones que hay en el proceso resultaron ser ocho las cuales se enlistan como se fueron indicando.

- CALENTAMIENTO
- TOLVA CON MATERIAL
- APERTURA Y CIERRE DE MOLDE
- TRASLACIÓN CARRO DE MOLDE
- PRESION DE AIRE
- CIRCULACIÓN DE AGUA
- SOPLADO
- ARRANQUE DE MOTOR

A continuación se analizará cada acción para especificar sus características y saber sus necesidades tomando en cuenta algunos conceptos como variables controladas y manipuladas, procesos, perturbaciones, transductores, valores deseados, controladores, controles, tiempos, cargas, etc.

CALENTAMIENTO:

La temperatura que debe tener el proceso tiene que estar establecida desde un principio, desde antes que se dé arranque al motor. A partir del momento en que la temperatura ha alcanzado el nivel del valor deseado se debe mantener oscilando con un error muy mínimo. Entonces la principal función de esta acción o sistema es que por medio de unas resistencias

eléctricas se obtenga y mantenga la temperatura de trabajo tanto para el cañón como para el cabezal. Entonces la necesidad es elevar y mantener la temperatura.

La variable controlada es la temperatura y ésta debe ser detectada por los sensores en el cuerpo del cañón y el cabezal. Esta variable es la que transforma al material de un estado sólido a uno viscoso.

La temperatura de trabajo en el cañón es de 150 grados centígrados pero la temperatura del cabezal debe ser un poco mayor esto depende del tipo del material y la experiencia del operador.

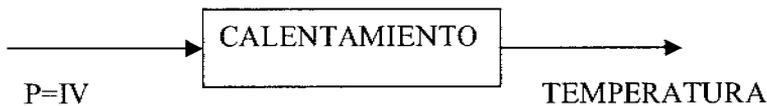
Desde el momento en que se enciende el equipo debe pasar un tiempo para que toda la masa del cañón y el cabezal lleguen a la temperatura deseada esto es aproximadamente 1 Hr, a partir de aquí se debe mantener estable.

El proceso es un fenómeno térmico en donde se va generar por medio de la potencia de resistencias eléctricas de 1500W a un voltaje de 220V.

En este sistema la variable manipulada es la que se utiliza para mantener la variable controlada, por tanto, es la energía eléctrica la que se manipulará.

En este caso las perturbaciones son la pérdida de calor hacia el medio ambiente pero al tener las zonas de calentamiento perfectamente aisladas, entonces no se tomaran en cuenta.

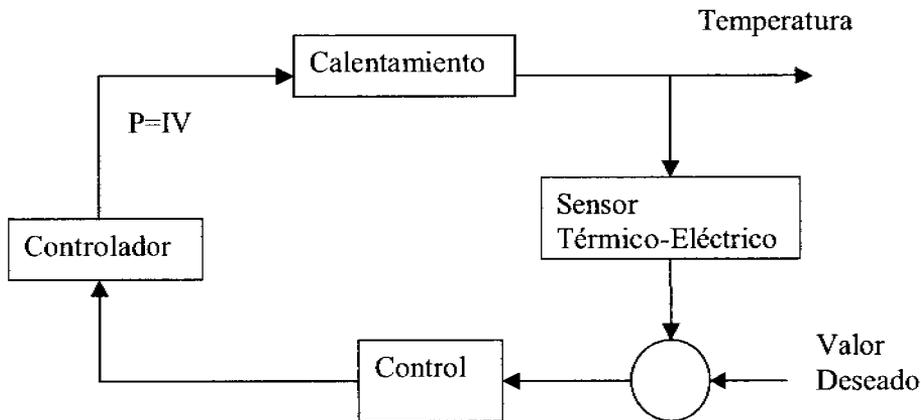
Hasta ahora se puede representar mediante bloques este sistema



Por simplicidad en el manejo del control debe haber transductores que hagan el cambio de una señal térmica a una señal eléctrica.

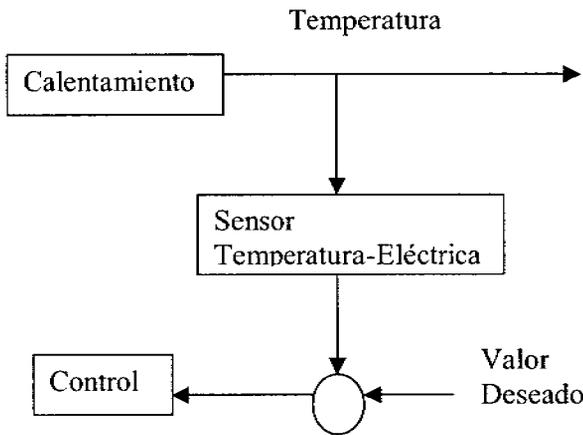
Los diferentes tipos de material plástico por trabajar obligan a que la temperatura tenga diferentes valores, por lo tanto se necesita que el dispositivo tenga presente el valor deseado y se esté comparando con la temperatura real. La exactitud en la estabilización del valor controlado no es tan rígida, puede existir un oscilamiento entre +/- 3 grados. Solo se necesita que cuando se pase el valor deseado se desactive y cuando disminuya se vuelva a activar.

Lo anterior avisa que existe un sistema con retroalimentación. Así, tenemos entonces un diagrama de bloques que representa al fenómeno.



Hasta ahora no se ha definido físicamente los elementos del sistema como son tipo, marca, características, dimensiones, etc. Esto se verá más adelante.

Además la temperatura del cañón sirve como una señal de condición para que funcione la máquina. Esto es que cuando se alcance o rebase la temperatura programada se mande una señal al control que tiene cargado el programa y sea procesada y entre en función con el equipo. Si nunca se da esta señal el equipo no funcionará y si es intermitente el equipo también lo será. Entonces en esta acción de calentamiento hay dos controles el que mantiene la temperatura, que es la descripción anterior, y el que manda la señal al control del programa. El valor deseado del segundo debe ser inferior al valor mínimo del rango de retroalimentación del primero. El diagrama del segundo control ó el control de señal es el siguiente.



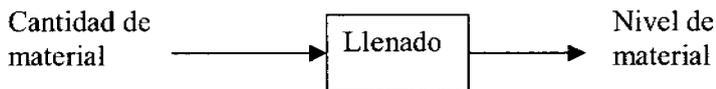
TOLVA CON MATERIAL:

El objetivo de esta acción es mantener la tolva con material plástico a un nivel mínimo aceptable con el cual la extrusora no tenga problemas de abastecimiento para la producción, cuando ya no se detecte existencia de material en la tolva se debe detener el equipo. Aunque realmente no perjudica en causa de avería el trabajar sin material, esto es como medida de continuidad de producción.

En este sistema sería muy molesto que la máquina estuviera deteniéndose cada que se terminara el material en la tolva pues el operador puede tener otras funciones las cuales no le permitan estar como vigía solamente de la tolva por lo tanto se introduce un sensor de aviso como medida preventiva, éste al accionarse avisará al operador que el nivel de material está próximo a terminarse, y esto sin detener al equipo, sino sólo con una luz destellante será el aviso preventivo.

Por lo anterior se nota que la variable a controlar es el nivel del material en la tolva sobre los dos puntos, el preventivo y el de paro. El proceso es el llenado de la tolva y esta acción la hace el operador. Y la variable que se manipula es la cantidad de material que se tiene en la tolva.

Hasta aquí en bloques se determina en la siguiente manera.

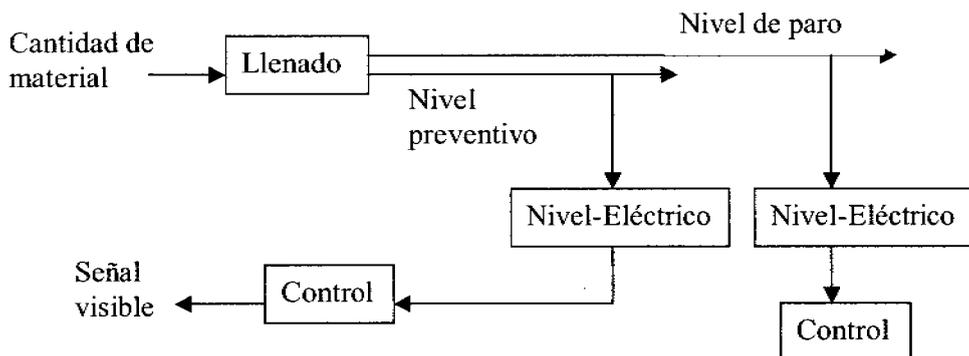


Por conveniencia se debe contar con transductores que al medir la señal de nivel la transformen en una señal eléctrica.

Para controlar la variable controlada hay dos formas de hacerlo pues hay dos valores constantes. El primero que corresponde al de prevención es de la forma visual del operador mediante una señalización muy visible, como ya se mencionó con una luz parpadeante, que dé aviso de la situación y obligue al operador a completar el nivel. El segundo es la señal de paro en donde al ser activado la señal sea enviada al control y se procese en el programa de trabajo y sea procesada y haya un resultado consecuencia de la propia programación la cual debe ser el paro del equipo principalmente en el momento de cierre de molde.

Esta señal debe tener un reset o swich de paso para cuando sea necesario vaciar la máquina del material ya sea por cambio de materia prima o limpieza del equipo, etc., y desde luego la señal del sensor de paro por no tener material no influya en esta ejecución.

El diagrama de bloque que representa este sistema es:



APERTURA Y CIERRE DE MOLDE Y TRASLACIÓN DE CARRO DE MOLDE:

En esta descripción se hace referencia a los dos sistemas ya que van a trabajar de la misma forma o de la misma manera.

El molde está montado en un mecanismo que será el encargado de colocar al molde en su posición, por lo tanto la variable controlada es la posición del molde en cerrada o abierta. De la misma forma el carro de traslación del molde también está montado en un mecanismo que lo posicionará en el lugar requerido. Y el proceso es la traslación o movimiento de los mecanismos. Actualmente la máquina cuenta con una articulación que permite hacer esta ejecución solo que es actuada manualmente mediante una palanca. En el próximo subcapítulo se determinará el dispositivo actuador para automatizar tal sistema.

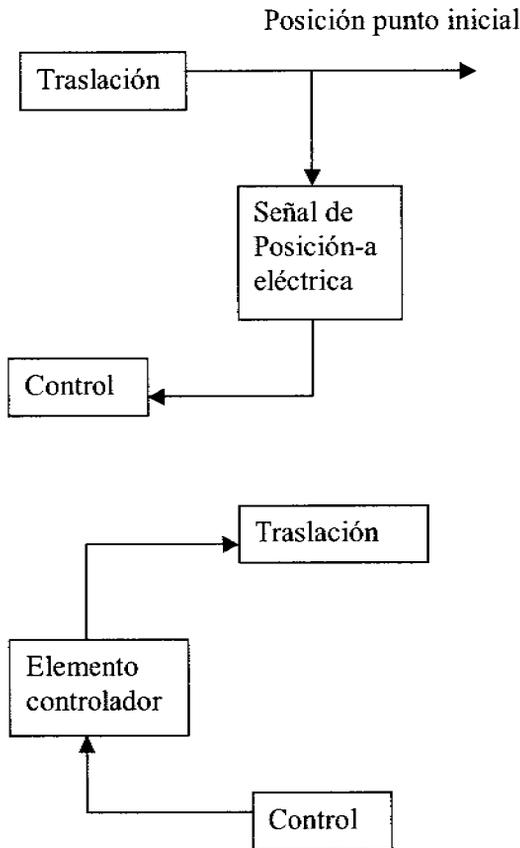
Ya que se medirá la posición que tenga el molde se necesita entonces un dispositivo que indique la posición ya sea tomando en cuenta el molde mismo o algún punto de referencia del

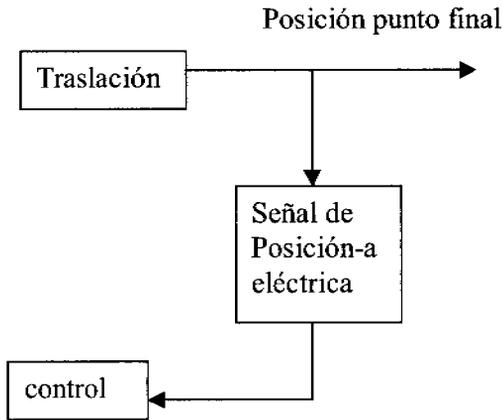
mecanismo. Por tanto se debe utilizar un transductor que convierta la señal de posición en una señal eléctrica para un manejo mas sencillo.

Debe observarse que en la posición de molde cerrado debe existir una fuerza de unión entre los ensambles de las partes del molde para que no haya fugas del material plástico caliente y viscoso principalmente durante el soplado.

El sistema debe cumplir con ir de un punto de posición a otro entonces estos son los valores requeridos de posicionamiento, o sea, punto final y punto inicial. La posición del molde o carro es condición para que prosiga la secuencia del programa así que cada sensor ya sea posición cerrada o posición abierta debe mandar una señal al controlador para que éste procese esa señal. Posteriormente en su momento también el dispositivo actuador de este sistema será activado por otras condiciones cambiando la posición de punto final a punto inicial o viceversa.

En bloques este sistema queda representado así:





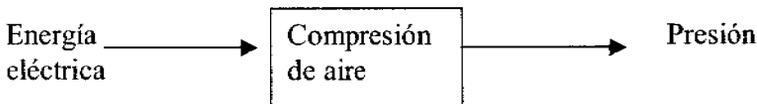
Un diagrama para el punto final y otro para el punto inicial. Esto porque la variable controlada es una señal de condición. Y el diagrama de la señal del control al dispositivo actuador para realizar la traslación.

PRESION DE AIRE:

La variable que aquí se va a controlar es la presión de aire en el sistema generador a sea el compresor y es necesario que tenga 7 bar de presión para el funcionamiento de los dispositivos en toda la máquina

El proceso es la compresión de aire con un dispositivo alternativo accionado por un motor eléctrico. La máquina extrusora actualmente ya cuenta con un equipo de compresión de aire por tanto nos limitaremos a la concentración de la automatización y control.

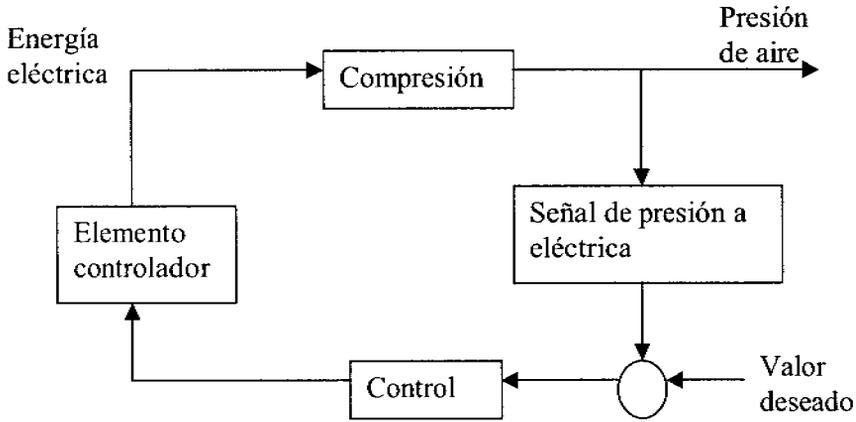
La variable que se va a manipular para controlar esta presión es la activación y desactivación del motor eléctrico con baja presión y suficiente presión respectivamente. Esquemáticamente queda de la siguiente forma:



Para poder medir la variable controlada es necesario un dispositivo capaz de medir la presión y convertirla en una señal eléctrica. El valor deseado, como ya se mencionó, es de 7 bar entonces cuando la presión esté debajo de este valor se activará la compresión y cuando se alcance o rebase este valor no habrá compresión.

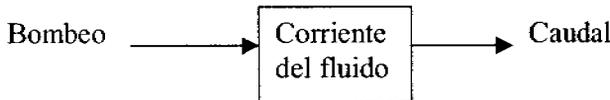
Como se trata de activar y desactivar al motor eléctrico entonces la salida controlada es un on-off por tanto no se necesita un proceso de control complejo así también el transductor no es necesario que sea de mucha precisión y puede haber un rango de .5 bar +/- en la vecindad del

valor deseado. El dispositivo que controla la alimentación del motor y que es comandada por la señal del control debe ser de on-off. El esquema de bloques queda de la siguiente forma:



CIRCULACIÓN DE AGUA:

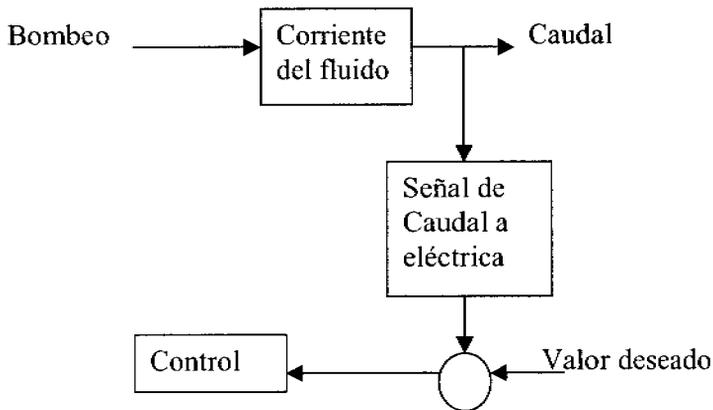
La variable controlada en este sistema es el caudal o flujo volumétrico. El proceso es que exista una diferencia de presión en dos puntos para que se genere el flujo. Esta máquina ya cuenta con un sistema hidráulico de bombeo el cual siempre debe mantener la circulación del fluido y su funcionamiento es independiente al control que se considera por lo tanto sólo nos limitaremos a continuar con la automatización y el control. Hasta aquí el diagrama queda así:



El elemento de medición debe tener la capacidad de convertir el movimiento del fluido en una señal eléctrica. Existe un valor deseado y se encuentra muy cercano al valor máximo que logre dar el sistema de bombeo. Este valor es constante y es aproximado a 15 l/min. No debe haber problema si el flujo rebasa este valor pero si disminuye entonces se debe detener la máquina.

El control sólo debe captar si le llega una señal de activado o desactivado para que la pueda procesar en el programa de trabajo. No existe una retroalimentación de control al flujo, esta la tendrá que hacer el operador ajustando el elemento de medición y la válvula de paso en el ducto del fluido.

Esquemáticamente con bloques queda así:



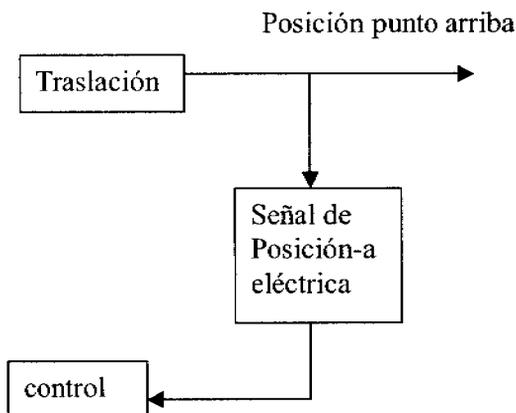
SOPLADOR:

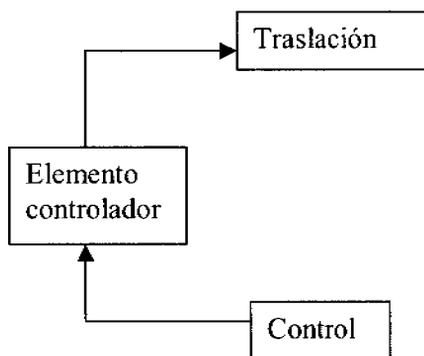
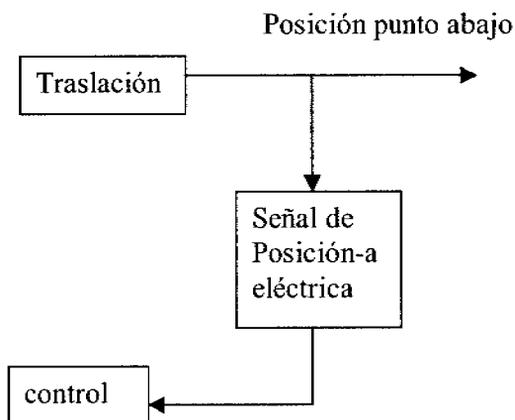
Este sistema tiene dos acciones la de actuar un mecanismo que mueva al inyector de aire y el de la propia inyección de aire en el molde, analicemos la primera.

Mecanismo de inyector: Este sistema solo trabaja colocándose en dos posiciones y en cada una de esas posiciones que se llamarán arriba y abajo, sirven para generar una señal al controlador y esta sea procesada en su programa y la ejecución del dispositivo actuador esta comandada por una señal que el control debe mandar al elemento controlador dependiendo del programa del control.

Así entonces habrá un esquema de bloques para la señal indicando arriba, otro diagrama indicando la señal de abajo y un tercero dando la señal de ejecución y se presentan a continuación:

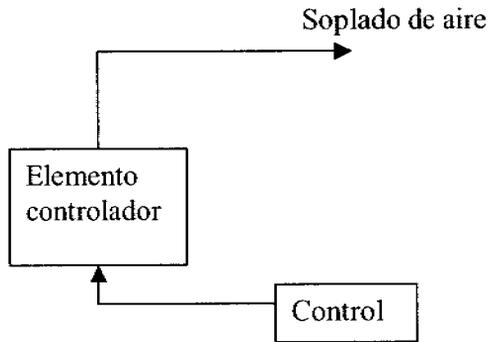
Cabe señalar que este sistema es muy parecido al de traslación de molde.





Inyección de aire: La variable controlada es la existencia de aire de soplado para esto el sistema de aire comprimido debe estar en condiciones óptimas. Este es un sistema en donde se debe controlar la apertura y cierre de paso de aire y la debe controlar el elemento de control que tiene cargado el programa de trabajo indicando la acción del elemento controlado en el tiempo que lo indique el mismo programa.

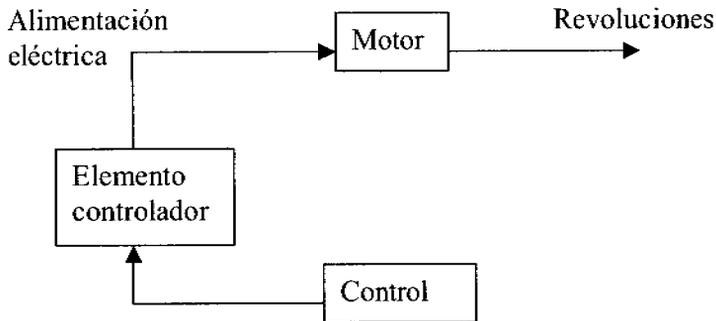
Esquemáticamente queda representado de la siguiente forma:



ARRANQUE DE MOTOR:

La variable de salida que interesa es el giro del motor ya que es el que transmite el movimiento al usillo extrusor. La cantidad de velocidad angular dependerá del operador teniendo en consideración el tipo de material, temperaturas ajustadas, tamaño de la pieza, entre otras cosas. Para ello las revoluciones por minuto del motor deben ser regulables estando la máquina parada y si se puede también en funcionamiento.

La activación o desactivación dependerá de las condiciones en el programa de trabajo que se encuentra cargado en el control. Así simplemente tenemos un sistema como se muestra en la figura siguiente.



V.4 Dispositivos para automatizar y controlar (hardware)

En este subcapítulo se determina que tipo de instrumentos se requieren para lograr las especificaciones dadas anteriormente en cada subsistema o acción. Así pues en el mismo orden como se desarrollaron tales especificaciones también se presentaran los dispositivos para esas acciones.

CALENTAMIENTO:

Como indican las especificaciones a esta acción primero veremos las relacionadas al sistema que mantiene la temperatura. El proceso es el cambio de energía eléctrica en calor lo cual lo definimos con las resistencias eléctricas, estos elementos ya son existentes en el equipo, sobre el cañón que esta dividido en dos zonas y el cabezal. Esto se puede apreciar en la figura 5.1.

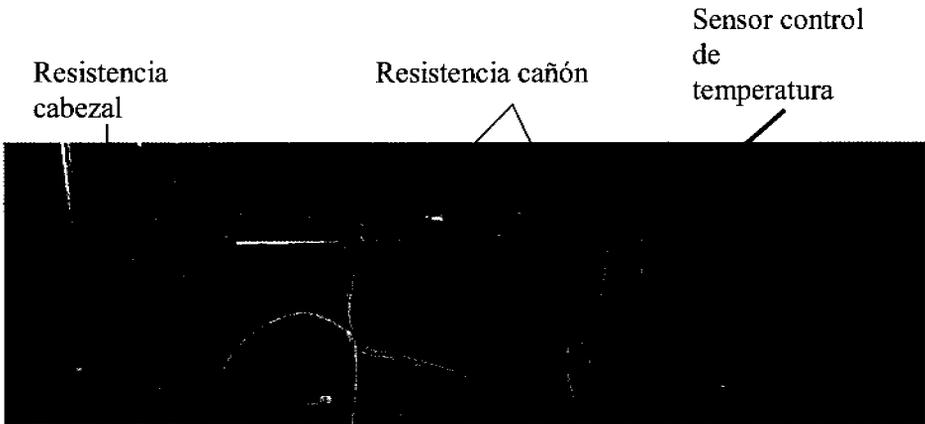


Figura 5.1

Las características de las resistencias son las siguientes:

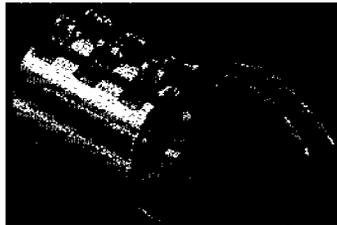
Resistencia tipo banda tubular

Potencia a 1500 W

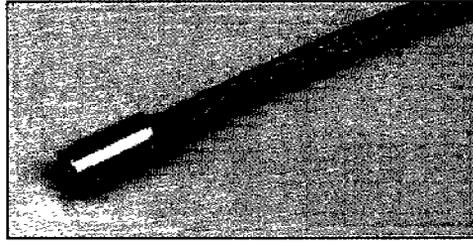
Diámetro interior aproximado 3", 2 piezas

Diámetro interior aproximado 6", 1 pieza

220V 60Hz



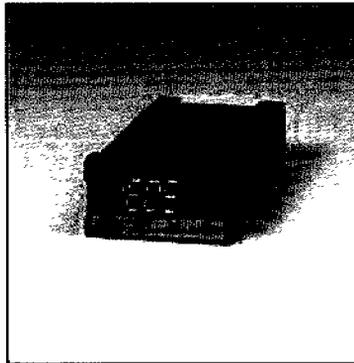
Seguidamente esta el elemento transductor que viene siendo un termopar el cual debe captar la señal térmica y convertirla en eléctrica, tiene las siguientes especificaciones:



Termopar de contacto
Tipo k
Unión aislada
3.2mm diámetro x 20mm longitud
-25 C a 250 C

El cañón y el cabezal son cuerpos sólidos de acero en los cuales están barrenados orificios con dimensiones para alojar los termopares y como son tres zonas bajo medición entonces se colocan un termopar para cada zona, esto es, los sensores S11, S12, S13, en el esquema de sensores.

La parte de modulación de valor deseado, control y controlador se tiene en el dispositivo llamado controlador de temperatura, es el siguiente:



Precisión: $\pm 0.3\%$ del fondo de escala. Alimentación estándar 100-240 Vca
Entradas configurables para termopares tipo K, J, T, N, E, R, S y B o para Pt100
Salida a relé o lógica para relé de estado sólido (SSR)
Memoria no volátil

La colocación de los controladores de temperatura estarán en el compartimiento en donde se alojarán los dispositivos de visualización, manejo y control de los otros sistemas al cual le llamaremos tablero de control.

La conexión eléctrica se verá en el siguiente subcapítulo.

Lo anterior corresponde al control que mantiene la temperatura pero falta determinar los instrumentos para la señal que corresponde al programa de procesamiento o al control.

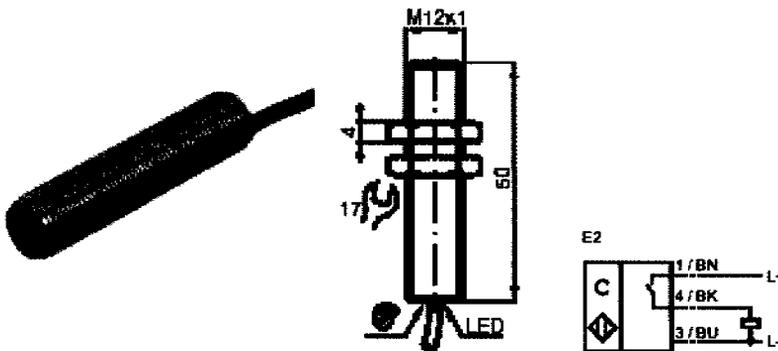
En primer lugar se debe tener también un sensor que esté detectando la señal térmica y esto se realiza de igual forma con un termopar (designado como S14 en el esquema de sensores) como el señalado anteriormente conectado a un nuevo control de temperatura, también como el anterior, pero esta vez se llevará la señal de salida hacia el control. Este control será un PLC y se describirá mas adelante basándose en todas las condiciones que resulten en todos los sistemas.

La posición de este termopar se encontrará barrenada sobre el cañón entre las dos resistencias, también como se ve en la figura V.1

TOLVA CON MATERIAL:

Debido a que los sensores deben estar en contacto con el material entonces se colocarán en la tolva barrenándola para poder sujetarlos como se describe a continuación. La imagen siguiente figura 5.2 muestra la disposición de la tolva, en el lado que se muestra es donde se barrenara para la colocación de sensores capacitivos. El barreno superior se encuentra a 25 cm del nivel de referencia y es para indicar el nivel preventivo, el barreno inferior se encuentra a 5 cm del nivel de referencia y es para indicar el nivel mínimo aceptable, la unión de la tolva y el cañón es el nivel de referencia.

Los tipos de sensores son capacitivos cilíndricos como se ve a continuación



Función del elemento de conmutación PNP N.A.

Distancia de conmutación de medición sn 4 mm

Montaje enrasado

Distancia de conmutación asegurada sa 0 ... 2,88 mm

Tensión de trabajo UB 10 ... 35 V

Corriente de trabajo IL 0 ... 200 mA

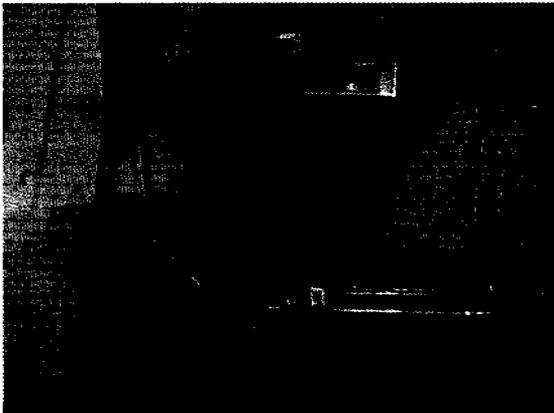
Corriente en vacío I0 \leq 20 mA

Indicación del estado de conmutación LED, amarillo

Modo de conexión 2 m, cable PUR

Sección transversal 0,14 mm²

Material de la carcasa acero inoxidable



Nivel preventivo

Nivel mínimo aceptable

Nivel de
referencia

Figura 5.2

La señal que el sensor de nivel mínimo aceptable envíe será procesada, como ya se ha dicho, por el control el cual será un PLC que hasta el momento no se tiene descripción alguna sino hasta que se determinen las características de todo el sistema y esto será más adelante.

Con respecto al nivel preventivo que sólo enviará una señal visual al operador para indicarle que hace falta material en la tolva y para esto el sensor correspondiente cerrará el circuito de un relay y al activarse los platinos de éste cerrará otro circuito encendiendo una luz. El relay es el siguiente:



Alimentación 12 – 24 V cd

Salida 24V cd –120V ca

La señal visual usada es del siguiente tipo



Dimensiones: 73 x 110 mm.

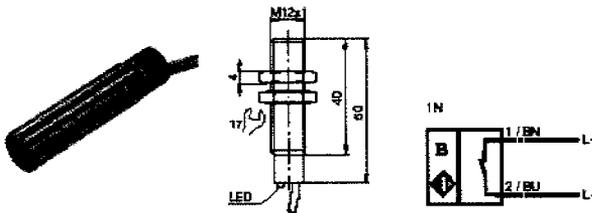
Luz de Flash

Alimentación 12-48 V cd 0.3A@12V

2.6 Watts

APERTURA Y CIERRE DE MOLDE:

Se localizará los puntos sobre la estructura donde se encontrarán los elementos transductor de la señal de posición a la señal eléctrica, pero estos transductores son del tipo magnético como se presenta a continuación. Este sensor se sostendrá en un soporte el cual se colocará en la estructura del carro transportador de molde como se muestra en la figura 5.3, como se aprecia están las posiciones de molde abierto y molde cerrado, el triángulo amarillo indica la posición del sensor para que detecte molde abierto y el triángulo verde indica la posición del sensor detectando molde cerrado. Los círculos rojos son la zona que activarán a los sensores.



Distancia de conmutación de medición sn 60 mm

Montaje enrasado en metal no ferroso

Distancia de conmutación asegurada sa 10 ... 60 mm

Tensión nominal U_0 8 V

Frecuencia de conmutación f_0 ... 5000 Hz

Consumo de corriente

Imán detectado i_Y 2,5 mA

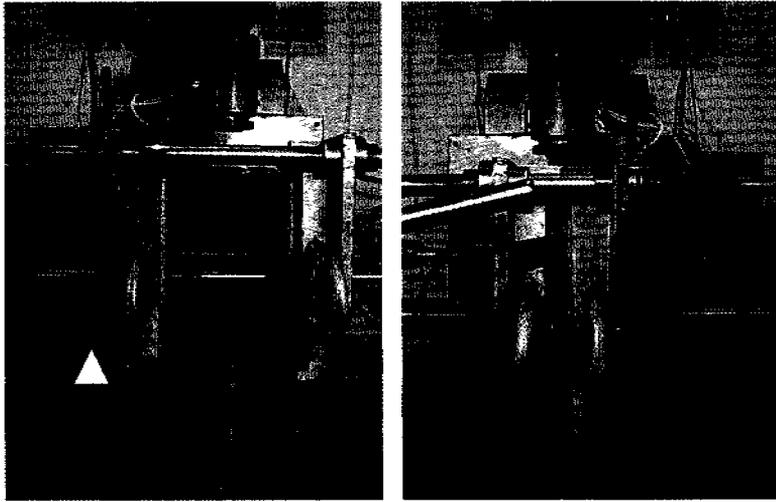
Imán no detectado i_U 1 mA

Indicación del estado de conmutación LED, amarillo

Modo de conexión 2 m, cable PVC

Sección transversal 0,34 mm²

Material de la carcasa latón, niquelado

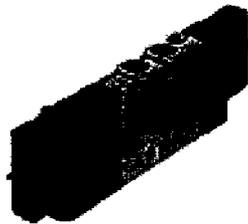


a) Molde abierto b) Molde cerrado

Figura 5.3

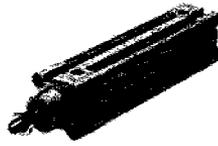
La señal mandada a este tipo de sensor será enviada al control que como ya se mencionó se definirá más adelante.

Posteriormente el control enviará una señal a una válvula direccional neumática con las siguientes especificaciones.



Voltage 24 V DC, 110 V AC, 230 V AC
5/2-vías

Esta válvula controlara la actuación de cierre y apertura de molde comandada por el siguiente dispositivo



Cilindro estándar
Diámetros 32 ... 100 mm
Carreras 2 ... 2,000 mm

Este cilindro se colocara para sustituir la palanca manual de cierre y apertura de molde que se aprecia en la figura 5.4. La fijación al sistema se describe a continuación.

La placa tendrá un soporte con función de pivote para sujetar el extremo trasero del cilindro

Del eje de transmisión de giro se le fijará una nueva palanca a donde en el extremo contrario se le fijara con función de pivote al extremo de la barra del émbolo del cilindro.

Este acoplamiento permitirá ejecutar el mecanismo de la misma manera que el manual.

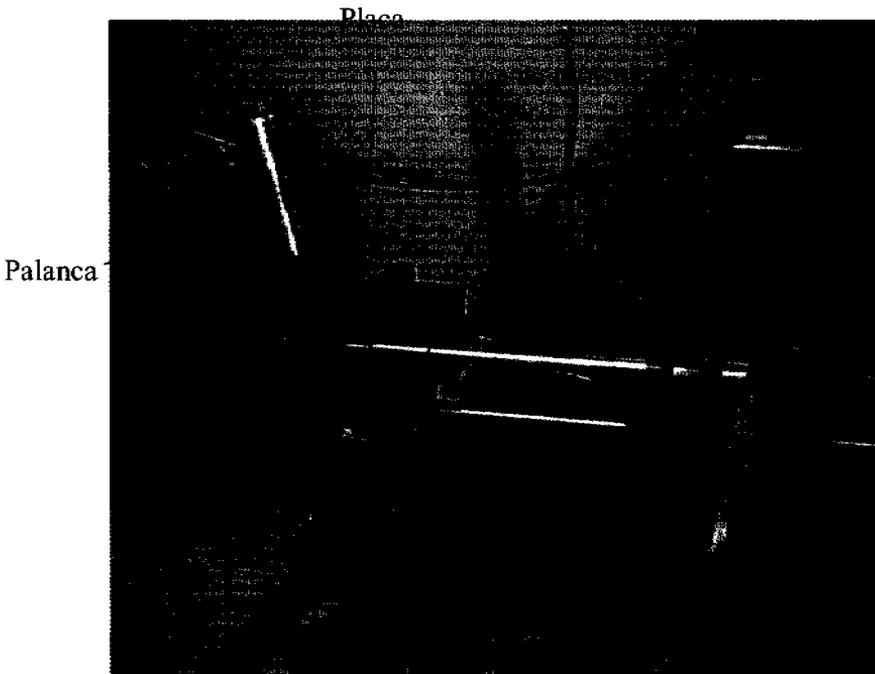


Figura 5.4

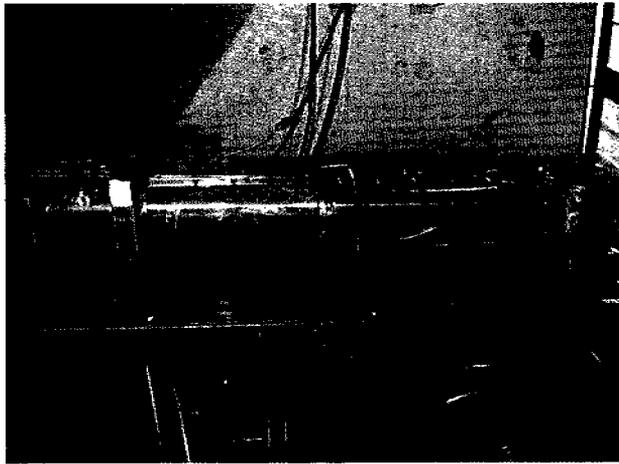
TRASLACIÓN DE CARRO DE MOLDE:

Ya se ha dicho que este sistema es muy similar al anterior por lo tanto aquí solo se especificará la posición de sensores y dispositivo actuador.

La imagen que se muestra a continuación, figura 5.5 a), indica que el molde se encuentra exactamente debajo del cabezal. Y en la figura 5.5 b) se ve que el molde ya no se encuentra debajo del cabezal, esto es porque el carro de traslación de molde se desfaso hacia delante. Como dato para mejor comprensión se hace señalización de los rieles en la figura.

Donde se marcan círculos verdes es en donde se fijarán los sensores y las señalizaciones de círculos rojos son las zonas que se detectarán.

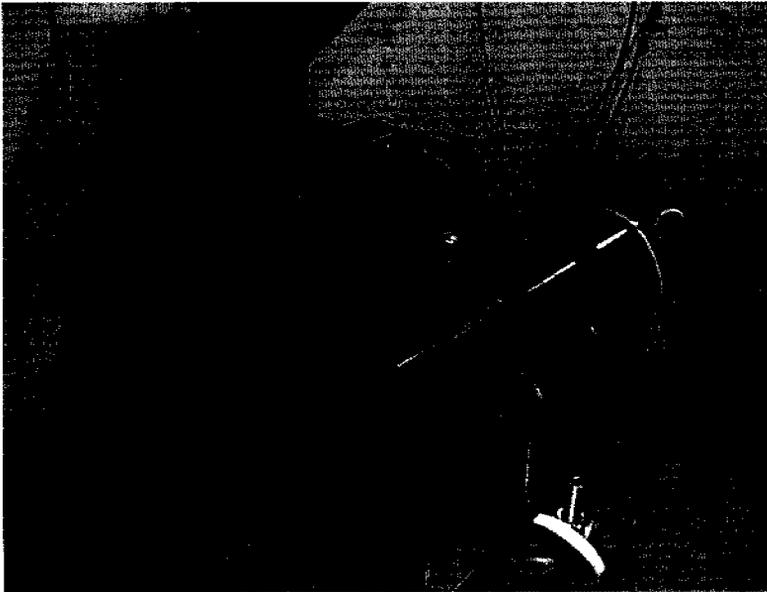
El dispositivo actuador, o sea, el cilindro neumático se sujetará como en el caso anterior, teniendo en sus extremidades sujeciones pivoteadas en donde la parte posterior se encontrará con el chasis que es elemento fijo y el de la barra del émbolo se fijará con la parte móvil que es el carro de traslación.



Cabezal

Molde

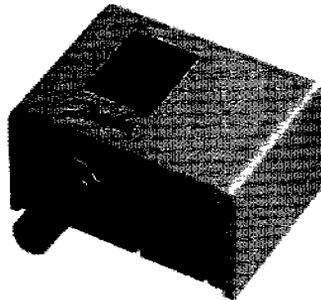
a)



b)
Figura 5.5

PRESION DE AIRE:

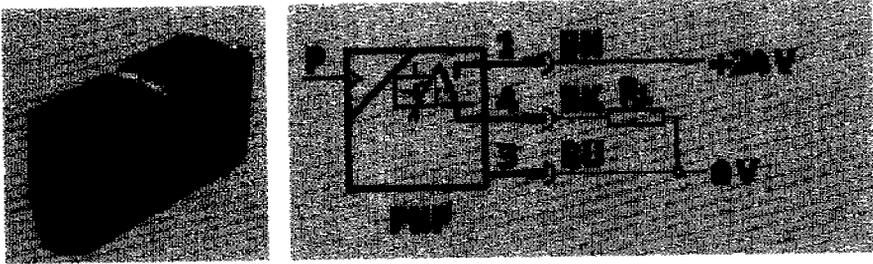
El punto en donde se mide la presión es en el depósito y aquí es donde se coloca el presostato como controlador de presión ya que cuando alcanza la presión en el contenedor se corta la corriente del sistema para detener el motor del compresor, este dispositivo tiene las siguientes características:



Switch de presión
Usos generales agua aire aceite
Rango de 0 a 400 psi

Conexión inferior 1/4 npt
Salida spdt

Además se necesita un medidor de presión para captar la señal hacia el control y también se tomara del mismo de posito, este valor debe estar calibrado por abajo del valor mínimo que tenga el presostato. Esta necesidad es porque la presión de aire es una condición de activación del equipo. Esta variable se captará con el sensor que se muestra a continuación:

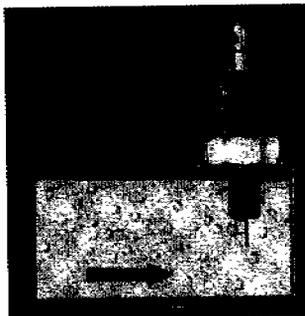


Tension 15....30V CD
100mA max.
0...50 C
0....10Bar
Presostato piezoeléctrico
Led amarillo
Programable
Racor 3,4,6mm
Salida PNP
Conector M8 tres contactos

Con este elemento se manda la señal al control que contiene el programa de trabajo.

CIRCULACIÓN DE AGUA:

El punto donde se medirá el caudal es en la entrada de agua a la máquina que es la alimentación principal. La calibración del sensor o medidor debe estar un 25% mas abajo del valor promedio de la corriente del agua aquí lo importante es asegurar la corriente del líquido por encima de este valor. Para ello se cuenta con un dispositivo como el que se muestra

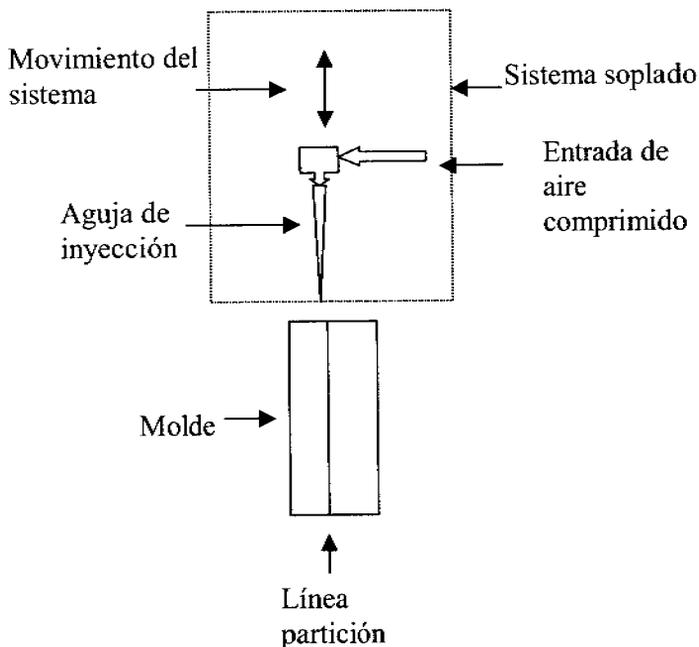


Tensión de alimentación 24 Vdc +/- 20%
 Consumo de corriente 50 mA
 Consumo de corriente inicial (calentamiento del sensor < 2seg.) 150 mA
 Intensidad de salida 400 mA
 Retraso de disponibilidad desde que el sensor es alimentado 8 segundos
 Tiempo de reacción 5 segundos
 Led indicador Verde Alimentación
 Led indicador Rojo Salida
 Potenciómetro de 20 vueltas para prefijar el punto de conmutación PNP

Este elemento manda la señal al controlador.

SOPLADOR:

Este sistema actuará cuando el molde esté cerrado y lejos de la boquilla, y los componentes principales son como se muestra en el esquema siguiente con una vista de frente.



La disposición espacial del dispositivo se muestra en la figura 5.6, está de color amarillo y enmarcado con líneas punteadas color rojo. La aguja inyectora de aire debe entrar y salir del molde en sus tiempos necesarios, se recuerda que esto es para efectuar el soplado del plástico caliente dentro del molde que se encuentra cerrado para que se logre conformar la pieza deseada.

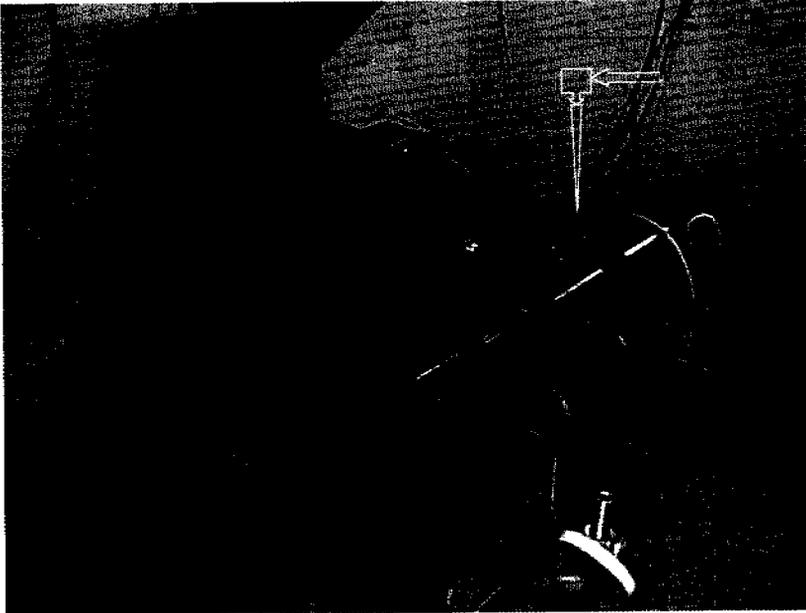
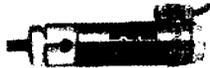


Figura 5.6

El movimiento del sistema de soplado lo efectuará un cilindro neumático de simple efecto como el que se muestra a continuación



Embolo magnético

Medidas de diámetro interno: 9/16

Carreras: 1/2" – 3/2" (dependiendo de la medida del diámetro y el estilo de montaje)

Vástago afuera estando bajo presión.

Diámetros de vástago: 1/4"

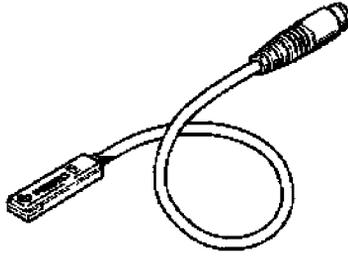
Versiones en simple o doble acción

Temperatura estándar de operación: +14°F a +140°F (-10°C a 60°C)

Muelle de retorno

Terminación del vástago: Macho estándar

El sensor que tiene el cilindro es un detector de proximidad como el siguiente:

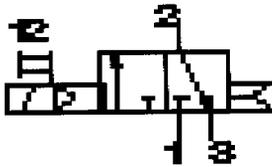
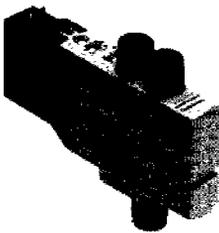


Medición magnetoresistivo
 Conmutación al contacto de trabajo
 Led amarillo indica estado
 Tensión 10...30V
 100mA salida
 salida PNP

En la terminación del vástago se adaptará el soporte para la aguja de inyección de aire que es solamente un tubo metálico hueco de diámetro exterior no mayor al diámetro de penetración en el molde, también sujetará la conexión rápida de 6mm para aire comprimido.

El sensor que se encuentra en el propio cilindro y el émbolo magnético darán la marca para que se determine el estado del cilindro, o sea, soplador arriba o abajo y esa señal será dirigida directamente al control.

Existe la válvula de alimentación para el cilindro la cual debe ser una electro válvula distribuidora 3/2 con muelle de retorno, la señal para esta válvula viene del control en su respectivo tiempo de activación. Desde luego cuando ésta este activada el soplador debe estar abajo inyectando aire.



Diámetro nominal 7 mm
 Tipo de accionamiento eléctrico
 Tipo de reposición muelle neumático
 Presión de funcionamiento aire de pilotaje 2 - 8 bar
 Presión de funcionamiento 2 - 8 bar
 Caudal nominal normal 500 l/min.
 Consumo eléctrico 1,5 W

Tensión nominal de funcionamiento DC24 V
Fluido Aire seco, lubricado o sin lubricado

De igual manera el aire de soplado o inyectado es controlado por una electro válvula 2/2 con retorno por muelle y también su activación depende del control directamente.

ARRANQUE DE MOTOR:

La transmisión debe ser cambiada a la que se encuentra actualmente. La descripción de la transmisión actual se hace en el capítulo IV en sistema de transmisión. Para ello se sabe que este equipo trabaja cercano a las 50 rev/min en el tornillo o usillo de extrusión, dependiendo el material a extruir, y el motor da las 1730 rev/min por lo tanto la relación de poleas debe ser la siguiente:

Con la siguiente regla: el número de revoluciones por minuto es inversamente proporcional al diámetro, tenemos

$$\frac{\# \text{ rev } 1}{\text{inv D } 1} = \frac{\# \text{ rev } 2}{\text{inv D } 2}$$

Se tiene en el eje del motor una polea de 3" a 1730 rev /min entonces es acoplada con una polea de 16", tenemos

$$\frac{1730}{1/3} = \frac{X}{1/16}$$

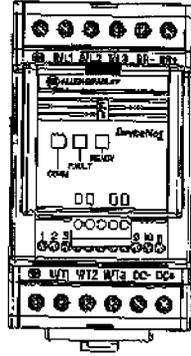
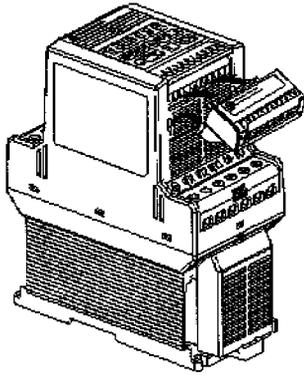
$X=324.375 \text{ rev/min}$

Ahora en el mismo eje de la polea de 16" se coloca otra polea de 3" y otra vez se acopla a otra polea de 16", tenemos entonces:

$$\frac{324.375}{1/3} = \frac{X}{1/16}$$

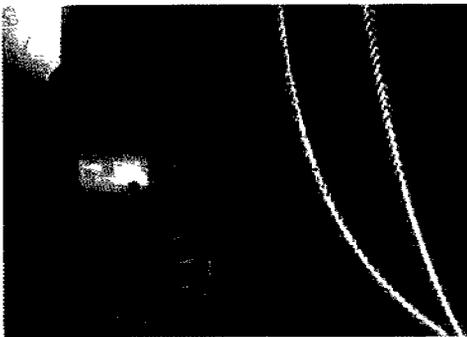
$X= 60.82 \text{ rev/min}$

Este valor es muy cercano al requerido más sin embargo se necesita tener capacidad para variar todavía más la velocidad y esto se hará controlando el motor con un variador de frecuencia como el que se presenta:



Rango de motor .37Kw-.5 HP
Entrada 200-240V
2.8 A
50-60 Hz
1100VA
Salida 200-230 V
2.3 A
0-240 Hz

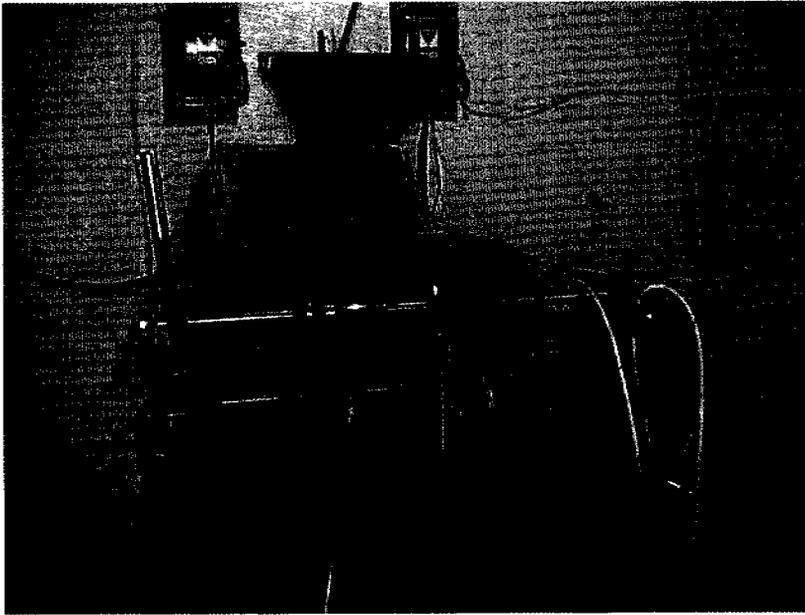
El motor será el mismo que trabaja actualmente y sus características son



Marca Siemens
1730 rpm
3 H.P.
60 hz.
220 V 14.2 A
440 V 7.5 A

SENSOR DE MATERIAL EXTRUIDO

Para la detección del material extruido se colocará un sensor de presencia con un soporte con posición ajustable verticalmente dependiendo el tamaño de pieza a fabricar en ese momento, más explícitamente se muestra en la figura 5.7 dónde la línea roja vertical indica el material extruido y el círculo verde que está sobre la barra posterior del carro de traslación es la posición del sensor de presencia del material extruido.



Barra posterior
de carro

Figura 5.7

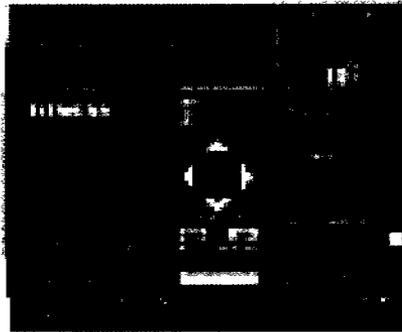
El sensor a colocar es el de las siguientes características:



Rango de detección 0...3.5m
Luz emisor LED rojo
Medida obstáculo min. 7mm
4.5 angulos de divergencia
10.....30V CD
Salida PNP

CONTROLADOR:

Con lo desarrollado en este capítulo se han encontrado 13 señales de entrada digitales a 12-24 V cd para automatizar y 6 señales de salida también de 12-24 V cd por lo tanto se ha designado un controlador como el que se muestra a continuación.



Nota: Los dispositivos presentados anteriormente con imágenes no tienen que ser idénticos físicamente para la aplicación, lo importante es que cumplan las características técnicas.

V.5 Programa (software)

En el subcapítulo anterior se determinaron las señales de entradas y salidas para la automatización y en el subcapítulo V.2 está el flujo de proceso con estos dos elementos se puede determinar la programación del funcionamiento automatizado.

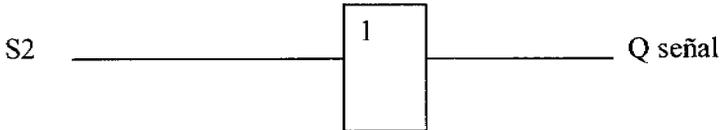
La automatización del equipo tiene por separado 4 sistemas de control, estos son: La señalización preventiva por falta de material que es algo muy sencillo, el presostato y el motor de compresor, la siguiente es el control de la temperatura y el último es la automatización del equipo. Las tablas siguientes muestran esta división respectivamente.

El lenguaje de programación se hará mediante compuertas lógicas y funciones especiales propias del PLC seleccionado.

Control de nivel preventivo

Señal Entrada	Señal Salida
Nivel preventivo de material en tolva S2	Q señal: Activación de flash

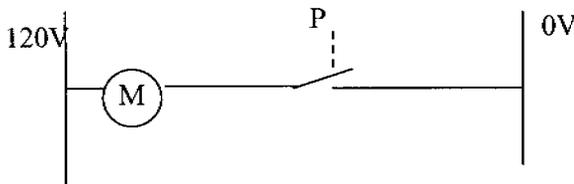
Esquema de señal preventivo en tolva



Control de presión

Señal de entrada	Señal de salida
Presión de aire suficiente en deposito P S15 se conecta al PLC	Desactivación de motor M de compresor Condición para el programa del PLC

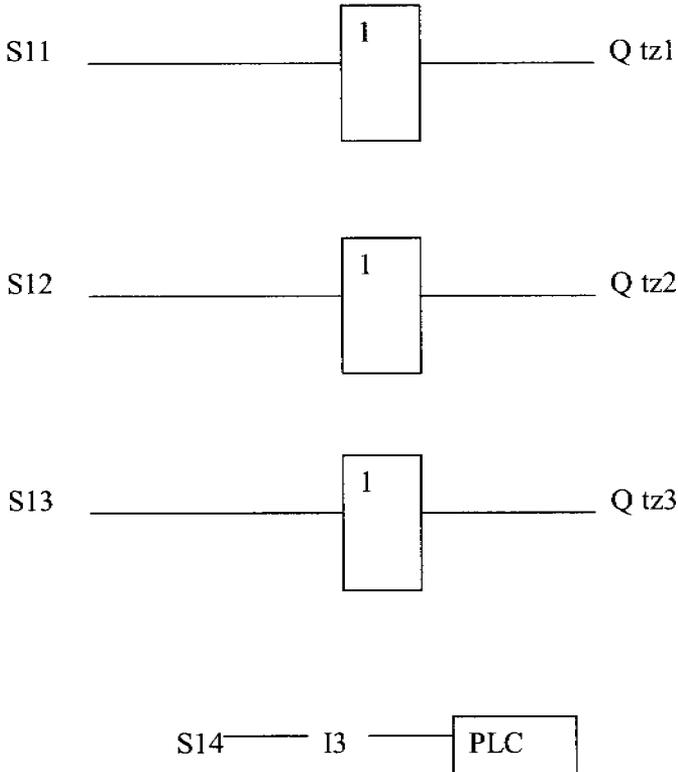
Control de presión



Control de calentamiento

Señal de entrada	Señal de salida
Termopar S11	On/Off resistencia 1 Qtz1
Termopar S12	On/Off resistencia 2 Qtz2
Termopar S13	On/Off resistencia 3 Qtz3
S14 se conecta al PLC	Condición para el programa del PLC

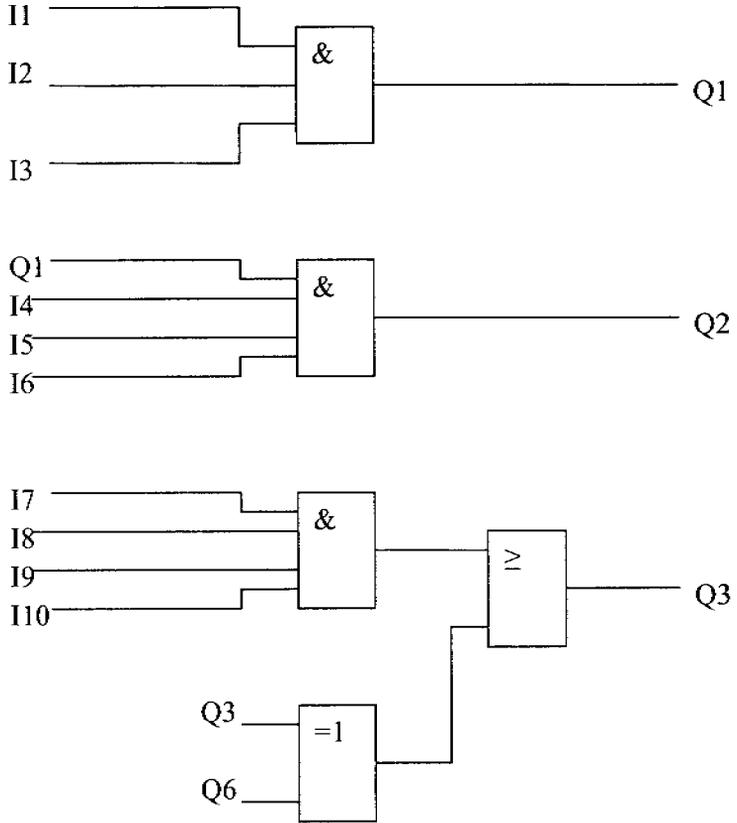
Control de temperatura

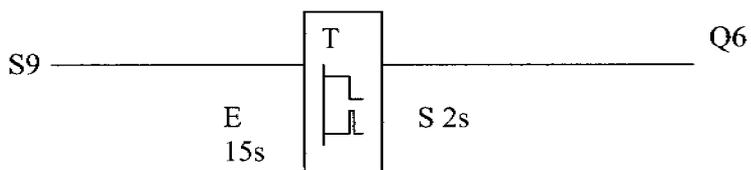
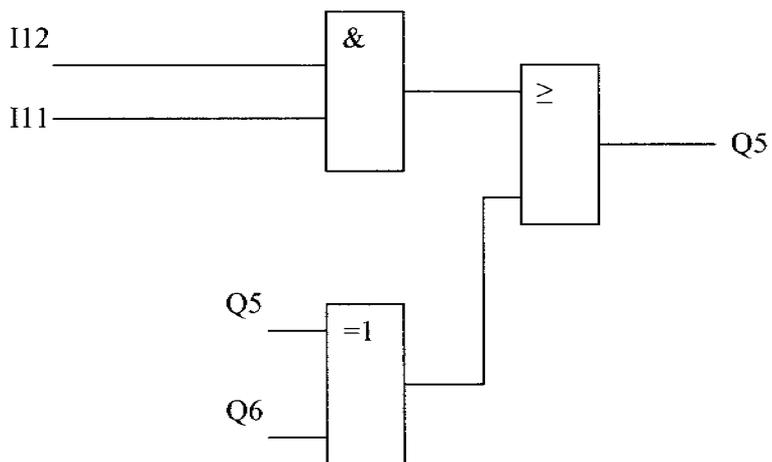
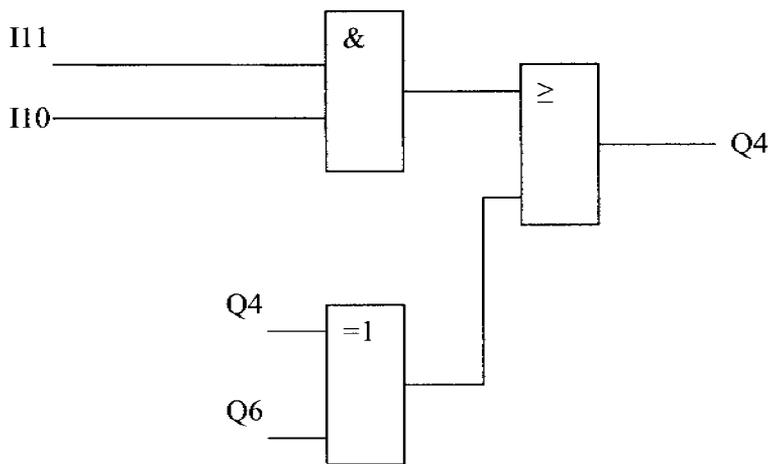


Control de proceso

Señal de entrada	Señal de salida
I1 Botón principal ON/Off	Q1 Señal de "lista maquina"
I2 S16 Flujo de agua	Q2 Giro de motor
I3 S14 Medición de temperatura	Q3 Electroválvula cierre de molde
I4 S15 Medida de presión	Q4 Electroválvula traslación de molde
I5 Botón para motor	Q5 Electroválvula cilindro de soplado y
I6 S3 nivel material en tolva	válvula de paso de soplado
I7 Botón inicio de ciclo	Q6 Señal de reinicio de ciclo
I8 S4	
I9 S5	
I10 S7	
I11 S6	
I12 S8	
I9 S9	

Programa de control de proceso





CONCLUSIONES

Finalmente se concluye exponiendo una posible automatización de la máquina extrusora de plástico lo cuál puede hacer más eficiente su desempeño. De acuerdo al desarrollo de la investigación se encontró que el equipo se maneja en un sistema discreto, esto es, que es una serie de estados secuenciales en donde un estado no puede ser activado si no se cumple el anterior.

Respecto a los procesos de cada estado no hubo necesidad de llevarlos a análisis estáticos o dinámicos que nos llevaran a un control más estricto ya que sólo se esperaba la señal determinada o deseada para continuar con el ciclo no tomando en cuenta la característica y respuesta del proceso ya que no había ninguna intención de hacer algún control de éste durante su desarrollo, por lo tanto, solo fue necesario aplicar un controlador todo-nada, que como ya se menciona, solo recibe señales de entrada para poder activar los dispositivos correspondientes.

Realmente el sistema es sencillo pero más sin embargo esto ayuda de mucho principalmente en las funciones del operario en un gran porcentaje reduciendo desde luego todas las implicaciones que esto trae.

El trabajo queda sin aplicación al equipo principalmente por recursos económicos aunque en el proyecto se tuvo la visión de planearlo de tal manera que no fuera tan costoso, sin embargo, los costos de dispositivos de automatización siguen siendo elevados. Pero se espera que a futuro se logre realizar la aplicación de este trabajo.

Bibliografía

- Marc Couedic
Circuitos Integrados Para Tiristores y Triacs
Ed. Alfaomega
- Luis Ma. Jimenes de Cisneros
Manual de neumática
Ed. Blume 1979 3ª edición
- Morton –Jones, David H
Procesamiento de plásticos
Lmusa 2000
- Neil M. Schmitt y Robert F. Farwell
A fondo: Robótica y sistemas automáticos
Ed. Anaya multimedia 1988
- Horta Santos y José J
Técnicas de automatización industrial
Ed. Limusa 1982
- Joan Domingo Peña
Diseño y aplicaciones con autómatas programables
Ed. UOC 2003
- J. Pedro Romera, J. Antonio Lorite y Sebastián Montoso
Automatización: Problemas resueltos con autómatas programables
Ed. Parninfo 1996 segunda edición
- Katsuhiko Ogata
Ingeniería de control moderna
Ed. Prentice Hall 1998 3ª edición
- Manual de usuario 160 Variable Speed Drive (serieC) Allen Bradley
Publicación 0160-5.15 enero 1999
- <http://es.wikipedia.org/wiki/Termopar>
- <http://tcdirect.es/deptprod.asp?deptid=180/29>
- <http://www.electronicafacil.net/circuitos>
- http://www.siemens.com.mx/A&D/EN/s_nav24.html
- http://www.sensing.es/Cm_Presion.htm

<http://www.aecsa.com.mx/danfoss>

http://www.marbelonline.com/liquidos_y_gases.htm

<http://www.parker.com/ead/cm2.asp?cmid=4976>

http://www.festo.com/INetDomino/r2/es-mx/company_portal_mx.htm

<http://es.wikipedia.org/wiki/Diodo>

http://es.wikipedia.org/wiki/Puerta_l%C3%B3gica