

FECHA	25 de Mayo de 2010
-------	--------------------

NÚMERO RA	
PROGRAMA	Programa de Ingeniería electrónica

AUTOR (ES)	OJEDA GONZÁLEZ, Mario Julián
TÍTULO	ESTUDIO Y SIMULACIÓN PARA UNA MÁQUINA CENTRÍFUGA PARA FUNDICIÓN A PRESIÓN CON SISTEMA DE CONTROL DE CIERRE Y VARIADOR ELECTRÓNICO DE VELOCIDAD

PALABRAS CLAVES	<ul style="list-style-type: none">• ALEACIÓN: La unión íntima y homogénea de dos o más elementos siendo al menos uno de ellos un metal.• ARTESANAL: Obras y trabajos realizados manualmente y con poca intervención de maquinaria.• CEMENTITA: O carburo de hierro, se produce por el exceso de carbono por sobre el límite de solubilidad.• COMPETITIVIDAD: lograr una rentabilidad igual o superior a los rivales del mercado.• CONMUTACIÓN: Cambiar una cosa por otra.• CONTRACCIÓN térmica: Disminución de las dimensiones de un material ante una bajada de temperatura.• COQUILLA: Es un molde metálico que se utiliza para obtener un número de piezas idénticas.• ENGRANAR: Encajar los dientes de una pieza en otra.• FUNDICIÓN: Es el proceso de fabricación de piezas, comúnmente metálicas pero también de plástico, consistente en fundir un material e introducirlo en una cavidad llamada molde, donde se solidifica.• HARDWARE: Proviene del inglés y es el conjunto de elementos materiales que conforman una computadora. O para describir componentes físicos de una tecnología.• HOMOGÉNEO: De composición y estructura uniformes.
-----------------	--

- **METALMECÁNICO:** Que tiene habilidades, destrezas y conocimientos en gestión, fabricación, mantenimiento e instalación de equipos, máquinas, herramientas, materiales e insumos. Aplicando normas nacionales o internacionales para la fabricación o producción de construcciones metálicas, así como la operación de máquinas o herramientas mecánicas.
- **MOLDE DE ARENA:** El proceso para producir piezas u objetos útiles con metal fundido se le conoce como proceso de fundición. Este proceso se ha practicado desde el año 2000 ac. Consiste en vaciar metal fundido en un recipiente con la forma de la pieza u objeto que se desea fabricar y esperar a que se endurezca al enfriarse.
- **MOLDE:** Objeto o pieza hueca en la que se deposita una materia en polvo, pastosa o líquida para que adquiera la forma de este.
- **PRODUCTIVIDAD:** O eficiencia, es generalmente entendida como la relación entre la productividad obtenida por un sistema de producción o servicios y los recursos utilizados para obtenerla. También puede ser definida como la relación entre los resultados y el tiempo usado para obtenerlos.
- **PROGRAMACIÓN:** Implementación de un algoritmo en un determinado lenguaje de programación conformando un programa.
- **PROTOTIPO:** Primer ejemplar de una cosa o molde original que sirve de modelo para fabricar otras similares.
- **RECONVERSIÓN:** Acción y resultado de reorganizar una cosa para adaptarla a una nueva.
- **RELEVOS, RELÉS, RELAYS:** O relevador, dispositivo electromecánico que funciona como interruptor controlador por un circuito eléctrico en el que, por medio de un electroimán, se acciona un juego de uno o varios contactos que permiten abrir o cerrar otros circuitos eléctricos independientes.
- **SOFTWARE:** Designa al conjunto de programas operativos que posibilitan el uso del ordenador; aplicación; programa de computo; soporte

	<p>lógico informático.</p> <ul style="list-style-type: none"> • VACIADO: Es el procedimiento de arrojar el metal fundido en un recipiente o molde.

DESCRIPCIÓN	<p>El modelo de la máquina centrifugadora para la fundición a presión está constituido por tres sistemas primarios.</p> <p>El primero es un sistema neumático que es el encargado de la apertura y el cierre de los platos porta molde. Este sistema está compuesto por una electroválvula 5/3 que es la encargada de accionar un cilindro neumático de doble efecto (cierre y apertura) con una carrera de 10 cm. Ambos elementos son marca FESTO.</p> <p>El segundo sistema es el encargado de proveer la fuerza centrífuga necesaria y está compuesto por un motor eléctrico trifásico a 220/440 Volts, con una velocidad máxima de 1700 r.p.m. y una fuerza de ½ Hp.</p> <p>Este motor eléctrico es comandado por una variador de velocidad programable que es capaz de variar la velocidad del motor eléctrico, desde pocas revoluciones (aumentando el torque a bajas revoluciones para no perder fuerza centrífuga) hasta 150% la velocidad máxima del motor. Además, protege al motor de sobre cargas.</p> <p>Este variador de velocidad puede ser programado mediante software especializado y una computadora personal. También puede ser programado directamente con el panel de control que viene incluido. Trabaja a 220 Volts bifásico o trifásico.</p> <p>El tercer sistema está compuesto por un PLC DURUS de General Electric Fanuc y es el encargado de comandar las acciones de la electro-válvula para el cierre o apertura del plato porta molde. También controla la activación de centrifugado iniciando al variador de velocidad para que active la(s) velocidad(es) programada(s) con antelación en el variador de velocidad.</p> <p>De él depende, también, un sistema de alerta que avisa al operario el estado actual de la máquina centrifugadora, para evitar accidentes o para la carga del material fundido. Este PLC trabaja con 110/220Volt y tiene salidas por relevadores para el control de diferentes dispositivos.</p>

FUENTES BIBLIOGRÁFICAS

- AUTOMATIZAR CON NEUMÁTICA, Catalogo Básico, 1ª Edición, FESTO, 2001.
- BALCELLS, JOSEP y ROMERAL, JOSÉ LUIS. Autómatas programables, 1ª Edición, Editorial Marcombo, 1997.
- BOLTON, WILLIAM. Mechatronics, Electronic Control System in Mechanical and Electrical Engineering, 3ª Edición, Pearson Education Limited, 2007.
- BOSE, BIMAN K. Power electronic and ac drives, 1ª Edición, Prentice Hall, 1986.
- DE LA CRUZ LAZO, CÉSAR RENÉ. Fundamentos de diseño digital, 1ª Edición, Editorial Trillas, 1988.
- DEPPERT, W.; STOLL, K. Dispositivos neumáticos, Introducción y Fundamentos, 2ª Edición, Marcombo Boixareu Editores, 1982.
- GÄGNER, ROLF. Curso de neumática para la formación profesional, Manual de Estudio, 1ª Edición, FESTO DIDACTIC, 1978.
- HASEBRINK, J.P.; KOBLE, R. Introducción a la técnica neumática de mando, Manual de Estudio, 3ª Edición, FESTO DIDACTIC, 1982.
- MEIXNER, H., KOBLE, R. INICIACIÓN al personal de montaje y mantenimiento, Manual de Estudio, 2ª Edición, FESTO DIDACTIC, 1980.
- MULLER, W. Electrotecnia de potencia curso superior, 1ª Edición, Editorial Reverté, S.A. GTZ, 1984.
- MURPHY, J.M.D. AND TUMBULL, F.G. Power electronics control of ac drives, 1ª Edición, Pergamon Press, 1988.
- RASHID, MUHAMMAD H. Electrónica de potencia, circuitos, dispositivos y aplicaciones, 2ª Edición, Prentice Hall Hispanoamericana S.A., 1995.

NÚMERO RA	
PROGRAMA	Programa de ingeniería electrónica

CONTENIDOS						
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA						
1.1. ANTECEDENTES						
Según la empresa TEKCAST INDUSTRIES, LTDA. Constituida en 1971, la fundición mediante centrifugación tiene ventajas como: Simpleza de uso, bajos costos de producción, bajo costo de mantenimiento y gran producción de piezas fundidas.						
En cuanto a la flexibilidad de uso, hace uso del comparativo:						
Tabla 1. Comparativo de Tekcast entre fundición centrífuga y otros procesos.						
Compare Tekcast Spin-Casting To Other Processes						
PROCESS	TEKCAST Spin-Casting	DIE CASTING	PLASTER MOLD CASTING	SAND CASTING	LOST-WAX CASTING	PLASTIC INJECTION MOLDING
Type Of Molds Used	Vulcanized "TEKSIL" Rubber	Machined Tool Steel	Plaster	Sand	Ceramic	Machined Aluminum, Brass or Tool Steel
Type Of Casting Materials	Zinc, Tin/Lead, Urethane, Polyester, Epoxy, Pattern Wax	Zinc, Aluminum, Magnesium	Most Nonferrous Metals	Most Foundry Castable Metals	Most Foundry Castable Metals	Most Thermo-Plastics
Average Cost Of Mold Tooling (U.S. Dollars)	\$35 to \$250	\$10,000 to \$250,000+	\$1,000 to \$25,000 (Wood or Metal Pattern)	\$500 to \$10,000 (Wood or Metal Pattern)	\$1,000 to \$25,000 (Machined Aluminum)	\$5,000 to \$150,000+
Economical Ordering Quantities	1 & Up	25,000* & Up	100 & Up	100 & Up	1,000 & Up	15,000* & Up
Economical Part Size (Length or Width)	<1/2" - 12" <1.25 - 30cm	<1/2" - 24" <1.25 - 60cm	<4" - 36" <10 - 90cm	<3" - 36" <7.5 - 90cm	<1" - 24" <2.5 - 60cm	<1/2" - 24" <1.25 - 60cm
Economical Part Wall Thickness	<1/8" - 1/2" .3 - 1.25cm	<1/8" - 3/4" .3 - 2cm	<1/8" - 1" .3 - 2.5cm	<1/4" - 1" .6 - 2.5cm	<1/8" - 1" .3 - 2.5cm	<1/8" - 1/2" .3 - 1.25cm
Casting Tolerances	Very Close	Closest	Close	Lowest	Very Close	Closest

Ability To Make Design Changes	Easiest	Very Difficult	Difficult	Easy	Very Difficult	Very Difficult
Per Part Cost	Very Low	Lowest	Very High	Very Low	Highest	Lowest
Usual Secondary Machining Required	Very Little or None	Lowest or None	Low	Highest	Very Little or None	Lowest or None
Usual Initial Parts Lead Time Required	4 hrs - 2 days	12 - 24 wks	6 - 12 wks	4 - 12 wks	8 - 16 wks	12 - 24 wks

En el sitio de Industrial Metal Casting (www.Industrialmetalcasting.com), se nombran algunas de las ventajas que tiene la fundición por centrifugado, como: Rápido proceso de moldeado, se pueden fundir gran cantidad de piezas por hora, se pueden producir piezas complejas, alta integridad y tolerancia de las piezas fundidas, bajos costos de producción y excelentes terminados.

Las aplicaciones para la fundición por centrifugado van desde decoración, accesorios para la moda, hasta aplicaciones industriales.

Muchas de las empresas que trabajan en el sector de la fundición aún lo hacen de forma artesanal, lo que se traduce en falta de competitividad y problemas de productividad. Esto impide que estas empresas se posicionen como líderes, retrasando su evolución ya que no pueden cumplir con las exigencias del mercado.

Un claro ejemplo es la empresa de fundición boyacense: FUNDIMETALES, esta última dedicada a la fundición de piezas para diferentes mercados, como ejemplo, las tapas de las cajas para contadores del Acueducto de Bogotá. Esta empresa ha querido incursionar en el mercado de redes de distribución eléctrica, pero al no poseer la tecnología su participación era casi nula debido a la cantidad de rechazos por calidad que tenían sus productos y a su poca producción.

Otras empresas del sector de la fundición boyacenses que utilizan sistemas de coquilla fija o moldes por arena son: FUNDICIONES FERRITA, COLHIERROS, EL CAMPANARIO, NO FERROSOS Y ALUMINIOS.

El producto final no es homogéneo tanto en sus características físicas, como morfológicas, es de baja calidad. Debido a la cantidad de rechazos la pérdida de material es otro factor importante (perdida de dinero).

En cuanto a producción se refiere, el proceso artesanal de fundición requiere demasiado tiempo tanto para la preparación de los moldes como para el enfriado de las piezas, factores que impiden responder en cantidad a las exi-

gencias del mercado nacional.

Para el sistema de fundición con coquilla fija se requieren dos operarios por máquina y por cada molde (máquina) solo se puede fundir una pieza a la vez. Otro factor es el área de trabajo, ya que se necesita de mucho espacio para acomodar los moldes. Debido a que este es un sistema por gravedad, la calidad de las piezas depende en gran medida de la experiencia que se tenga en este tipo de fundición y en otra medida, se podría decir, de la suerte.

En cuanto a la fundición por molde de arena el proceso es más lento, pues la preparación de los moldes puede durar mucho tiempo. La cantidad de operarios se reduce pero el tiempo se cuadriplica. En cuanto a la calidad, esta es menor que la calidad usando el molde por coquilla y el área de trabajo requerida es mucho mayor.

El proyecto busca sustituir una tecnología antigua por una más moderna para la fundición de hierros nodulares y no ferrosos, que permita solucionar problemas de rechazos y pérdidas de materias primas. Debido a que la calidad del molde es mayor y por ende las piezas terminadas son de mejor calidad.

1.2. DESCRIPCIÓN Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

En el sector metalmeccánico algunos procesos como el de fundición se hacen de forma artesanal generando problemas como: Deficiente homogeneidad en el tamaño del producto, malos acabados, baja producción, baja calidad en fusión, incumplimiento de normas nacionales e internacionales. De aquí que exista una gran cantidad de rechazos, baja competitividad y productividad de las empresas del sector, que en resumen es pérdida de dinero.

¿Qué requerimientos técnicos y funcionales debe tener el modelo de una máquina centrífuga para ser simulada?

1.3. JUSTIFICACIÓN

La construcción de una máquina centrífuga para la fundición a presión con sistema de control de cierre y variador electrónico de velocidad, reduciría en gran medida el porcentaje de rechazos por mala calidad en los acabados de las piezas fundidas.

Las piezas resultantes son más homogéneas y su calidad es mejor, pues al ser de presión el material es más compacto.

Con esta máquina se tiene mayor producción.

1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1. Objetivo general. Estudiar y simular el funcionamiento de una máquina centrífuga para fundición a presión con sistema de control de cierre y variador electrónico de velocidad.

1.4.2. Objetivos específicos

- Definir los requerimientos de la población (empresas) sujeto a la cual estará dirigido el uso de esta máquina.
- Definir los aspectos mecánicos de construcción de la máquina centrífuga como los son la estructura, la simulación de molde, la transmisión mecánica de potencia del motor.
- Definir los alcances técnicos de simulación de la máquina centrífuga.
- Definir los aspectos de control y automatización de la máquina centrífuga.
- Definir los aspectos de seguridad y de advertencia que debe tener el modelo de la máquina centrífuga.

1.5. ALCANCES Y LIMITACIONES DEL PROYECTO

La máquina centrífuga es un prototipo a escala de simulación que demuestra el funcionamiento de la eventual máquina industrial.

2. MARCO DE REFERENCIA

2.1. MARCO TEÓRICO – CONCEPTUAL

2.1.1. Requerimientos de la población. Según estudio realizado por el Centro Red Tecnológico Metalmecánico en el año 2006, se identificaron más de cien empresas del sector de la fundición que utilizaban los métodos de coquilla fija y de moldes de arena para fundir piezas.

Las piezas que se producían no eran homogéneas, tenían que ser pulidas y refinadas, una gran parte de la producción era devuelta debido a que no pasaban los controles de calidad. Además de la homogeneidad, la calidad en cuanto a consistencia no era la ideal, pues se caracterizaban por ser frágiles; sufrían de roturas o resquebrajamientos en el almacenaje o mientras se transportaban.

Otra consecuencia del uso de los sistemas de fundición por coquilla fija o moldes de arena, era la baja producción. La cantidad de operarios, el espacio y el tiempo de preparación de los moldes son factores retardantes. Esta limitante impedía que las empresas tuvieran acceso a mercados nacionales más grandes como el de las empresas públicas, e inclusive a mercados internacionales.

En resumen, los requerimientos de la población objetivo, son: Mayor producción y mejor calidad. Factores que son superados usando el sistema de fundición por centrifugado.

2.1.2. Reconversión tecnológica de los procesos para la obtención de aleaciones en horno de crisol

2.1.2.1. Proceso de fundición por coquilla metálica fija. Este proceso es característico de las pequeñas y medianas empresas del sector de la fundición en Colombia

2.1.2.2. Fundición centrífuga real. Una Máquina Centrífuga para Fundición a Presión con Sistema de Control de Cierre y Variador Electrónico de Velocidad, cuenta con un molde que puede, de acuerdo a su elaboración, fundir gran cantidad de piezas en una sola carga.

2.1.2.3. Fundición centrífuga vertical. Debido al efecto de la gravedad que actúa en el metal líquido, la pared de la fundición es más gruesa en la base que en la parte superior. El perfil interior de la fundición tomará una forma parabólica.

2.1.2.4. Fundición semi centrífuga. En este método se usa la fuerza centrífuga para producir fundiciones sólidas en lugar de partes tubulares.

2.1.2.5. Fundición centrifugada. Por medio de un tallo se hace llegar metal fundido a racimos de cavidades colocadas simétricamente en la periferia, de manera que la fuerza centrífuga distribuya la colada del metal entre estas cavidades.

2.1.3. Aspectos mecánicos de construcción. Los diferentes componentes de cada uno de los sistemas que hacen parte de la máquina deben ir soportados sobre una estructura fuerte que soporte, no solo su peso, sino los movimientos generados por el cilindro neumático y el centrifugado del porta molde.

2.1.3.1. Estructura. La estructura de la máquina es un esqueleto metálico galvanizado sobre el cual van sujetos la mayoría de los elementos que componen cada uno de los sistemas de la misma.

2.1.4. Motores eléctricos. Los motores eléctricos son usados, comúnmente, como elementos de control final en los sistemas de control por posición o de velocidad. Éstos se pueden clasificar en dos categorías: Motores eléctricos de corriente continua y motores eléctricos de corriente alterna.

El principio básico de un motor de corriente continua es una espira de alambre que gira de manera libre en medio del campo de un imán permanente. Cuando por el devanado pasa una corriente, las fuerzas resultantes ejercidas en sus lados y en ángulo recto al campo provocan fuerzas que actúan a cada lado dando como resultado una rotación. Para que la rotación continúe, cuando el devanado pasa por la posición vertical se debe invertir la dirección de la corriente.

El motor de inducción trifásico. Es similar al motor de inducción monofásico, sólo que tiene un estator con tres devanados separados 120° , cada uno conectado a uno de las tres líneas de alimentación eléctrica. Como estas tres fases alcanzan sus corrientes máximas en diferentes momentos, se considera que el campo magnético gira en torno a los polos del estator, completando una rotación durante el ciclo completo de corriente. La rotación del campo es mucho más suave que en el motor monofásico. Este motor tiene arranque automático, la dirección de rotación se invierte intercambiando alguna de las

dos líneas de conexión, lo cual cambia la dirección de rotación de campo magnético.

En el motor paso a paso de reluctancia variable el rotor puede ser de acero dulce cilíndrico y contiene 4 polos, que son menos que en el estator. Cuando llega la corriente a un par de devanados opuestos, se produce un campo magnético cuyas líneas de fuerza pasan de los polos del estator a través del grupo de polos más cercano al rotor. El rotor se moverá hasta que sus polos y los del estator que en alineados. Esto se conoce como "posición de reluctancia mínima". Este tipo de movimiento paso a paso en general produce avances en ángulos de 7.5° o 15° .

2.1.5. Electroneumática. Es la técnica empleada en automatización para lograr movimientos empleando el aire. (La composición del aire: 20% oxígeno, 76% nitrógeno, 4% de helio, hidrogeno, argón, CO_2).

La electroneumática constituye una herramienta importante dentro del control automático de la industria. El aire comprimido es una de las formas más antiguas que conoce el hombre y aprovecha para reforzar sus recursos físicos.

2.1.5.1. Ventajas de la neumática: El aire es de fácil captación y de fácil implementación, el aire no posee propiedades exclusivas, los actores trabajan a velocidades razonablemente altas y fácilmente regulables, las sobrecargas no constituyen situaciones peligrosas o que dañen equipos de forma permanente, los cambios de temperatura no afectan el sistema de forma significativa, es una energía limpia, es posible hacer cambios instantáneos de sentido.

2.1.5.2. Desventajas de la neumática: En circuitos extensos se producen pérdidas de cargas considerables, requiere de instalaciones especiales, las presiones de trabajo, no permiten aplicar grandes fuerzas, altos niveles de ruido generado por la descarga del aire a la atmósfera.

2.1.5.3. Ley de BOYLE. O también llamada ley de BOYLE – MARIOTTE. Como todo gas, el aire no tiene una forma determinada. Toma la del recipiente que lo contiene o la del ambiente. Permite ser comprimido y tiene la tendencia a dilatarse. "A temperatura constante, el volumen de un gas encerrado en un recipiente es inversamente proporcional al volumen por la presión absoluta".

2.1.5.4. Ley de CHARLES. La proporcionalidad directa entre el volumen y la temperatura fue probada experimentalmente Jacques Charles en 1787. "Mientras la masa y la presión de un gas se mantengan constantes, el volumen del gas es directamente proporcional a su temperatura absoluta".

2.1.5.5. Ley de GUY – LUSSAC. "Si el volumen de una muestra de gas permanece constante, la presión absoluta de ellas es directamente proporcional a su temperatura absoluta". Esto significa que aumentar al doble la presión aplicada a un gas causará que su temperatura absoluta aumente al

doble también. En forma de ecuación, la ley de Gay-Lussac se puede escribir como:

2.1.5.6. Ley general de los gases. Las tres leyes anteriores pueden emplearse para describir el comportamiento técnico de los gases. Por desgracia, ninguna de esas condiciones se satisface casi nunca. En General, como resultado de un proceso térmico, el sistema sufre cambios de volumen, temperatura y presión. Una relación más General combina las tres leyes como sigue:

2.1.5.7. Cadena de mando. Existen diversos caminos para diseñar un sistema de mando y establecer un esquema del circuito para un problema específico.

En general existen dos métodos: Desarrollo del sistema del circuito, partiendo del equipo a emplear, desarrollo del circuito en primer lugar, seguido de la conversión del equipo.

2.1.5.8. Símbolos utilizados en neumática. Se trata de símbolos utilizados para la normalización en el diseño e identificación tanto de elementos como de circuitos complejos de electroneumática.

2.1.5.9. Elementos de trabajo. El cilindro de aire comprimido es un dispositivo motor en el que la energía estática (energía neumática) se transforma en trabajo mecánico mediante la reducción de sobre presión atmosférica exterior.

La definición de válvula, según la norma DIN 24300, es:

"Dispositivos para controlar o regular el arranque, parada y sentido, así como la presión o el flujo del medio de presión, impulsado por una bomba hidráulica, un compresor, una bomba de vacío o acumulador en un depósito. La denominación de válvula es de significado superior -correspondiendo al internacional del idioma- para todas las formas de construcción tales como válvulas de compuerta, válvulas de bola, válvulas de plato, grifos, etc."

La unidad de mantenimiento y control, tiene como objetivo es preparar el aire antes de su utilización. El aire debe ser depurado y de él se debe extraer el agua. Un filtro con separador de agua es el encargado de esta última función.

2.1.6. Controlador lógico programable PLC. Es decir es un aparato electrónico programable por un usuario y destinado a gobernar, dentro de un entorno industrial, máquinas o procesos lógicos secuenciales. El autómata programable satisface las exigencias de procesos continuos como discontinuos. Regula presiones, temperaturas, niveles y caudales, así como funciones asociadas de temporización, cadencia, conteo y lógica.

2.1.6.1. Funciones del PLC. Detección, mando, diálogo hombre máquina, programación, redes de comunicación, sistema de supervisión, control de procesos continuos, entradas – salidas distribuidas, buses de campo.

El autómata programable está repitiendo constantemente un ciclo llamado SCAN, el cual consta de: Lee todas las entradas y almacena el estado de cada una de ellas, ejecuta las operaciones del programa siguiendo el orden en que se han almacenado o siguiendo el orden que el programador a fijado, escribe el resultado de las operaciones en la salida. Una vez escritas todas las salidas (activado/desactivado), vuelve al primer paso.

2.1.6.2. Estructura. Consiste en una unidad de procesamiento (CPU), memoria, circuitos de entrada y salida (I/O). La CPU controla y procesa todas las operaciones. Cuenta con un temporizador cuya frecuencia típica es de 1 y 8 MHz. Esta frecuencia determina la velocidad de operación, es la fuente de temporización y sincronización de todos los elementos del sistema. Un bus de datos es el encargado de llevar la información entre la CPU, la memoria y las unidades de entrada y salida.

En cuanto a la estructura de los elementos de memoria, esta consta de: Una memoria ROM (memoria de solo lectura, por su traducción del ingles: Read Only Memory) para guardar en forma permanente la información del sistema operativo. Una RAM (Memoria de Acceso de lectura, cuyas siglas en ingles son: Read Access Memory) y sus funciones son: Guardar el programa del usuario y como "buffer" o memoria temporal para los canales de entrada y salida.

El usuario tiene la facultad de cambiar o modificar los programas guardados en la RAM. Para evitar la pérdida de la información, debido a interrupciones en el suministro eléctrico, el PLC usa una batería para mantener el contenido de la RAM. Una vez elaborado el programa y guardado en la memoria RAM, se puede cargar en un chip de memoria EPROM (Memoria ROM Borrable Programable, del ingles: Erasable Programmable Read Only Memory) para que quede guardado permanentemente.

Por lo general los PLCs indican en sus especificaciones la capacidad de memoria en función de pasos de programa que es posible guardar (un paso de programa es la instrucción para que ocurra cierto evento). Un PLC pequeño está en la capacidad de manejar de 300 a 1000 pasos.

2.1.6.3. Programación. Los lenguajes de programación de los diferentes PLCs permiten utilizar las funciones de automatización que luego serán ejecutadas por los mismos. Estas funciones empleadas constituyen el programa de usuario, en el que se encuentran las instrucciones precisas de cómo debe actuar el PLC.

2.1.6.4. Mnemónicos. Cuando cada uno de los escalones de un programa en escalera constituye un programa completo se le llama "Mnemónicos".

2.1.6.5. Manejo de datos. En algunas tareas de control es conveniente

usar grupos de bits relacionados entre sí como un bloque de ocho entradas, y manejarlos como una palabra de datos, a esto se le llama "Manejo de datos".

NÚMERO RA	
PROGRAMA	Programa de ingeniería electrónica

METODOLOGÍA	<p>2. METODOLOGÍA</p> <p>A partir del trabajo con el CENTRO RED TECNOLÓGICO METALMECÁNICO en el año 2006 y el contacto con los empresarios del sector de la fundición en Boyacá y Cundinamarca, nació la inquietud de fortalecer estas empresas en uno de los aspectos neurálgicos para su supervivencia y desarrollo, que es el acceso a tecnología más moderna. Un estudio realizado por el CRTM sobre el desarrollo tecnológico del sector de la fundición dio una idea más clara sobre el problema común (baja producción, mala calidad) que tenían la mayoría de las pequeñas y medianas industrias de este sector. Luego se recaudo información referente a los diferentes sistemas de fundición existentes, costos y accesibilidad, esta información se accedió vía Internet, libros y entrevistas con expertos. A partir de esto se propuso la hipótesis de desarrollar un modelo de una máquina centrífuga para la fundición a presión. Se desarrollaron los parámetros de funcionamiento del modelo y por último se procedió a crear un prototipo modelo de la máquina centrífuga con el objetivo de tener una idea clara de su funcionamiento real.</p> <p>2.1. ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN</p> <p>El enfoque dado a la presente investigación es EMPÍRICO-ANALÍTICO, ya que tiene un interés puramente técnico.</p> <p>2.2. LÍNEA DE INVESTIGACIÓN/SUB-LÍNEA DE FACULTAD/CAMPO TEMÁTICO DEL PROGRAMA</p> <p>La línea de investigación es "tecnologías actuales y sociedad", debido a que se trata de intervenir en la tecnología usada, cambiando de una tecnología obsoleta a una más moderna y más eficiente.</p> <p>La sub-línea de facultad es "instrumentación y control de procesos", ya que se trata de analizar, diseñar (simulación por prototipo) y automatizar un procesos de manufactura de un área de la metalmecánica.</p> <p>El campo de la investigación es el "automatización y control", debido a que se reemplaza una tecnología rudimentaria (manual) por una más eficiente debido a que la nueva tecnología automatiza los procesos relacionados con la fundición centrífuga.</p> <p>El nodo del programa para este modelo de máquina centri-</p>
-------------	--

	<p>fugadora es el de "Electrónica", debido a que el modelo mecánico es automatizado y controlado usando conocimientos recogidos de esta facultad.</p> <p>2.3. RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN</p> <p>La información sobre los procesos de fundición y sus limitaciones es obtenida, también, de visitas a algunas empresas del sector de la fundición. Algunos ejemplos claros son: FUNDICIONES FERRITA, COLHIERROS y FUNDIMETALES.</p> <p>La visita a estas empresas y el intercambio de ideas con los industriales respecto a la problemática con los sistemas rudimentarios de fundición son una fuente inagotable de información al respecto.</p> <p>Otra fuente invaluable de información son los expertos en el tema, como ingenieros metalúrgicos e ingenieros mecánicos. Para este caso, el acceso a estos ingenieros expertos se hizo a través del CENTRO RED TECNOLÓGICO METALMECÁNICO.</p>
--	--

<p>CONCLUSIONES</p>	<p>La máquina centrifugadora para la fundición de piezas pequeñas y medianas, le da al empresario del sector la ventaja competitiva requerida para entrar en diferentes mercados. La cantidad de piezas que puede producir es mucho mayor que con otros sistemas como el de coquilla fija o el de moldes de arena.</p> <p>Los costos de producción se reducen, la calidad de las piezas aumenta. Los operarios pueden ser aprovechados para realizar otras labores importantes en la empresa.</p> <p>Este es un sistema automatizado que requiere de menos personal, menos espacio y menos tiempo de producción.</p> <p>La máquina centrifugadora está construida sobre una estructura metálica resistente a la vibración y a las fuerzas que sobre ella se ejerce, la alimentación eléctrica es de 110/220V, estándar de cualquier empresa de fundición. Es resistente a salpicaduras de agua, al polvo y a temperaturas de hasta 40°C (motor eléctrico). La alimentación neumática, es de fácil implementación y cada uno de sus elementos está diseñado para el correcto funcionamiento en las condiciones de la fábrica. La máquina es flexible en cuanto a tiempos y velocidades de ejecución, por lo tanto se puede adaptar fácilmente a otras necesidades como el cambio de molde para piezas diferentes.</p> <p>La instalación de la máquina es simple, así como su manejo, ya que requiere</p>
----------------------------	---

un esfuerzo mínimo ponerla en marcha.

La máquina ocupa un espacio reducido en comparación con los sistemas anteriores de fundición.

El modelo de simulación de una máquina centrifugadora para la fundición, da una idea clara del funcionamiento de los diferentes sistemas que la componen y, aunque no esté en la capacidad de fundir piezas debido a la falta del molde (por costos), si es una representación real de la máquina industrial ya que tiene todas las características necesarias como los son: la apertura y cierre del porta molde por medio de un sistema neumático, las velocidades que están definidas por el motor eléctrico y el variador de velocidad, alcanzando una velocidad máxima de 1700 r.p.m. a $\frac{1}{2}$ HP.

Los tiempos de centrifugado, apertura y cierre del plato porta molde son comandados desde el PLC y pueden ser variados si es necesario. Por último, el modelo cuenta con el sistema de control que comanda toda la operación.

**ESTUDIO Y SIMULACIÓN PARA UNA MÁQUINA CENTRÍFUGA
PARA FUNDICIÓN A PRESIÓN CON SISTEMA DE CONTROL DE CIERRE Y
VARIADOR ELECTRÓNICO DE VELOCIDAD**

MARIO JULIÁN OJEDA GONZÁLEZ

**UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
BOGOTÁ
2010**

**ESTUDIO Y SIMULACIÓN PARA UNA MÁQUINA CENTRÍFUGA
PARA FUNDICIÓN A PRESIÓN CON SISTEMA DE CONTROL DE CIERRE Y
VARIADOR ELECTRÓNICO DE VELOCIDAD**

MARIO JULIÁN OJEDA GONZÁLEZ

**Trabajo de grado presentado para optar al
título de ingeniero Electrónico**

**Asesora Metodológica: Patricia Carreño Molina
Asesor Temático: Alcy Blanco**

**UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
BOGOTÁ
2010**

Nota de aceptación

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

AGRADECIMIENTOS

Ingeniero Baldomero Méndez Pallares, Director programa Ingeniería Electrónica e Ingeniería Mecatrónica.

Profesora Gloria Amparo Contreras.

Profesora Patricia Carreño Molina, asesora del proyecto.

Profesor Alcy Blanco García, asesor del proyecto.

Nodo Programa Ingeniería Electrónica, Universidad de San Buenaventura.

Ingeniero Francisco Urdaneta, Director Administrativo Centro Red Tecnológico Metalmecánico.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	4
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	5
1.1. ANTECEDENTES	5
1.2. DESCRIPCIÓN Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	11
1.3. JUSTIFICACIÓN	11
1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	12
1.4.1. Objetivo general	12
1.4.2. Objetivos específicos	12
1.5. ALCANCES Y LIMITACIONES DEL PROYECTO	12
2. MARCO DE REFERENCIA	14
2.1. MARCO TEÓRICO-CONCEPTUAL	14
2.1.1. Requerimientos de la población	14
2.1.2. Reconversión tecnológica de los procesos para la obtención de aleaciones en orne de crisol	14
2.1.2.1. Proceso de fundición por coquilla metálica fija	14
2.1.2.2. Fundición centrífuga real.	16
2.1.2.3. Fundición centrífuga vertical.	18
2.1.2.4. Fundición semi centrífuga	19

2.1.2.5. Fundición centrifugada	20
2.1.3. Aspectos mecánicos de construcción	20
2.1.3.1. Estructura	20
2.1.4. Motores eléctricos	21
2.1.4.1. Principios de funcionamiento	21
2.1.4.2. El motor de inducción trifásico	26
2.1.4.3. Motores síncronos	26
2.1.4.4. Motores paso a paso	28
2.1.5. Electroneumática	33
2.1.5.1. Ventajas de la neumática	34
2.1.5.2. Desventajas de la neumática	34
2.1.5.3. Ley de BOYLE	34
2.1.5.4. Ley de CHARLES	35
2.1.5.5. Ley de GUY-LUSSAC	35
2.1.5.6. Ley general de los gases	35
2.1.5.7. Cadena de mando	35
2.1.5.8. Símbolos utilizados en neumática	37
2.1.5.9. Elementos de trabajo	37
2.1.6. Controlador lógico programable PLC	56
2.1.6.1. Funciones del PLC	59
2.1.6.2. Estructura	61
2.1.6.3. Programación	65
2.1.6.4. Mnemónicos	73

2.1.6.5.	Temporizadores, relevadores, contadores y saltos	74
2.1.6.6.	Manejo de datos	78
2.1.6.7.	Selección de un PLC	78
3.	METODOLOGÍA	81
3.1.	ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN	81
3.2.	LÍNEA DE INVESTIGACIÓN/SUB-LÍNEA DE FACULTAD/CAMPO TEMÁTICO DEL PROGRAMA	81
3.3.	RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN	82
4.	DESARROLLO INGENIERIL	82
4.1.	DISEÑO GENERAL DE CONTROL	82
4.2.	SISTEMA DE CIERRE DEL PLATO PORTA MOLDE	82
4.2.1.	Diseño sistema neumático	94
4.3.	EL SISTEMA DE VELOCIDAD DE GIRO O CENTRIFUGADO DEL PLA- TO PORTA MOLDE	98
4.3.1.	El motor eléctrico	98
4.3.2.	El variador de velocidad	100
4.3.2.1.	Instalación mecánica	104
4.3.2.2.	Conexiones	106
4.3.2.3.	Terminales de control	107
4.3.2.4.	Conexión RJ 45	107

4.3.2.5. Teclado	108
4.3.2.6. Prueba de terminal	108
4.3.2.7. Prueba con el teclado	109
4.3.2.8. Ajustes de voltaje/frecuencia	110
4.3.2.9. Montaje	111
4.3.2.10. Características	113
4.3.2.11. Aplicaciones típicas	113
4.4. SISTEMA DE ADVERTENCIA E INDICACIONES DE FUNCIONAMIENTO DE LA MÁQUINA	116
4.4.1. Luz de encendido	116
4.4.2. Luz de cerrado	116
4.4.3. Luz de vaciado	116
4.4.4. Luz de apertura	117
4.5. SISTEMA DE CONTROL	117
4.5.1. Programación	120
4.5.2. Topología	122
5. ANÁLISIS DE RESULTADOS	128
6. CONCLUSIONES	130
7. RECOMENDACIONES	131
BIBLIOGRAFÍA	132

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Comparativo de Tekcast entre fundición centrífuga y otros procesos.	5
Tabla 2. Secuencia de conmutación para pasos completos de un motor paso a paso bipolar.	31
Tabla 3. Medios pasos de un motor paso a paso bipolar.	32
Tabla 4. Fuerza de presión.	40
Tabla 5. Consumo de aire de los cilindros neumáticos por cm de carrera en función del diámetro del pistón y de la presión de trabajo.	40
Tabla 6. Velocidad media del émbolo de los cilindros neumáticos con carga parcial y una presión de trabajo de 6 kp/cm ² .	41
Tabla 7. Velocidad media del émbolo de los cilindros neumáticos con carga parcial y una presión de trabajo de 6 kp/cm ² .	41
Tabla 8. Número del modelo del equipo.	104
Tabla 9. Dimensiones mecánica y de montaje.	105
Tabla 10. Montaje en armario.	105
Tabla 11. Características generales del controlador DURUS.	118
Tabla 12. Nombres de las entradas y salidas del PLC, con sus respectivas etiquetas.	121
Tabla 13. Nombres de los timers y retrasos del PLC, con sus respectivas etiquetas.	122

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Molde de silicona con piezas modelo.	6
Figura 2. Máquina vulcanizadora.	7
Figura 3. Talla de canales y ventiladores.	7
Figura 4. Máquina centrífuga.	8
Figura 5. Derrame de metal fundido en el molde.	8
Figura 6. Moldes terminados.	9
Figura 7. Batería de coquillas empresa FUNDIMETALES.	15
Figura 8. Molde para máquina centrífuga.	17
Figura 9. Fundición semi centrífuga.	19
Figura 10. Fundición centrífuga: la fuerza centrífuga hace que el metal fluya a las cavidades del molde lejos del eje de rotación y (b) la fundición (pieza).	20
Figura 11. Fuerza sobre un conductor sobre el que pasa una corriente.	21
Figura 12. Motor de corriente continua y sus elementos.	22
Figura 13. Circuito para control de fase.	23
Figura 14. Ejemplo circuito en H.	24
Figura 15. Motor de inducción de fase.	25
Figura 16. (Continuación).	25
Figura 17. Motor de inducción de tres fases.	26

Figura 18. Motor síncrono de tres fases.	27
Figura 19. Motor paso a paso de reluctancia variable.	28
Figura 20. Motor paso a paso de reluctancia variable.	29
Figura 21. Motor paso a paso de imán permanente.	30
Figura 22. Rotor de un motor híbrido.	30
Figura 23. Motor bipolar.	31
Figura 24. Circuito H.	31
Figura 25. Motor unipolar.	33
Figura 26. Esquema de flujo de señales.	36
Figura 27. Cilindro de simple efecto. El avance es el resultado de la presión de aire.	37
Figura 28. Cilindro de doble efecto. Tanto el avance como el retroceso son el resultado de la presión ejercida por el aire.	38
Figura 29. Válvula de asiento de bola de doble efecto, el aire solo puede circular en un sentido.	42
Figura 30. Válvula de dos vías y su símbolo.	43
Figura 31. Válvula de tres vías y su símbolo.	43
Figura 32. Ejemplo de accionamiento cilindro de doble efecto usando una válvula de 4 vías y dos posiciones.	44
Figura 33. Posibilidades de accionamiento de las válvulas distribuidoras.	46

Figura 34. Ejemplos de accionamientos musculares	47
Figura 35. Ejemplos de accionamientos mecánicos.	48
Figura 36. Accionamiento a distancia, neumático y eléctrico, de válvulas distribuidoras.	48
Figura 37. Electroválvula 4/2 servo pilotada.	49
Figura 38. Esquema de funcionamiento de una válvula anti retorno.	49
Figura 39. Empleo de una válvula anti retorno para puentear un aparato en un sentido de circulación.	50
Figura 40. Funcionamiento de una válvula selectora.	50
Figura 41. Esquema estrangulación de alimentación.	51
Figura 42. Funcionamiento de una válvula de simultaneidad.	51
Figura 43. Funcionamiento de una válvula de presión.	52
Figura 44. Funcionamiento de una válvula de secuencia.	52
Figura 45. Estrangulación constante en una línea.	53
Figura 46. Unidad de mantenimiento y control.	53
Figura 47. Unidad física de mantenimiento y control.	54

Figura 48. Filtro de aire con separador de agua.	55
Figura 49. Detalle manómetro.	56
Figura 49. Ciclo SCAN.	60
Figura 50. Arquitectura de un PLC.	62
Figura 51. Diagrama canal de entrada.	63
Figura 52. Salida tipo relevador.	64
Figura 53. Ejemplo de escalones en un diagrama escalera.	65
Figura 54. (Continuación).	66
Figura 55. Ejemplo esquema de funciones (FUP). Se aprecian a la entrada dos compuertas AND y una OR a la salida.	67
Figura 56. Sistema AND.	68
Figura 57. Sistema OR.	68
Figura 58. Sistema NOR.	69
Figura 59. Sistema NAND.	69
Figura 60. Sistema NAND.	70
Figura 61. Sistema XOR.	70
Figura 61. Sistema XOR.	71
Figura 62. Circuito de enclavamiento.	71
Figura 63. Puesta en secuencia de un pistón.	72
Figura 64. Puesta en secuencia de un pistón.	72
Figura 65. Sistema AND.	74

Figura 66. Parte de un programa que incluye un temporizador de retardo a la activación.	75
Figura 67. Diagrama de escalera con relevadores internos. La excitación de la salida depende de dos condiciones de entrada distintas.	75
Figura 68. Programa básico de conteo. El K10 indica que el contacto del contador modificará su estado en el decimo pulso.	76
Figura 69. Diagrama de flujo de un programa con "salto".	77
Figura 70. Diagrama escalera del diagrama de flujo anterior.	77
Figura 71. Vista superior interna simulador molde plástico.	83
Figura 72. Vista inferior interna simulador molde plástico.	84
Figura 73. Vista frontal del porta molde, parte superior e inferior.	84
Figura 74. Lámina superior.	85
Figura 75. Rodamientos.	85
Figura 76. Vista sistema porta molde con cilindro neumático.	86
Figura 77. Cilindro neumático para el modelo a escala.	87
Figura 78. Uniones de las diferentes partes del esqueleto con tornillería.	88
Figura 79. Selección cilindro.	88
Figura 80. Selección cilindro	89

Figura 81. Selección de tubos flexible y racores.	89
Figura 82. Selección de racores para la válvula de vías.	90
Figura 83. Resultados cilindro y todos los accesorios.	91
Figura 84. Grafico 2D/3D, de la válvula de vías MFH-5/3-G-D-1.	92
Figura 85. Representación gráfica de la electro válvula 5 vías, 3 posiciones (5/3).	92
Figura 86. Representación gráfica de la unidad de mantenimiento y control.	93
Figura 87. Unidad de mantenimiento y control, a la izquierda filtro y regulado de presión. A la derecha lubricador.	93
Figura 88. Unidad de mantenimiento y control con válvula electroneumática 5/3.	94
Figura 89. Vista programa FluidSIM-P con ventana de selección de elementos.	94
Figura 90. Diseño neumático del montaje real para el sistema de carga de molde (der). Esquema eléctrico del montaje para el sistema de carga de molde (izq).	95
Figura 91. Detalle al obturar Pul_1.	96
Figura 92. Detalle al obturar Pul_2.	97
Figura 93. Detalle esquema electro neumático con los dos pulsadores activos. Mantiene su posición anterior.	97
Figura 94. Detalle motor con transmisión por polea al porta molde superior.	100

Figura 95. Modelo CFW08 con accesorio de comunicaciones con el PC.	102
Figura 96. Variador de frecuencia CFW08.	103
Figura 97. Identificación del variador con el número del modelo.	104
Figura 98. Dimensiones mecánicas y de montaje.	105
Figura 99. Montaje en armario (ver tabla 10).	106
Figura 100. Diagrama de conexión.	106
Figura 101. Gráfica Voltaje / Frecuencia.	110
Figura 102. Montaje completo de la máquina.	112
Figura 103. Detalle del montaje completo y ubicación de componentes.	112
Figura 104. Panel con sistema de advertencia e interruptores de control-	117
Figura 105. Detalle controlador DURUS.	119
Figura 106. Pantalla de inicio al software de programación.	119
Figura 107. Pantalla selección modelo del PLC.	120
Figura 108. Topología del sistema de control.	123
Figura 109. Graficet del programa de control del PLC.	124

Figura 110. Detalle programa FBD PLC DURUS, para encendido, luz y cierre del porta molde, con retraso de seguridad de 10 segundos antes de activar el motor.	125
Figura 111. Detalle programa FBD PLC DURUS, para sw de cerrado, timer de giro del motor de 10 segundos, luz de vaciado de material fundido y giro del motor.	125
Figura 112. Detalle programa PBD PLC DURUS, para sw de apertura, timer de 10 segundos para seguridad de apertura del porta molde, luz de apertura porta molde y apertura del porta molde.	126
Figura 113. Programa competo FBD PLC DURUS para máquina centrifugadora.	127

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO A. LISTA DE SÍMBOLOS GRÁFICOS IMPORTANTES EN NEUMÁTICA	133
Indicación de vías y posiciones para válvulas neumáticas	133
Válvulas completas	134
Conexiones e instrumentos de medición y mantenimiento	134
Bombas y compresores	137
Mecanismos (actuadores)	138
Válvulas direccionales	144
Accionamientos	146
Válvulas de bloqueo, flujo y presión	147
Otros elementos	149
ANEXO B. PARÁMETROS	150
Parámetros de fábrica	150
Parámetros extendidos	151

GLOSARIO

- **ALEACIÓN:** La unión íntima y homogénea de dos o más elementos siendo al menos uno de ellos un metal.
- **ANÓDICO:** Pertenece o relativo al ánodo (electrodo positivo).
- **ARTESANAL:** Obras y trabajos realizados manualmente y con poca intervención de maquinaria.
- **CATÓDICO:** Pertenece o relativo al cátodo (electrodo negativo).
- **CEMENTITA:** O carburo de hierro, se produce por el exceso de carbono por sobre el límite de solubilidad.
- **COMPETITIVIDAD:** lograr una rentabilidad igual o superior a los rivales del mercado.
- **CONMUTACIÓN:** Cambiar una cosa por otra.
- **CONTRACCIÓN térmica:** Disminución de las dimensiones de un material ante una bajada de temperatura.
- **CONVENCIONAL:** Que resulta o se establece en virtud de precedentes o de costumbres.
- **COQUILLA:** Es un molde metálico que se utiliza para obtener un número de piezas idénticas.
- **ELECTROMAGNÉTICO:** Es una combinación de campos eléctricos y magnéticos oscilantes que se propagan a través del espacio transportando energía de un lugar a otro.
- **ELECTRONEUMÁTICA:** Aplicación donde se combinan dos importantes ramos de la automatización como son la neumática (manejo del aire comprimido) y electricidad o electrónica.
- **ENGRANAR:** Encajar los dientes de una pieza en otra.
- **FUNDICIÓN:** Es el proceso de fabricación de piezas, comúnmente metálicas pero también de plástico, consistente en fundir un material e introducirlo en una cavidad llamada molde, donde se solidifica.

- **HARDWARE:** Proviene del ingles y es el conjunto de elementos materiales que conforman una computadora. O para describir componentes físicos de una tecnología.
- **HOMOGENEO:** De composición y estructura uniformes.
- **METALMECÁNICO:** Que tiene habilidades, destrezas y conocimientos en gestión, fabricación, mantenimiento e instalación de equipos, máquinas, herramientas, materiales e insumos. Aplicando normas nacionales o internacionales para la fabricación o producción de construcciones metálicas, así como la operación de máquinas o herramientas mecánicas.
- **MOLDE DE ARENA:** El proceso para producir piezas u objetos útiles con metal fundido se le conoce como proceso de fundición. Este proceso se ha practicado desde el año 2000 ac. Consiste en vaciar metal fundido en un recipiente con la forma de la pieza u objeto que se desea fabricar y esperar a que se endurezca al enfriarse.
- **MOLDE:** Objeto o pieza hueca en la que se deposita una materia en polvo, pastosa o líquida para que adquiera la forma de este.
- **PRODUCTIVIDAD:** O eficiencia, es generalmente entendida como la relación entre la productividad obtenida por un sistema de producción o servicios y los recursos utilizados para obtenerla. También puede ser definida como la relación entre los resultados y el tiempo usado para obtenerlos.
- **PROGRAMACIÓN:** Implementación de un algoritmo en un determinado lenguaje de programación conformando un programa.
- **PROTOTIPO:** Primer ejemplar de una cosa o molde original que sirve de modelo para fabricar otras similares.
- **RECONVERSIÓN:** Acción y resultado de reorganizar una cosa para adaptarla a una nueva.
- **RELEVOS, RELÉS, RELAYS:** O relevador, dispositivo electromecánico que funciona como interruptor controlador por un circuito eléctrico en el que, por medio de un electroimán, se acciona un juego de uno o varios contactos que permiten abrir o cerrar otros circuitos eléctricos independientes.
- **SOFTWARE:** Designa al conjunto de programas operativos que posibilitan el uso del ordenador; aplicación; programa de computo; soporte lógico informático.

- **VACIADO:** Es el procedimiento de arrojar el metal fundido en un recipiente o molde.
- **VÁLVULA:** Dispositivo neumático con el cual se puede iniciar, detener o regular la circulación (paso) de líquidos o gases mediante una pieza movable que abre, cierra u obstruye en forma total o parcial, uno o más conductos u orificios.
- **VULCANIZADO:** Proceso mediante el cual se calienta el caucho crudo en presencia del azufre con el fin de volverlo más duro y resistente al frío.

**ESTUDIO Y SIMULACIÓN PARA UNA MAQUINA CENTRÍFUGA
PARA FUNDICIÓN A PRESIÓN CON SISTEMA DE CONTROL DE CIERRE Y
VARIADOR ELECTRÓNICO DE VELOCIDAD**

INTRODUCCIÓN

Este proyecto está dirigido al fortalecimiento de las pequeñas y medianas empresas del sector de la fundición a través del desarrollo de un modelo de una máquina centrífuga para fundición a presión con sistema de control de cierre y variador electrónico de velocidad. Esta máquina es de fácil manejo, está en capacidad, también, de multiplicar varias veces la cantidad de piezas fundidas, mejorar la calidad de las mismas, usar menos espacio en la planta física, disminuir la cantidad de operarios necesarios para el proceso de fundición. El cumplimiento de normas nacionales e internacionales, abriría las puertas a nuevos mercados para las empresas de este sector (fundición).

Por cuestiones monetarias y de espacio, esta máquina será construida como un prototipo a escala funcional, para su estudio y simulación.

Aunque no está en capacidad de fundir piezas, todos los sistemas que lo integran deben funcionar como en la máquina real. Esta consta de tres sistemas principales: El sistema de apertura y cierre del plato porta molde, el sistema de centrifugado y el sistema de control.

El plato porta molde es una pieza dividida en dos partes, una superior y una inferior. En esta pieza va atornillado el eventual molde de la máquina, sin embargo el modelo no posee este molde, en cambio usa una pieza de plástico para sustituirlo.

La máquina inicia el trabajo con el plato porta molde abierto y con el molde en su lugar (pieza plástica); luego el plato porta molde se cierra subiendo la parte inferior del mismo hasta alcanzar la parte superior sellando así ambas partes de tal forma que no se escape material al exterior, después comienza la acción de centrifugado por un tiempo predeterminado a una velocidad ya establecida. Finalmente se detiene la centrifugación y se abre el plato porta molde para acceder así a las eventuales piezas fundidas.

El plato porta molde rotativo está dividido en dos partes, como ya se dijo, el cual se cierra mediante la acción de un cilindro neumático (o hidráulico) de doble acción, para luego girar a una velocidad preestablecida gracias a un motor eléctrico y un variador de velocidad previamente programados por un sistema de control digital. El funcionamiento general de la máquina está gobernado por un PLC.

La velocidad del centrifugado puede ser variada en cualquier momento mediante mandos manuales o programas preestablecidos. El tiempo de centrifugado, también puede ser variado mediante la programación directa del PLC.

La máquina cuenta con un sistema de advertencia que es activado a cada paso del proceso de centrifugado para evitar accidentes.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. ANTECEDENTES

Según la empresa TEKCAST INDUSTRIES, LTDA. Constituida en 1971, la fundición mediante centrifugación tiene ventajas como: Simpleza de uso, bajos costos de producción, bajo costo de mantenimiento y gran producción de piezas fundidas.

En cuanto a la flexibilidad de uso, hace uso del comparativo:

Tabla 1. Comparativo de Tekcast entre fundición centrifuga y otros procesos.

Compare Tekcast Spin-Casting To Other Processes

PROCESS	TEKCAST Spin-Casting	DIE CASTING	PLASTER MOLD CASTING	SAND CASTING	LOST-WAX CASTING	PLASTIC INJECTION MOLDING
Type Of Molds Used	Vulcanized "TEKSIL" Rubber	Machined Tool Steel	Plaster	Sand	Ceramic	Machined Aluminum, Brass or Tool Steel
Type Of Casting Materials	Zinc, Tin/Lead, Urethane, Polyester, Epoxy, Pattern Wax	Zinc, Aluminum, Magnesium	Most Non-ferrous Metals	Most Foundry Castable Metals	Most Foundry Castable Metals	Most Thermo -Plastics
Average Cost Of Mold Tooling (U.S. Dollars)	\$35 to \$250	\$10,000 to \$250,000+	\$1,000 to \$25,000 (Wood or Metal Pattern)	\$500 to \$10,000 (Wood or Metal Pattern)	\$1,000 to \$25,000 (Machined Aluminum)	\$5,000 to \$150,000+
Economical Ordering Quantities	1 & Up	25,000* & Up	100 & Up	100 & Up	1,000 & Up	15,000* & Up
Economical Part Size (Length or Width)	<1/2" - 12" <1.25 - 30cm	<1/2" - 24" <1.25 - 60cm	<4" - 36" <10 - 90cm	<3" - 36" <7.5 - 90cm	<1" - 24" <2.5 - 60cm	<1/2" - 24" <1.25 - 60cm
Economical Part Wall Thickness	<1/8" - 1/2" .3 - 1.25cm	<1/8" - 3/4" .3 - 2cm	<1/8" - 1" .3 - 2.5cm	<1/4" - 1" .6 - 2.5cm	<1/8" - 1" .3 - 2.5cm	<1/8" - 1/2" .3 - 1.25cm
Casting Tolerances	Very Close	Closest	Close	Lowest	Very Close	Closest

Ability To Make Design Changes	Easiest	Very Difficult	Difficult	Easy	Very Difficult	Very Difficult
Per Part Cost	Very Low	Lowest	Very High	Very Low	Highest	Lowest
Usual Secondary Machining Required	Very Little or None	Lowest or None	Low	Highest	Very Little or None	Lowest or None
Usual Initial Parts Lead Time Required	4 hrs - 2 days	12 - 24 wks	6 - 12 wks	4 - 12 wks	8 - 16 wks	12 - 24 wks

Según esta empresa solo se necesitan seis pasos para producir piezas por medio de la fundición por centrifugación. En este caso se usa un molde de silicona por vulcanización.

Paso 1: Teniendo las piezas modelo, se extienden sobre el molde de silicona aún sin vulcanizar.

Figura 1. Molde de silicona con piezas modelo.



Fuente: www.Tekcast.com

Paso 2: Se vulcaniza el molde.

Figura 2. Máquina vulcanizadora.



Fuente: www.Tekcast.com.

Paso 3: Se hacen los canales de ventilación y de recorrido del material fundido.

Figura 3. Talla de canales y ventiladores.



Fuente: www.Tekcast.com.

Paso 4: El molde terminado se lleva a la máquina centrifugadora de carga frontal.

Figura 4. Máquina centrifuga.



Fuente: www.Tekcast.com.

Paso 5: Después que el ciclo de centrifugado ha comenzado, se derrama el material fundido dentro del molde. La presión ejercida por la fuerza centrifuga empuja el material liquido a través de todos los caminos del molde llenando cada cavidad de este.

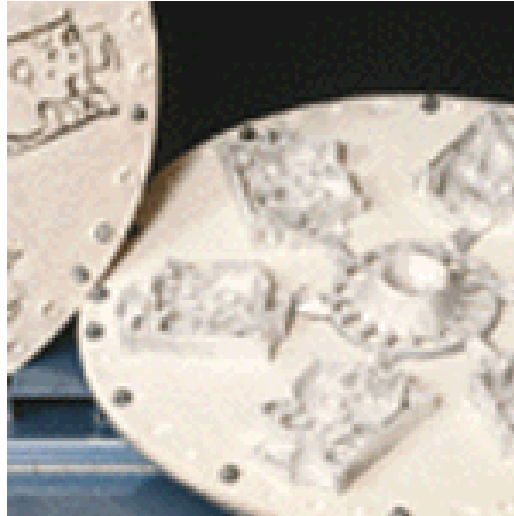
Figura 5. Derrame de metal fundido en el molde.



Fuente: www.Tekcast.com.

Paso 6: Una vez terminado el proceso de derrame del líquido, la máquina se detiene, se retira el molde y se abre para extraer las piezas.

Figura 6. Moldes terminados.



Fuente: www.Tekcast.com.

Este proceso es realizado para el copiado de piezas prototipo, sin embargo se puede hacer para un molde diseñado por un experto en el campo, ahorrando los tres primeros pasos.

Las series 100-A-Tekcaster, son máquinas centrifugadoras analógicas con costos que van de los 6000 dólares para la que usa molde de diámetro de 12" (pulgadas), hasta los 10000 dólares para la máquina que usa molde de diámetro de 18". A estos valores hay que sumarles los costos de envío y los impuestos.

Las series 100-D-Tekcaster, son máquinas centrifugadoras digitales cuyos costos van desde los 6600 dólares hasta los 10700 dólares, para los mismos diámetros de moldes y sin gastos de envío o impuestos (la construcción de la máquina centrífuga en Colombia no sobrepasa los 4000 dólares).

En el sitio de Industrial Metal Casting (www.Industrialmetalcasting.com), se nombran algunas de las ventajas que tiene la fundición por centrifugado, como: Rápido proceso de moldeado, se pueden fundir gran cantidad de piezas por hora, se pueden producir piezas complejas, alta integridad y tolerancia de las piezas fundidas, bajos costos de producción y excelentes terminados.

Las aplicaciones para la fundición por centrifugado van desde decoración, accesorios para la moda, hasta aplicaciones industriales.

Muchas de las empresas que trabajan en el sector de la fundición aún lo hacen de forma artesanal, lo que se traduce en falta de competitividad y problemas de productividad. Esto impide que estas empresas se posicionen como líderes, retrasando su evolución ya que no pueden cumplir con las exigencias del mercado.

Un claro ejemplo es la empresa de fundición boyacense: FUNDIMETALES, esta última dedicada a la fundición de piezas para diferentes mercados, como ejemplo, las tapas de las cajas para contadores del Acueducto de Bogotá. Esta empresa ha querido incursionar en el mercado de redes de distribución eléctrica, pero al no poseer la tecnología su participación era casi nula debido a la cantidad de rechazos por calidad que tenían sus productos y a su poca producción.

Otras empresas del sector de la fundición boyacenses que utilizan sistemas de coquilla fija o moldes por arena son: FUNDICIONES FERRITA, COLHIERROS, EL CAMPANARIO, NO FERROSOS Y ALUMINIOS.

El producto final no es homogéneo tanto en sus características físicas, como morfológicas, es de baja calidad. Debido a la cantidad de rechazos la pérdida de material es otro factor importante (perdida de dinero).

En cuanto a producción se refiere, el proceso artesanal de fundición requiere demasiado tiempo tanto para la preparación de los moldes como para el enfriado de las piezas, factores que impiden responder en cantidad a las exigencias del mercado nacional.

Para el sistema de fundición con coquilla fija se requieren dos operarios por máquina y por cada molde (máquina) solo se puede fundir una pieza a la vez. Otro factor es el área de trabajo, ya que se necesita de mucho espacio para acomodar los moldes. Debido a que este es un sistema por gravedad, la calidad de las piezas depende en gran medida de la experiencia que se tenga en este tipo de fundición y en otra medida, se podría decir, de la suerte.

En cuanto a la fundición por molde de arena el proceso es más lento, pues la preparación de los moldes puede durar mucho tiempo. La cantidad de operarios se reduce pero el tiempo se cuadriplica. En cuanto a la calidad, esta es menor que la calidad usando el molde por coquilla y el área de trabajo requerida es mucho mayor.

El proyecto busca sustituir una tecnología antigua por una más moderna para la fundición de hierros nodulares y no ferrosos, que permita solucionar problemas de rechazos y pérdidas de materias primas. Debido a que la calidad del molde es mayor y por ende las piezas terminadas son de mejor calidad.

1.2. DESCRIPCIÓN Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

En el sector metalmecánico algunos procesos como el de fundición se hacen de forma artesanal (coquilla o moldes de arena) generando problemas como: Deficiente homogeneidad en el tamaño del producto, malos acabados, baja producción, baja calidad en fusión, incumplimiento de normas nacionales e internacionales. De aquí que exista una gran cantidad de rechazos, baja competitividad y productividad de las empresas del sector, que en resumen es pérdida de dinero.

¿Qué requerimientos técnicos y funcionales debe tener el modelo de una máquina centrífuga para ser simulada?

1.3. JUSTIFICACIÓN

La construcción de una máquina centrífuga para la fundición a presión con sistema de control de cierre y variador electrónico de velocidad, reduciría en gran medida el porcentaje de rechazos por mala calidad en los acabados de las piezas fundidas.

Las piezas resultantes son más homogéneas y su calidad es mejor, pues al ser de presión el material es más compacto.

Con esta máquina se tiene mayor producción, pues en un solo molde se pueden fundir muchas más piezas. El enfriado de las piezas, también está contemplado en el tiempo de centrifugación, por lo tanto no hay que esperar tanto como con el sistema de coquilla o molde de arena.

La cantidad de personal utilizado para la fundición se reduce en gran medida, pues solo se necesitan hasta dos operarios para el uso de esta máquina. Con el sistema de coquilla se necesitaban dos operarios por molde, o sea dos operarios por pieza.

El cumplimiento de normas nacionales e internacionales, abre también las puertas a nuevos mercados para las empresas del sector.

Un modelo a escala y funcional, brinda la posibilidad de comprender el funcionamiento de una maquina industrial pero a un menor costo.

1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1. Objetivo general. Estudiar y simular el funcionamiento de una máquina centrífuga para fundición a presión con sistema de control de cierre y variador electrónico de velocidad.

1.4.2. Objetivos específicos

- Definir los requerimientos de la población (empresas) sujeto a la cual estará dirigido el uso de esta máquina.
- Definir los aspectos mecánicos de construcción de la máquina centrífuga como los son la estructura, la simulación de molde, la transmisión mecánica de potencia del motor.
- Definir los alcances técnicos de simulación de la máquina centrífuga.
- Definir los aspectos de control y automatización de la máquina centrífuga.
- Definir los aspectos de seguridad y de advertencia que debe tener el modelo de la máquina centrífuga.

1.5. ALCANCES Y LIMITACIONES DEL PROYECTO

La máquina centrífuga es un prototipo a escala de simulación que demuestra el funcionamiento de la eventual máquina industrial. En la máquina de simulación puede observarse la carga y retiro de un molde para fundición de piezas (el cuál es solo de demostración puesto que el costo de un molde real es elevado). El cierre del porta molde se realiza con la ayuda de un mecanismo, que para el caso es neumático debido a su relativo bajo costo y a que posee la fuerza requerida para el cierre apropiado del porta molde.

El variador de velocidad comanda al motor eléctrico trifásico, con el objetivo de poder arrancar, detener y variar la velocidad de centrifugado del porta molde, protegiendo al mismo tiempo de sobre cargas al motor.

El motor eléctrico trifásico transmite la fuerza motriz al porta molde por medio de una banda flexible tipo A y dos poleas. La velocidad de rotación puede ser variada según mientras la máquina se encuentre detenida y está limitada por las características técnicas del motor.

El variador de velocidad y la electroválvula están comandadas por un PLC DURUS de marca General Electric Fanuc. El PLC está en la capacidad de variar el tiempo de centrifugado y activa los solenoides de la electroválvula para esta a su vez haga que el cilindro neumático (FESTO) cierre o abra el porta molde. Del PLC, también dependen las advertencias visuales de estado y seguridad de la máquina centrífuga.

Las advertencias visuales están ideadas para señalar el estado, en tiempo real, en el que se encuentra la máquina centrifugadora para así disminuir los riesgos por manipulación, aproximación o debido al volcado en el molde de material a alta temperatura. Estas advertencias también sirven para indicar cuándo se puede verter el metal fundido, o reemplazar el molde, o retirar las piezas terminadas.

El modelo no incluye un molde real debido a su alto costo de diseño y producción. Su simulación y funcionamiento se hace por medio de dos piezas circulares plásticas. El diámetro de estas piezas no puede ser mayor a 30 cm, pues de lo contrario golpearía los parales de la máquina. El peso tampoco puede superar la fuerza máxima de apertura y cierre del cilindro, en este caso no deben superar los 240 N.

En la máquina industrial los rodamientos y su configuración pueden variar con respecto al modelo, sin embargo el objetivo de su funcionamiento es el mismo.

El modelo no está en la capacidad de centrifugar material fundido de ninguna clase ya que solo es una herramienta de demostración.

2. MARCO DE REFERENCIA

2.1. MARCO TEÓRICO – CONCEPTUAL

2.1.1. Requerimientos de la población. Según estudio realizado por el Centro Red Tecnológico Metalmecánico en el año 2006, se identificaron más de cien empresas del sector de la fundición que utilizaban los métodos de coquilla fija y de moldes de arena para fundir piezas.

Las piezas que se producían no eran homogéneas, tenían que ser pulidas y refinadas, una gran parte de la producción era devuelta debido a que no pasaban los controles de calidad. Además de la homogeneidad, la calidad en cuanto a consistencia no era la ideal, pues se caracterizaban por ser frágiles; sufrían de roturas o resquebrajamientos en el almacenaje o mientras se transportaban.

Otra consecuencia del uso de los sistemas de fundición por coquilla fija o moldes de arena, era la baja producción. La cantidad de operarios, el espacio y el tiempo de preparación de los moldes son factores retardantes. Esta limitante impedía que las empresas tuvieran acceso a mercados nacionales más grandes como el de las empresas públicas, e inclusive a mercados internacionales.

En resumen, los requerimientos de la población objetivo, son: Mayor producción y mejor calidad. Factores que son superados usando el sistema de fundición por centrifugado.

2.1.2. Reconversión tecnológica de los procesos para la obtención de aleaciones en horno de crisol

2.1.2.1. Proceso de fundición por coquilla metálica fija. Este proceso es característico de las pequeñas y medianas empresas del sector de la fundición en Colombia. El proceso de fundición por medio de coquilla se realiza haciendo el vaciado del material fundido en una coquilla metálica fija (o molde fijo), cuya capacidad es limitada a unas pocas piezas, de esta forma se obtienen piezas constituidas por una capa periférica dura y resistente a la abrasión de *fundición blanca*¹, que envuelve totalmente a un corazón más blando de *fundición gris*². Es necesario, para conseguir buenos resultados tener un control muy cuidados de la composición y la velocidad de enfriamiento.

¹ Son aquellas en las que todo el carbono se encuentra combinado bajo la forma de cementita, transformación que tiene lugar durante el enfriamiento, análogo al 2.5% de carbono.

² Contienen 2.5 a 4% de carbono.

Jugando con el espesor del molde y con algunos de los componentes de la aleación, como el silicio y el magnesio, se obtienen diferentes resultados en la fundición.

Aunque es un método muy antiguo y en cierto modo artesanal, se usa mucho cuando se requieren pequeñas cantidades de piezas, no es práctico para fabricación industrial de cantidades mayores, para las cuales existen equipos de inyección, moldeado a partir de colada continua, etc.

Cuando se trabaja en coquilla y se requiere de una cantidad considerable de piezas, la empresa se ve obligada a construir un sin número de coquillas con gran cantidad de mano de obra, pues cada una requiere de al menos dos operarios para su preparación, transporte y carga. A esto hay que sumarle el tiempo y el espacio (pues se disponen en forma ordenada sobre el piso o grandes mesas) requeridos para preparar cada coquilla, es el caso de empresas como FUNDIMETALES.

Una vez se sacan las piezas de forma manual de los moldes, estas se llevan a otra parte de la fábrica donde deben ser refinadas, esto debido a que poseen imperfecciones derivadas del proceso de fundición con coquilla metálica fija.

La siguiente foto ilustra la batería de coquillas en las cuales la fábrica funde sus piezas y un detalle constructivo de las mismas.

Figura 7. Batería de coquillas empresa FUNDIMETALES.



2.1.2.2. Fundición centrífuga real. Una Máquina Centrífuga para Fundición a Presión con Sistema de Control de Cierre y Variador Electrónico de Velocidad, cuenta con un molde que puede, de acuerdo a su elaboración, fundir gran cantidad de piezas en una sola carga.

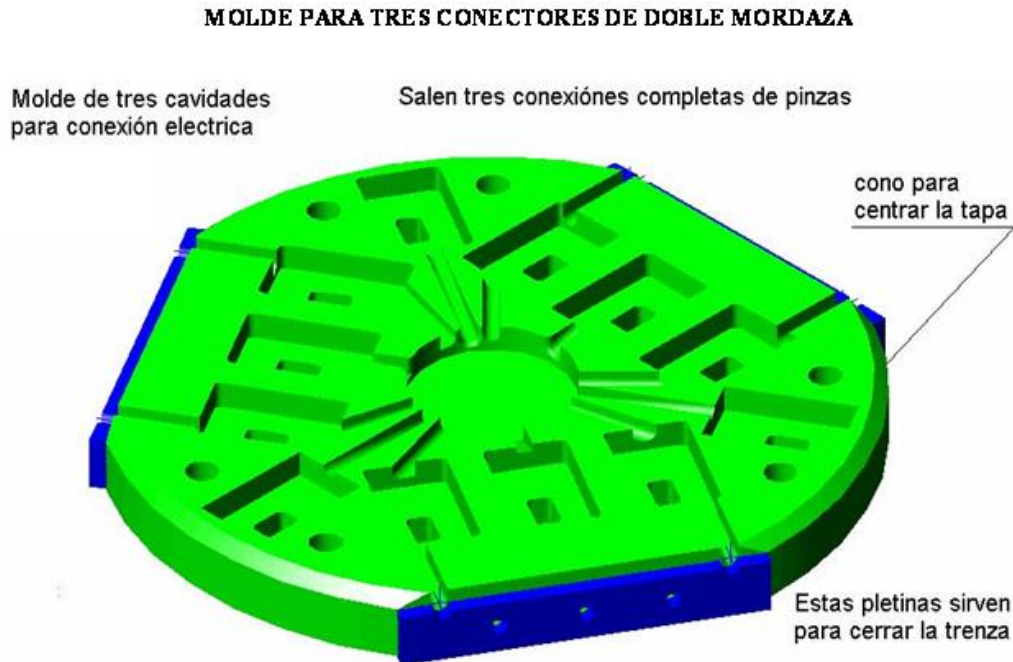
El material fundido se vierte caliente sobre alimentador del molde y se transforma inmediatamente en una capa de fundición líquida uniforme y continua, manteniendo su forma debido a las fuerzas de inercia centrífugas que actúan sobre él y que son creadas por la rotación del molde. Esta fuerza centrífuga lanza el material líquido contra las paredes del molde y aumenta su presión, facilitando así el llenado de las cavidades y acelerando la solidificación en este estado. Al mismo tiempo se refrigera el molde en el exterior y baja la temperatura de la fundición facilitando su solidificación. En el curso del enfriamiento, el metal líquido sufre una contracción térmica progresiva, lo que hace que la pieza se desprege del molde y pueda extraerse con facilidad.

La colada centrífuga es adecuada para la fabricación de cuerpos de revolución huecos, por ejemplo: Tubos, cilindros y casquillos de cojinetes, entre otros.

La rotación hace que el material fundido se dirige por medio de la fuerza centrífuga hacia las cavidades (piezas) llenándolas por completo y vaciando otras. Al cabo de unos segundos estas piezas están listas para ser extraídas.

La orientación del eje de rotación del molde puede ser horizontal o vertical, pero esta última es la más común.

Figura 8. Molde para máquina centrifugadora.



El molde consta de dos partes que cierran a presión con la ayuda de un cilindro neumático (o hidráulico). La rotación se logra conectando las dos partes del molde cerrado con un motor eléctrico que provee la velocidad necesaria para que el material fundido llene de forma homogénea cada una de las cavidades. Un variador de velocidad hace que el motor gire a una frecuencia preestablecida.

La orientación del eje de rotación del molde puede ser horizontal o vertical, pero esta última es la más común. Para que el proceso trabaje satisfactoriamente se calcula la velocidad de rotación del molde en la fundición centrífuga horizontal. La fuerza centrífuga está definida por la ecuación:

$$F = mv^2 / R$$
$$GF = F / W = mv^2 / Rmg = v^2 / Rg$$

Donde:

F = fuerza (N)
m = masa (Kg)
v = velocidad (m/s)
R = radio interior del molde (m)
W = mg es su peso (N)
g = aceleración de la gravedad (m/s²)

El factor-G GF es la relación de fuerza centrífuga dividida por el peso.

La velocidad v puede expresarse como $2\pi RN / 60 = \pi RN / 30$, donde N es la velocidad de rotación en rev/min. Al sustituir esta expresión obtenemos:

$$GF = \frac{R(\pi N/30)^2}{g}$$

Con un arreglo matemático para despejar la velocidad de rotación N y usando el diámetro D en lugar del radio, tenemos:

$$N = (30/\pi) \sqrt{(2gGF/D)}$$

Donde:

D = diámetro interior del molde (m).

N = velocidad de rotación (rev/min).

Si el factor- G es demasiado bajo en la fundición centrífuga, el metal líquido no quedará pegado a la pared del molde durante la mitad superior de la ruta circular sino que “lloverá” dentro de la cavidad. Ocurren deslizamientos entre el metal fundido y la pared del molde, lo cual significa que la velocidad rotacional del metal es menor que la del molde. Empíricamente, los valores de $GF = 60$ a 80 son apropiados para la fundición centrífuga horizontal, aunque esto depende hasta cierto punto del metal que se funde.

2.1.2.3. Fundición centrífuga vertical. Debido al efecto de la gravedad que actúa en el metal líquido, la pared de la fundición es más gruesa en la base que en la parte superior. El perfil interior de la fundición tomará una forma parabólica. La diferencia entre el radio de la parte superior y del fondo se relacionan con la velocidad de rotación:

$$N = \frac{30}{\pi} \sqrt{\frac{2gl}{R_i^2 - R_b^2}}$$

Donde:

L = longitud vertical de la fundición (m)

R_t = radio interno de la parte superior de la fundición (m)

R_b = radio interior en el fondo de la fundición (m).

Usando la ecuación anterior se puede determinar la velocidad rotacional requerida para la fundición centrífuga vertical, dadas las especificaciones de los radios internos en la parte superior e inferior.

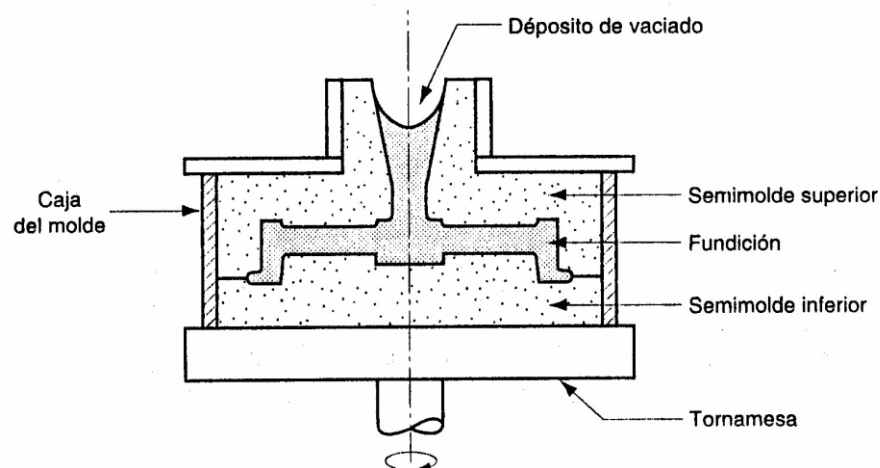
Para igualar a R_t , y a R_b , la velocidad de rotación N tendría que ser infinita, lo cual es imposible. En la práctica es conveniente que la longitud de las partes hechas

por fundición centrífuga vertical no exceda dos veces su diámetro. Esto es satisfactorio para bujes y otras partes que tengan diámetros grandes en relación con sus longitudes, especialmente si se va a usar el maquinado para dimensionar con precisión el diámetro interior.

Las fundiciones hechas por fundición centrífuga real se caracterizan por su alta densidad, especialmente en las regiones externas de la pieza, donde F es más grande. La contracción por solidificación en el exterior del tubo fundido no es de consideración, debido a que la fuerza centrífuga relocaliza continuamente el metal fundido hacia la pared del molde durante la congelación. Cualquier impureza en la fundición tiende a ubicarse en la pared interna y puede eliminarse mediante maquinado si es necesario

2.1.2.4. Fundición semi centrífuga. En este método se usa la fuerza centrífuga para producir fundiciones sólidas en lugar de partes tubulares, como se muestra en la Figura 9. La velocidad de rotación se ajusta generalmente para un factor-G alrededor de 15, y los moldes se diseñan con mazarotas (depósitos de metal fundido) que alimenten metal fundido desde el centro. La densidad del metal en la fundición final es más grande en la sección externa que en el centro de rotación. El centro tiene poco material o es de poca densidad. Por lo regular el centro en este tipo de sistemas de fundición es maquinado posteriormente, excluyendo así la porción de más baja calidad. Los volantes y las poleas son ejemplos de fundiciones que pueden hacerse por este proceso. Se usan frecuentemente moldes consumibles o desechables en la fundición semi centrífuga, como sugiere nuestra ilustración del proceso.

Figura 9. Fundición semi centrífuga.

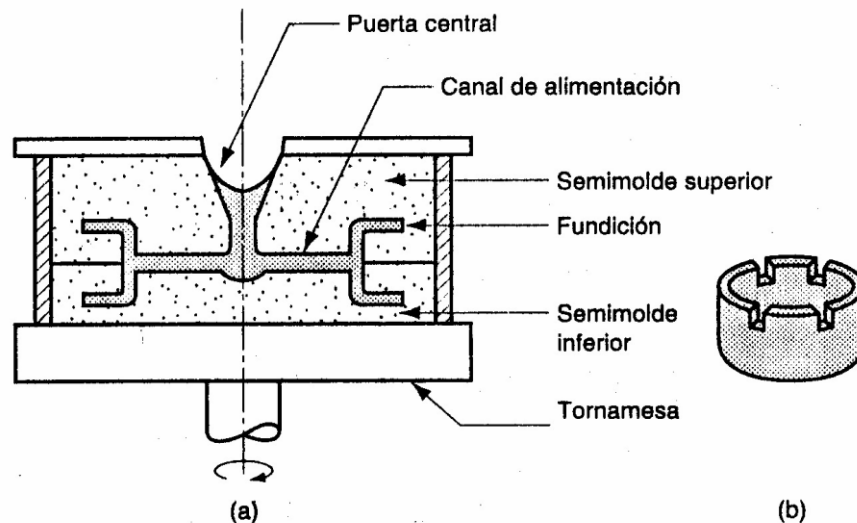


Fuente:

http://www.comosehace.cl/procesos/JavierRebolledo/fundicion_centrifuga_archivos/image020.gif&imgrefurl

2.1.2.5. Fundición centrífuga. Por medio de un tallo se hace llegar metal fundido a racimos de cavidades colocadas simétricamente en la periferia (Figura 10), de manera que la fuerza centrífuga distribuya la colada del metal entre estas cavidades. El proceso se usa para partes pequeñas o medianas, la simetría radial de la parte no es un requerimiento como en los otros dos métodos de fundición centrífuga.

Figura 10. Fundición centrífuga: la fuerza centrífuga hace que el metal fluya a las cavidades del molde lejos del eje de rotación y (b) la fundición (pieza).



Fuente: Ibíd.

2.1.3. Aspectos mecánicos de construcción. Los diferentes componentes de cada uno de los sistemas que hacen parte de la máquina deben ir soportados sobre una estructura fuerte que soporte, no solo su peso, sino los movimientos generados por el cilindro neumático y el centrifugado del porta molde.

2.1.3.1. Estructura. La estructura de la máquina es un esqueleto metálico galvanizado sobre el cual van sujetos la mayoría de los elementos que componen cada uno de los sistemas de la misma.

El acero galvanizado es aquel que se obtiene luego de un proceso de recubrimiento de varias capas de la aleación de hierro y zinc. Se trata de tres capas de la aleación, que se denominan: "gamma", "delta" y "zeta". Finalmente se aplica una cuarta capa externa que sólo contiene zinc, a la que se le llama "eta", y es la que le da aquel típico aspecto gris brillante al acero.

El recubrimiento galvanizado le otorga al acero una excelente protección, entregándole propiedades fabulosas entre las que se encuentra su gran resistencia a la abrasión, así como también a la corrosión. Esta última característica produce

tres excelentes efectos. El primero, denominado “protección por efecto de barrera” consta en la aislación frente a un medio ambiente que podría ser bastante agresivo. En segundo lugar, la “protección catódica o de sacrificio” es aquella en la que el zinc se comporta como la parte anódica de la corrosión, de este modo, mientras haya recubrimiento de zinc, el acero estará protegido. Por último, la “restauración de zonas desnudas” se refiere a que la corrosión del zinc logra tapar aquellas discontinuidades que pueden existir en el recubrimiento a causa de la corrosión u otro tipo de daños, como por ejemplo, un golpe fuerte.

Por otra parte, el galvanizado aporta protección contra la corrosión atmosférica, que responde a las condiciones climáticas del lugar en la que la pieza de acero se encuentre ubicada, así como también contra los agentes contaminantes como el óxido de azufre y los cloruros típicos de las zonas cercanas a la costa. Otra de las protecciones que brinda el galvanizado guarda relación con el agua, tanto dulce, como de mar.

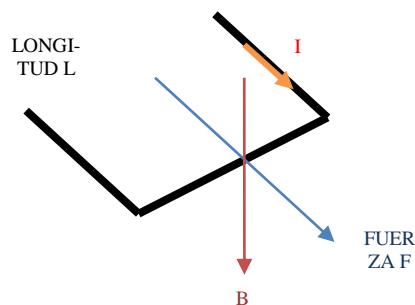
En resumen, dentro de las múltiples ventajas que hacen de este proceso de galvanizado algo tan positivo y necesario se encuentra que otorgan al acero una durabilidad mucho mayor, así como también una gran resistencia. Cabe destacar la gran protección que este recubrimiento le otorga, protegiéndolo como una barrera física, de forma electroquímica y brindándole un proceso de auto curado con los productos de la corrosión del zinc.

2.1.4. Motores eléctricos. Los motores eléctricos son usados, comúnmente, como elementos de control final en los sistemas de control por posición o de velocidad. Éstos se pueden clasificar en dos categorías: Motores eléctricos de corriente continua y motores eléctricos de corriente alterna.

2.1.4.1. Principios de funcionamiento

- Se ejerce una fuerza sobre un conductor en un campo magnético cuando pasa una corriente por un conductor. Para el conductor de longitud L que lleva la corriente I en un campo magnético con densidad de flujo B perpendicular conductor, la fuerza ejercida F es igual a BIL .

Figura 11. Fuerza sobre un conductor sobre el que pasa una corriente.

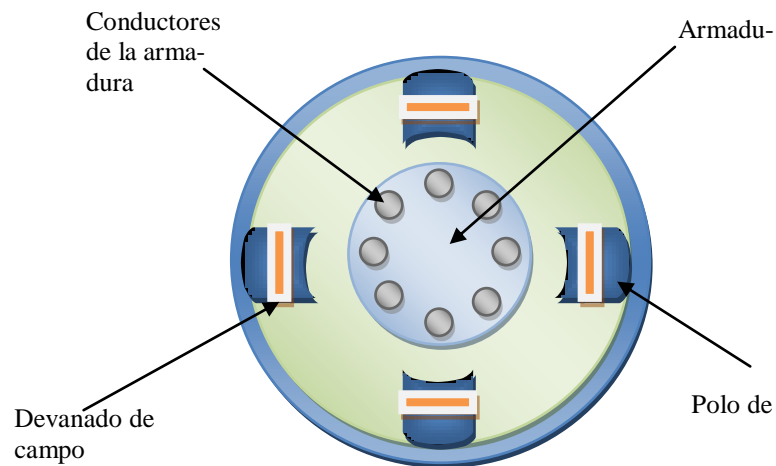


- Cuando un conductor se desplaza dentro un campo magnético, se induce una fuerza electromagnética sobre él. La fuerza electromagnética inducida, e , es igual a la velocidad con la que cambie el flujo magnético Φ (el flujo magnético es igual al producto de la densidad de flujo por el área) que cubre el conductor (ley de Faraday), es decir, $e = -d\Phi/dt$. El signo menos indica de que la dirección de la fuerza electromagnética es el sentido opuesto al cambio que la produce (ley de Lenz); es decir, la dirección de la fuerza electromagnética inducida es tal que produce una corriente que crea campos magnéticos que tienden a neutralizar el cambio en el flujo magnético asociado al devanado que produjo la fuerza electromagnética. Por ello, con frecuencia se le conoce como fuerza “contra-electromotriz”.

El principio básico de un motor de corriente continua es una espira de alambre que gira de manera libre en medio del campo de un imán permanente. Cuando por el devanado pasa una corriente, las fuerzas resultantes ejercidas en sus lados y en ángulo recto al campo provocan fuerzas que actúan a cada lado dando como resultado una rotación. Para que la rotación continúe, cuando el devanado pasa por la posición vertical se debe invertir la dirección de la corriente.

En un motor de corriente continua convencional, los devanados de alambre se montan en las ranuras de un cilindro de material magnético conocido como “armadura”. Esta está montada en cojinetes y puede girar. Se monta en el campo magnético producido por los “polos de campo” que pueden ser, imanes permanentes o electroimanes, cuyo magnetismo se obtiene mediante una corriente que circula por “devanados de campo”.

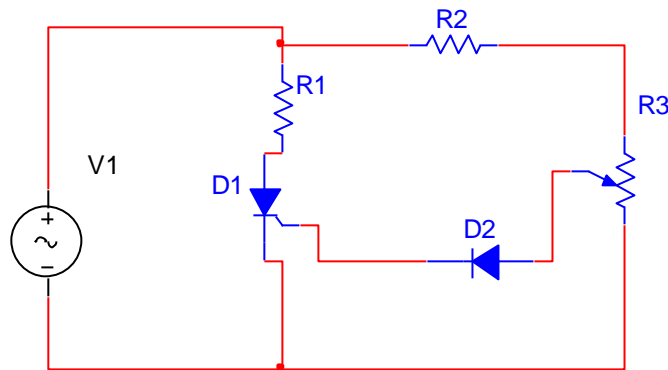
Figura 12. Motor de corriente continua y sus elementos.



La velocidad que alcanza un motor de imán permanente depende de la magnitud de la corriente que pasa por los devanados de la armadura. En un motor con devanado de campo la velocidad se modifica variando la corriente de la armadura, o la del campo; en general, es la primera la que se modifica. Por tanto, para controlar la velocidad se puede utilizar el control de voltaje que se aplica a la armadura. Sin embargo, dado que el empleo de fuentes de voltaje de valor fijo es frecuente, el voltaje variable se logra mediante un circuito electrónico.

En una fuente de corriente alterna, se utiliza circuito de tiristor para controlar el voltaje promedio que se aplica a la armadura (Figura 13). Sin embargo, es común que nos interese control de motores de corriente directa mediante señales de control provenientes de microprocesadores. En estos casos utiliza la técnica de “modulación por ancho de pulso” o PWM (pulse width modulation), que utiliza una fuente de voltaje de corriente directa y sección a su voltaje para que varíe su valor promedio (Figura 14, pág 24).

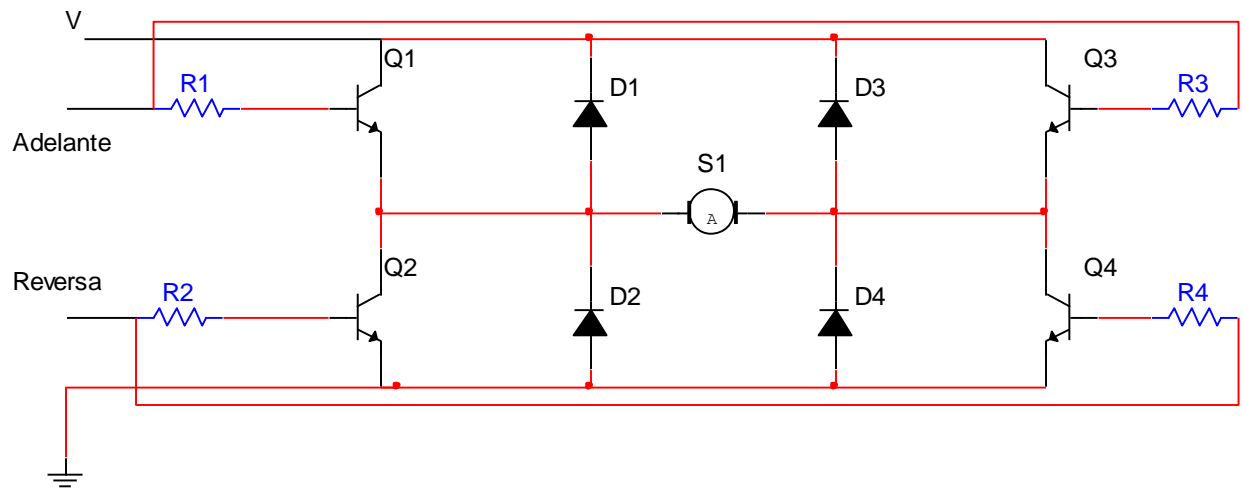
Figura 13. Circuito para control de fase.



Fuente: Mechatronics, electronics control sistem in mechanical and electrical engineering.

Esto, teniendo suponiendo que las condiciones (voltaje de alimentación y carga que desplaza el motor) permanecen constantes, es decir, control en malla abierta.

Figura 14. Ejemplo circuito en H.



Fuente: Mechatronics, electronics control sistem in mechanical and electrical engineering.

En los sistemas de control en malla cerrada se utiliza realimentación para modificar la velocidad del motor si cambian las condiciones. Un tacó generador produce la señal de realimentación, esto genera una señal análoga que es necesario convertir en una señal digital utilizando un “decodificador de señales analógicas” ADC, para introducirla en un microprocesador. La salida del microprocesador se convierte en una señal analógica para variar el voltaje aplicado a la armadura del motor en corriente directa.

Los motores de corriente alterna se pueden clasificar en dos grupos, monofásicos y polifásicos, cada uno se subdivide en motores de inducción y motores síncronos.

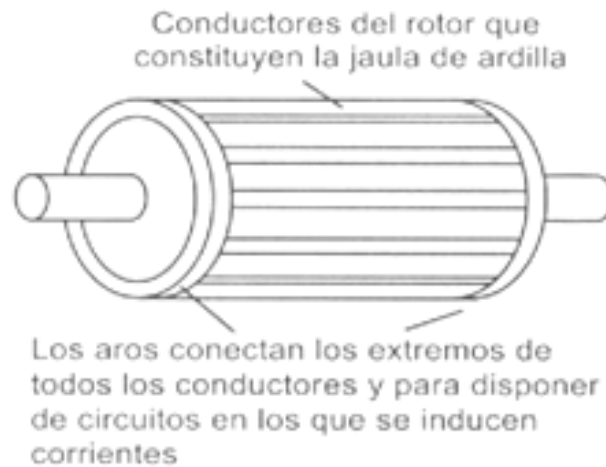
Existe la tendencia a usar motores monofásicos cuando la potencia requerida es baja, en tanto los polifásicos se emplean cuando se requiere mucha potencia. Los motores de inducción en general son más baratos que los síncronos.

El motor de inducción monofásico de jaula de ardilla consta de un rotor tipo jaula de ardilla, es decir, barras de cobre o aluminio insertas en las ranuras de los aros de los extremos para formar circuitos eléctricos complejos. El rotor no tiene conexiones eléctricas externas. El motor básico consta de un rotor y un estator con varios devanados. Al pasar la corriente alterna por los devanados del estator se produce un campo magnético alterno. Como resultado de la inducción electromagnética, se genera una fuerza electromotriz en los conductores del rotor y por éste fluyen las corrientes.

Cuando el rotor está en reposo, las fuerzas sobre los conductores del rotor por los que pasa la corriente dentro del campo magnético del estator son tales que el par neto es nulo.

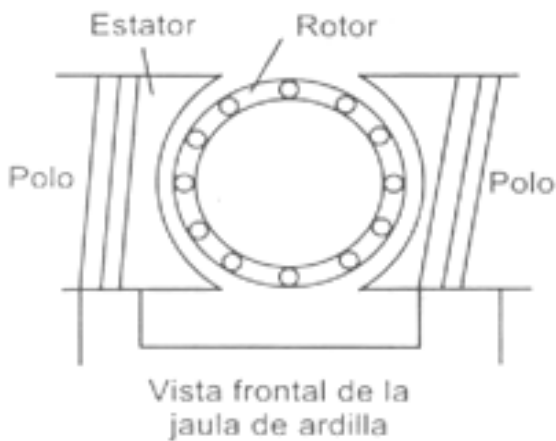
El motor no tiene arranque automático. Se utilizan diversos métodos para hacer al motor de arranque automático; uno de ellos es usar un devanado de arranque auxiliar, mediante el cual se le da empuje inicial al motor. La velocidad de rotación del campo magnético se denomina “velocidad síncrona”. En realidad el rotor nunca se acopla con esta frecuencia de rotación, y en general, la diferencia es de 1 a 3%. Esta diferencia se conoce como “deslizamiento”.

Figura 15. Motor de inducción de fase.



Fuente: Ibíd.

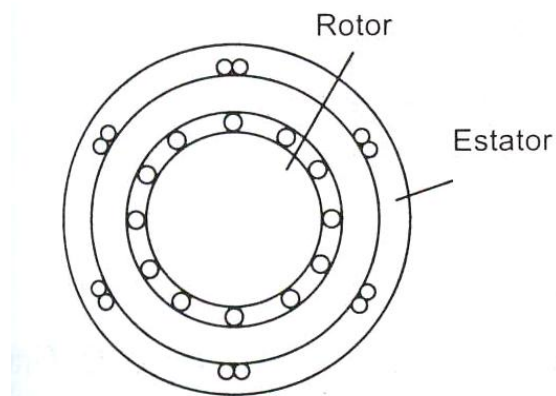
Figura 16. (Continuación).



Fuente: Ibid.

2.1.4.2. El motor de inducción trifásico. Es similar al motor de inducción monofásico, sólo que tiene un estator con tres devanados separados 120° , cada uno conectado a uno de las tres líneas de alimentación eléctrica. Como estas tres fases alcanzan sus corrientes máximas en diferentes momentos, se considera que el campo magnético gira en torno a los polos del estator, completando una rotación durante el ciclo completo de corriente. La rotación del campo es mucho más suave que en el motor monofásico. Este motor tiene arranque automático, la dirección de rotación se invierte intercambiando alguna de las dos líneas de conexión, lo cual cambia la dirección de rotación de campo magnético.

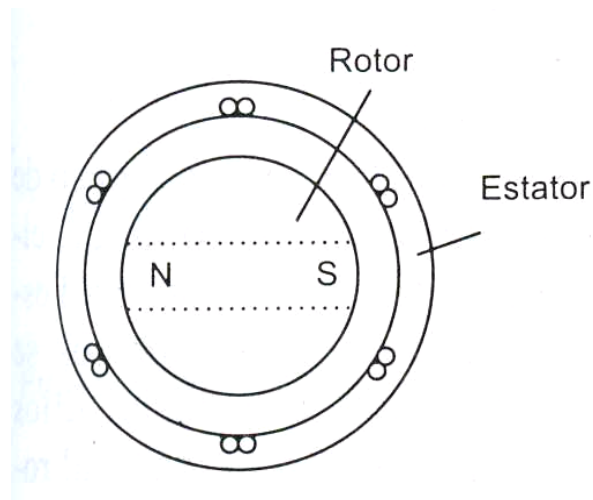
Figura 17. Motor de inducción de tres fases.



Fuente: Ibid.

2.1.4.3. Motores síncronos. Los motores síncronos tienen estatores similares a los descritos en los motores de inducción, pero el rotor es un imán permanente. El campo magnético que produce el estator gira y el imán gira con él. Al tener un par de polos por fase de alimentación eléctrica, el campo magnético gira 360° durante el ciclo de alimentación, de manera que la frecuencia rotación, es igual a la frecuencia alimentación. Los motores síncronos se utilizan cuando se requiere una velocidad precisa. No son de arranque automático y algunos requieren un sistema de arranque.

Figura 18. Motor síncrono de tres fases.



Fuente: Ibid.

Los motores de corriente alterna tienen la gran ventaja respecto a los motores de corriente directa de ser más baratos, robustos, confiables y no necesitar mantenimiento. Sin embargo, el control de velocidad es más complejo que los motores de corriente directa y en consecuencia, un motor de corriente directa con control de velocidad, en general, es más barato que uno de corriente alterna con control de velocidad, aunque la diferencia sus precios es cada vez menor. El control de velocidad de los motores de corriente alterna se basa en el uso de una fuente de frecuencia variable, debido a que la velocidad de estos motores está definida por la frecuencia de la alimentación.

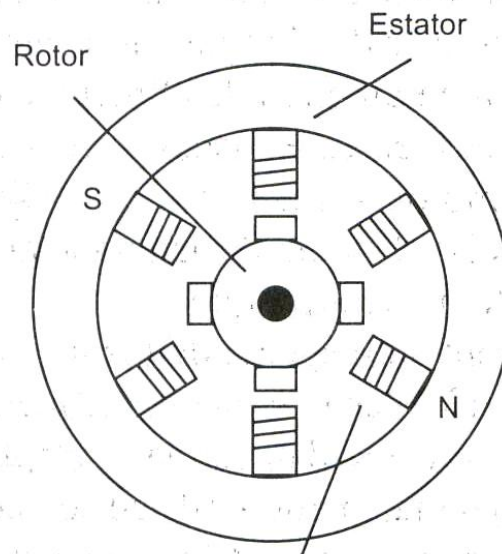
El par que genera un motor de corriente alterna es constante cuando la relación entre voltaje aplicado al estator y la frecuencia es constante. Para mantener un par constante a diferentes velocidades, cuando varía la frecuencia también es necesario variar el voltaje que se aplica al estator. Uno de los métodos consisten rectificar primero la corriente alterna, convirtiéndola en cd y luego convertirla otra vez en ca pero a la frecuencia deseada.

Otro método común para operar motores de baja velocidad es el "ciclo-conversor". Este convierte directamente la ca de una frecuencia en una ca con otra frecuencia, sin la conversión intermedia de cd.

El motor paso a paso es un dispositivo que produce una rotación en ángulos iguales, denominados "pasos". Por cada pulso digital que llega su entrada, el motor se mueve un paso. Por ejemplo, si en el caso de un motor un pulso produce un giro de seis grados, entonces 60 pulsos producirán una rotación de 360°.

2.1.4.4. Motores paso a paso. En el motor paso a paso de reluctancia variable el rotor puede ser de acero dulce cilíndrico y contiene 4 polos, que son menos que en el estator. Cuando llega la corriente a un par de devanados opuestos, se produce un campo magnético cuyas líneas de fuerza pasan de los polos del estator a través del grupo de polos más cercano al rotor. El rotor se moverá hasta que sus polos y los del estator que en alineados. Esto se conoce como “posición de reluctancia mínima”. Este tipo de movimiento paso a paso en general produce avances en ángulos de 7.5° o 15° .

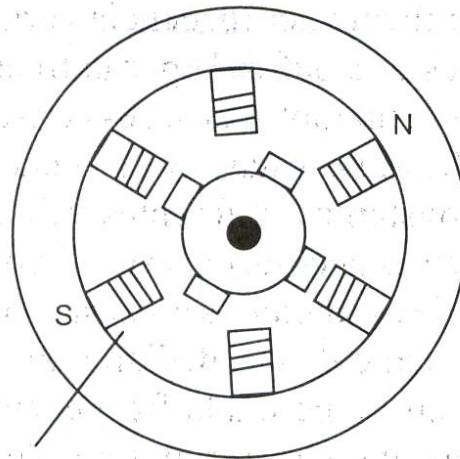
Figura 19. Motor paso a paso de reluctancia variable.



Este par de polos se energiza con una corriente que se suministra y el rotor gira a la posición que se muestra abajo

Fuente: Ibid.

Figura 20. Motor paso a paso de reluctancia variable.



Este par de polos se energiza con una corriente que se suministra para producir el siguiente paso

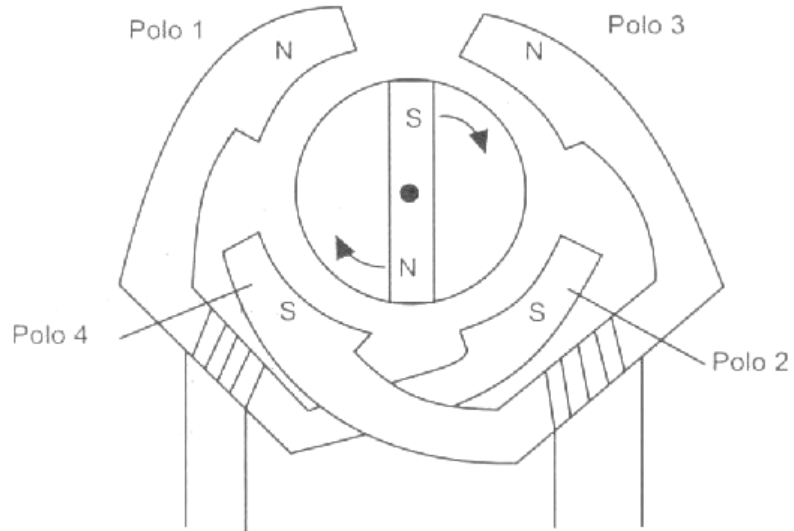
Fuente: Ibid.

El motor mostrado en la Figura 20 tiene un estator con cuatro polos. Cada uno de ellos está enrollado a un devanado de campo y las bobinas en pares opuestos de polos están en serie. Una fuente de cd proporciona la corriente a los devanados a través de interruptores. El rotor es un imán permanente, debido a lo cual si se conecta una corriente a uno de los pares de polos del estator, el rotor se desplaza hasta alinearse con él. En este tipo de motores los ángulos de avance paso a paso por lo general son de $1,8^\circ$, $7,5^\circ$, 15° , 30° , 34° y 90° .

Los motores paso a paso híbridos (Figura 21, pág 30) reúnen las características de los motores de reluctancia variable y de imán permanente; cuentan con un imán permanente inserto en tapones de hierro dentados. El rotor se coloca a sí mismo en la posición de reluctancia mínima cuando se energiza un par de devanados del estator. Los ángulos de paso típicos son de $0,9^\circ$ y $1,8^\circ$.

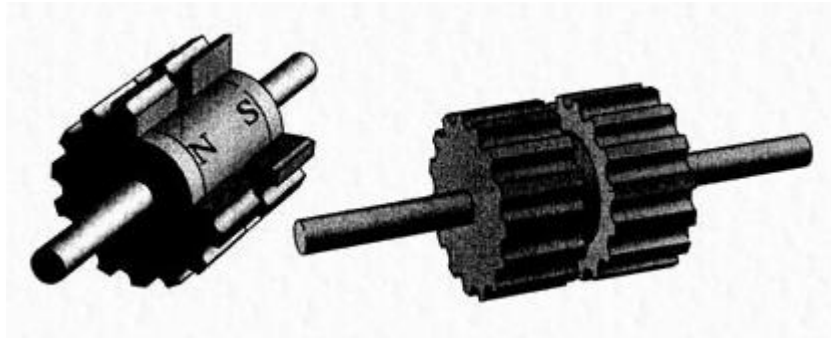
Estos motores se usan mucho en aplicaciones que requieren alta precisión, por ejemplo en las unidades de disco duro de las computadoras.

Figura 21. Motor paso a paso de imán permanente.



Fuente: Ibid.

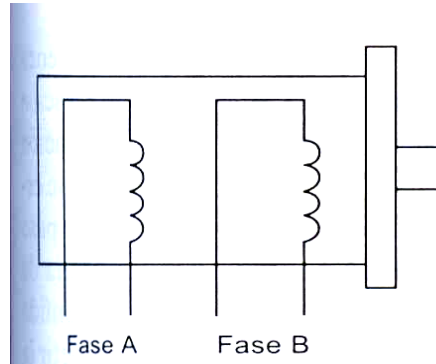
Figura 22. Rotor de un motor híbrido.



Fuente: http://www.alciro.org/alciro/Plotter-Router-Fresadora-CNC_1/Motores-hibridos_158.htm

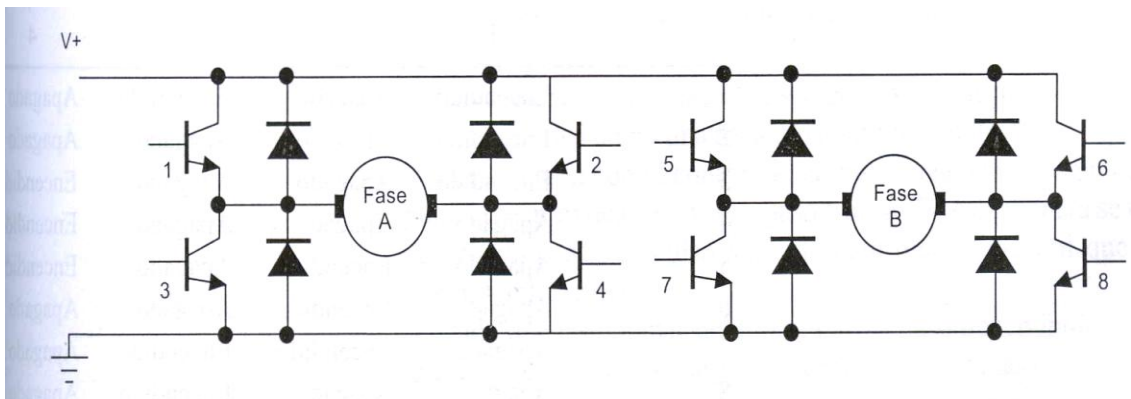
Para conmutar la alimentación de corriente eléctrica en cd entre los pares de devanados del estator se utiliza electrónica de estado sólido. Los motores bifásicos se denominan “motores bipolares” si tienen cuatro cables para conectar señales que generen la secuencia de conmutación (Figura 23 pág 31). Estos motores se excitan mediante circuito H (Figura 24, pág 31).

Figura 23. Motor bipolar.



Fuente: Mechatronics, electronics control system in mechanical and electrical engineering.

Figura 24. Circuito H.



Fuente: Ibid.

En la tabla 2, se muestra la secuencia de conmutación necesaria para que los transistores realicen los cuatro pasos. Para obtener pasos adicionales se repite la secuencia. La secuencia produce una rotación en el sentido de las manecillas del reloj; para obtener un giro en sentido contrario, se invierte la secuencia.

Tabla 2. Secuencia de conmutación para pasos completos de un motor paso a paso bipolar.

Paso	Transistores			
	1 y 4	2 y 3	5 y 6	6 y 7
1	Encendido	Apagado	Encendido	Apagado
2	Encendido	Apagado	Apagado	Encendido
3	Apagado	Encendido	Apagado	Encendido
4	Apagado	Encendido	Encendido	Apagado

Para obtener una resolución más fina, o mitad de un paso, en vez de la secuencia de pasos completos, las bobinas se conmutan de manera que el rotor se detenga a la mitad del siguiente paso completo. En la tabla 3 se muestra la secuencia para medios pasos uso para un motor paso a paso bipolar.

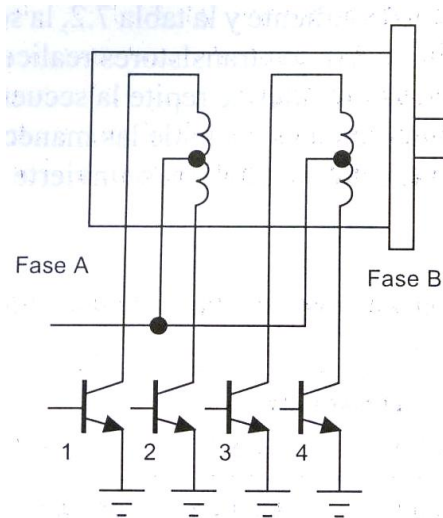
Los motores bifásicos se denominan “unipolares” y tienen seis cables de conexión para generar la secuencia de conmutación. Cada bobina tiene o derivación central. Cuando las derivaciones centrales de las bobinas de fase están conectadas entre sí, es posible conmutar un motor paso a paso con sólo cuatro transistores.

Tabla 3. Medios pasos de un motor paso a paso bipolar.

Paso	Transistores			
	1 y 2	2 y 3	5 y 8	6 y 7
1	Encendido	Apagado	Encendido	Apagado
2	Encendido	Apagado	Apagado	Apagado
3	Encendido	Apagado	Apagado	Encendido
4	Apagado	Apagado	Apagado	Encendido
5	Apagado	Encendido	Apagado	Encendido
6	Apagado	Encendido	Apagado	Apagado
7	Apagado	Encendido	Encendido	Apagado
8	Apagado	Apagado	Encendido	Apagado

Los motores bifásicos se denominan “unipolares” (Figura 25, pág 33) y tienen seis cables de conexión para generar la secuencia de conmutación. Cada una de las bobinas tiene una derivación central. Cuando las derivaciones centrales están conectadas entre sí, es posible conmutar un motor paso a paso con sólo cuatro transistores. Existen circuitos integrados provistos de todos los elementos electrónicos para lograr la excitación.

Figura 25. Motor unipolar.



Fuente: Ibid.

Algunas aplicaciones requieren ángulos de paso muy pequeños, para los cual se aumenta la cantidad de dientes del rotor y/o la cantidad de faces. Es común que no se usen más de 4 faces, ni más de 50 a 100 dientes. En su lugar se usa la técnica de “mini pasos”, que consiste en dividir cada paso en cierta cantidad de sub-pasos de igual tamaño. Para ello se utilizan diferentes corrientes en devanados, de manera que el rotor se desplace a posiciones intermedias entre las posiciones de un paso normal.

Los motores paso a paso se usan para producir pasos de rotación controlados, así como una rotación continua, controlando la frecuencia de aplicación de los pulsos que provocan el avance paso a paso.

Es necesario incluir un circuito de protección al interconectar el motor paso a paso con el microprocesador, esto, debido a las cargas inductivas. Esto se logra conectando resistencias a las líneas para limitar la corriente, sin afectar el valor de la corriente necesaria para conmutar los transistores.

2.1.5. Electroneumática. Es la técnica empleada en automatización para lograr movimientos empleando el aire. (La composición del aire: 20% oxígeno, 76% nitrógeno, 4% de helio, hidrogeno, argón, CO₂).

La electroneumática constituye una herramienta importante dentro del control automático de la industria. El aire comprimido es una de las formas más antiguas que conoce el hombre y aprovecha para reforzar sus recursos físicos.

Uno de los primeros trabajos sobre neumática del cual se tenga seguridad fue el del griego KTEISIBIOS, hace más de 2000 años; construyó una catapulta neumática. El libro de neumática, "AIRE COMPRIMIDO COMO ENERGÍA", procede del siglo I de nuestra era y describe mecanismos accionados mediante aire caliente. De los griegos procede la expresión "*Pneuma*", que designa la respiración, el viento y en filosofía, el alma. La expresión derivada "*Neumática*", es un concepto que trata los movimientos y procesos del aire. Aunque conocida desde la antigüedad, solo hasta el siglo pasado se empezó a investigar el comportamiento y las reglas de la neumática.

Una de las primeras aplicaciones conocida de la neumática en la industria se implementó en los años de 1950.

2.1.5.1. Ventajas de la neumática

- El aire es de fácil captación y de fácil implementación.
- El aire no posee propiedades exclusivas.
- Los actores trabajan a velocidades razonablemente altas y fácilmente regulables.
- Las sobrecargas no constituyen situaciones peligrosas o que dañen equipos de forma permanente.
- Los cambios de temperatura no afectan el sistema de forma significativa.
- Es una energía limpia.
- Es posible hacer cambios instantáneos de sentido.

2.1.5.2. Desventajas de la neumática

- En circuitos extensos se producen pérdidas de cargas considerables.
- Requiere de instalaciones especiales.
- Las presiones de trabajo, no permiten aplicar grandes fuerzas.
- Altos niveles de ruido generado por la descarga del aire a la atmósfera.

2.1.5.3. Ley de BOYLE. O también llamada ley de BOYLE – MARIOTTE. Como todo gas, el aire no tiene una forma determinada. Toma la del recipiente que lo contiene o la del ambiente.

Permite ser comprimido y tiene la tendencia a dilatarse. “A temperatura constante, el volumen de un gas encerrado en un recipiente es inversamente proporcional al volumen por la presión absoluta”.

Entonces: $P_1V_1 = P_2V_2 = P_3V_3 = \dots$
Para masa (m) y temperatura (T) constantes.
Donde V es volumen y P es presión.

2.1.5.4. Ley de CHARLES. La proporcionalidad directa entre el volumen y la temperatura fue probada experimentalmente Jacques Charles en 1787. “Mientras la masa y la presión de un gas se mantengan constantes, el volumen del gas es directamente proporcional a su temperatura absoluta”.

$V_1/V_2 = T_1/T_2$
Con presión (P) y masa (m) constantes.

2.1.5.5. Ley de GUY – LUSSAC. “Si el volumen de una muestra de gas permanece constante, la presión absoluta de ellas es directamente proporcional a su temperatura absoluta”. Esto significa que aumentar al doble la presión aplicada a un gas causará que su temperatura absoluta aumente al doble también. En forma de ecuación, la ley de Gay-Lussac se puede escribir como:

$P_1/T_1 = P_2/T_2$
Con masa (m) y volumen (V) constantes.

2.1.5.6. Ley general de los gases. Las tres leyes anteriores pueden emplearse para describir el comportamiento técnico de los gases. Por desgracia, ninguna de esas condiciones se satisface casi nunca. En General, como resultado de un proceso térmico, el sistema sufre cambios de volumen, temperatura y presión. Una relación más General combina las tres leyes como sigue:

$P_1V_1 / T_1 = P_2V_2 / T_2$
Con la masa (m) constante.

2.1.5.7. Cadena de mando. Existen diversos caminos para diseñar un sistema de mando y establecer un esquema del circuito para un problema específico.

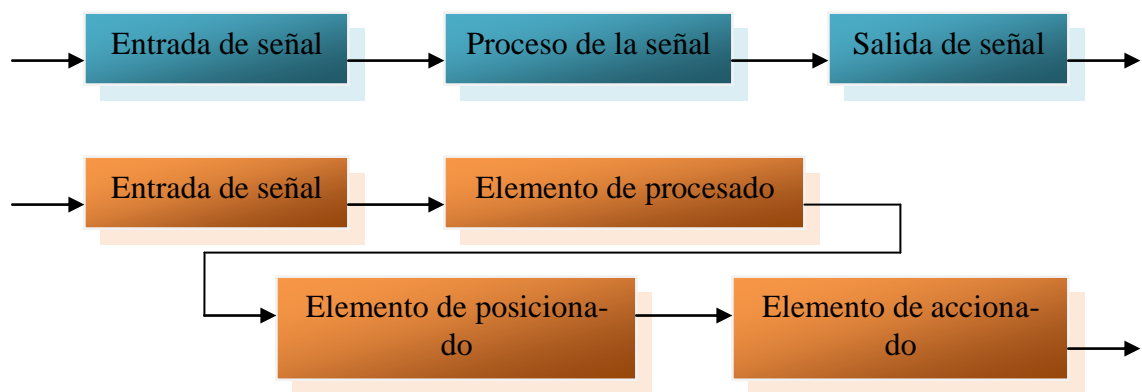
En general existen dos métodos:

- Desarrollo del sistema del circuito, partiendo del equipo a emplear.
- Desarrollo del circuito en primer lugar, seguido de la conversión del equipo.

El desarrollo del equipo en primer lugar tiene la ventaja que la solución encontrada puede ser simplificada sistemáticamente. Ante todo es importante que el método de desarrollo pueda ser reconstruido, es decir, que otras personas que trabajen con estos circuitos conozcan el esquema empleado en el diseño. Esto es una ventaja en cuanto a construcción y mantenimiento se refiere. Las operaciones y reglas lógicas necesarias para tal efecto han sido derivadas del álgebra de Boole.

En una cadena de mando se determina siempre un sentido para el flujo de señales. Este sentido de flujo puede representarse también empleando un esquema de flujo de señales (DIN 19226).

Figura 26. Esquema de flujo de señales.



En la mayoría de los casos, en grandes instalaciones, el sistema de mando se encuentra separado de la sección de accionamiento.

Algunos componentes que pueden ser usados para la entrada de señal son: Interruptores finales mediante leva o rodillo, señalizadores sin contacto (interruptores de aproximación, barreras foto eléctricas), barreras neumáticas, detectores Reflex, pulsadores manuales, interruptores manuales, interruptores de pie, entre otros.

Programadores con portadores de programa como: Cintas perforadas, tarjetas perforadas, memorias electrónicas. Señalizadores como: Detectores de temperatura, presión y humedad, etc.

Para el procesamiento de señales se cuenta con diversos como: Válvulas neumáticas y módulos electrónicos, contactores, relevos, entre otros.

Los componentes para la conversión de señales son los amplificadores o intensificadores, válvulas electromagnéticas neumáticas o hidráulicas, contactores de accionamiento neumático e hidráulico, entre otros.

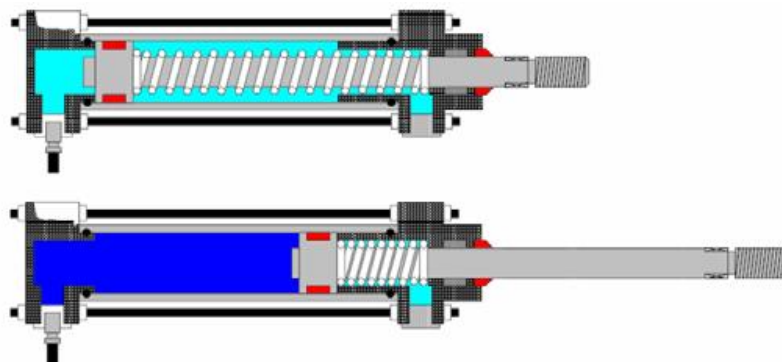
Los componentes para la salida de señales y ejecución de órdenes válvulas hidráulicas y neumáticas, contactores de potencia, motores eléctricos, cilindros neumáticos e hidráulicos, motores neumáticos e hidráulicos. Elementos indicadores neumáticos, hidráulicos, eléctricos y electrónicos.

2.1.5.8. Símbolos utilizados en neumática. Se trata de símbolos utilizados para la normalización en el diseño e identificación tanto de elementos como de circuitos complejos de electroneumática (ver anexo A).

2.1.5.9. Elementos de trabajo. El cilindro de aire comprimido (Figura 27 y 28 pág 38) es un dispositivo motor en el que la energía estática (energía neumática) se transforma en trabajo mecánico mediante la reducción de sobre presión atmosférica exterior. Las partes de un cilindro son:

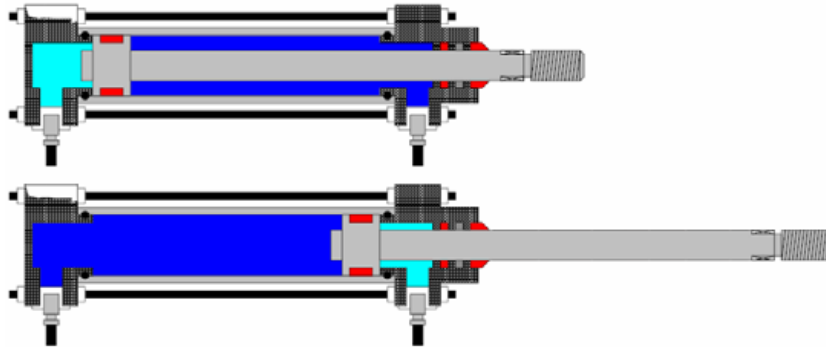
- Cuerpo del cilindro.
- Pistón en forma de vaso.
- Vástago.
- Muelle recuperador.
- Guía del vástago.
- Tapa anterior.
- Toma de aire comprimido.

Figura 27. Cilindro de simple efecto. El avance es el resultado de la presión de aire.



Fuente: [Http://www.unican.es/cjre.htm](http://www.unican.es/cjre.htm).

Figura 28. Cilindro de doble efecto. Tanto el avance como el retroceso son el resultado de la presión ejercida por el aire.



Fuente: Ibíd.

Las características técnicas de los cilindros neumáticos pueden variar de acuerdo al fabricante y a la implementación del mismo (cilindros especiales).

La fuerza generada en el cilindro, es función del diámetro (superficie) del émbolo, de la presión del aire comprimido (presión de trabajo) y de la resistencia de rozamiento (fricción).

$$\text{Fuerza de presión} = \text{Superficie del émbolo} \times \text{Presión}$$

$$F = A \times p \text{ (cm}^2 \times \text{Kp/cm}^2\text{)}$$

Para cilindros de simple efecto:

$$F = D^2 \times \pi/4 \times p - f$$

Para cilindros de doble efecto:

$$F_A = D^2 \pi/4 \times p; \text{ Carrera de avance}$$

$$F_R = (D^2 - d^2) \times \pi/4 \times p; \text{ Carrera de retroceso}$$

D: Diámetro émbolo (Cm).

d: Diámetro Vástago (Cm).

A: Área émbolo (Cm²).

f: Fuerza émbolo (Kp).

F: Fuerza de presión (Kp).

P: Presión de trabajo (Kp/Cm²).

Como nota adicional se puede decir que los cilindros neumáticos son seguros ante las sobrecargas, pudiendo ser “cargados” hasta el máximo de su potencia; en caso de sobrecarga simplemente se detienen.

La energía del aire comprimido que alimenta los cilindros se consume transformándose en trabajo. El aire usado fluye a la atmósfera por el escape durante la carrera de retroceso del émbolo.

La relación de compresión (referida a la presión normal al nivel del mar) se calcula por:

$$\frac{1,033 + P_t \text{ (presión de trabajo en Kp/Cm}^2\text{)}}{1,033}$$

El consumo de aire se indica siempre en litros de aire aspirado. Para obtener valores uniformes de aire aspirado referidos a la potencia del compresor, se calcula mediante:

Cilindros de simple efecto

$$Q = s \times n \times q$$

Q: Consumo total de aire en N Lt/min.

q: Consumo de aire por Cm de carrera. El

s: Carrera en Cm.

n: Ciclos por minuto.

El volumen del vástago es despreciable. La fase de trabajo que comprende desde la posición de partida (inicial) hasta que vuelve de nuevo la misma, de un aparato es llamado ciclo. En un cilindro neumático un ciclo comprende dos carreras, una de avance y una de retroceso.

En el consumo total de aire de un cilindro figura también el llenado de aire comprimido de los “espacios muertos” ya que estos pueden almacenar hasta un 20% del consumo del aire de trabajo. Un ejemplo de los espacios muertos es la tubería de alimentación; otro son las posiciones finales del émbolo que se utiliza para la carrera del mismo.

Tabla 4. Fuerza de presión.

Tamaño del cilindro \varnothing pistón, mm	Presión de trabajo en kp/cm ²														
	1	2	3	4	5	6*	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	Fuerza en kp														
6	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8	3
12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
16	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30
25	4	9	13	17	21	24	30	34	38	42	46	50	55	60	63
35	8	17	26	35	43	52	61	70	78	86	95	104	113	122	129
40	12	24	36	48	60	72	84	96	108	120	132	144	156	168	180
50	17	35	53	71	88	106	124	142	159	176	194	212	230	248	264
70	34	69	104	139	173	208	243	278	312	346	381	416	451	486	519
100	70	141	212	283	353	424	495	566	636	706	777	848	919	990	1059
140	138	277	416	555	693	832	971	1110	1248	1386	1525	1664	1803	1942	2079
200	283	566	850	1133	1416	1700	1983	2266	2550	2832	3116	3400	3683	3966	4248
250	433	866	1300	1733	2166	2600	3033	3466	3800	4332	4766	5200	5633	6066	6498

La fuerza de presión (Tabla 4) conocidos el diámetro del pistón y la presión de trabajo, sin considerar la fuerza del muelle (cilindros de simple efecto) y el área del vástago (carrera de retorno de cilindro de doble efecto); se considera también el coeficiente de rozamiento.

Tabla 5. Consumo de aire de los cilindros neumáticos por cm de carrera en función del diámetro del pistón y de la presión de trabajo.

\varnothing pistón mm	Consumo de aire para cilindros neumáticos														
	Presión de trabajo en kp/cm ²														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Consumo de aire en NI por cm de carrera del cilindro															
6	0,0005	0,0008	0,0011	0,0014	0,0016	0,0019	0,0022	0,0025	0,0027	0,0030	0,0033	0,0036	0,0038	0,0041	0,0044
12	0,002	0,003	0,004	0,006	0,007	0,008	0,009	0,010	0,011	0,012	0,013	0,014	0,015	0,016	0,018
16	0,004	0,006	0,008	0,010	0,011	0,014	0,016	0,018	0,020	0,022	0,024	0,026	0,028	0,029	0,032
25	0,010	0,014	0,019	0,024	0,029	0,033	0,038	0,043	0,048	0,052	0,057	0,062	0,067	0,071	0,076
35	0,019	0,028	0,038	0,047	0,056	0,066	0,075	0,084	0,093	0,103	0,112	0,121	0,131	0,140	0,149
40	0,025	0,037	0,049	0,061	0,073	0,085	0,097	0,110	0,122	0,135	0,146	0,157	0,171	0,183	0,195
50	0,039	0,059	0,077	0,096	0,115	0,134	0,153	0,172	0,191	0,210	0,229	0,248	0,267	0,286	0,305
70	0,076	0,113	0,150	0,187	0,225	0,262	0,299	0,335	0,374	0,411	0,448	0,485	0,523	0,560	0,597
100	0,155	0,231	0,307	0,383	0,459	0,535	0,611	0,687	0,763	0,839	0,915	0,991	1,067	1,143	1,219
140	0,303	0,452	0,601	0,750	0,899	1,048	1,197	1,346	1,495	1,644	1,793	1,942	2,091	2,240	2,389
200	0,618	0,923	1,227	1,531	1,835	2,139	2,443	2,747	3,052	3,356	3,660	3,964	4,268	4,572	4,876
250	0,966	1,441	1,916	2,392	2,867	3,342	3,817	4,292	4,768	5,243	5,718	6,193	6,668	7,144	7,619

En la Tabla 6, pág 41, se puede apreciar un ejemplo de espacio muerto. para los cilindros de doble efecto de un determinado fabricante. En este caso pueden presentarse grandes diferencias en comparación con otros fabricantes (FESTO, PNEUMATIC, ETC.).

Tabla 6. Ejemplo de espacio muerto.

Diámetro del émbolo mm ³	Lado de la cubierta en cm ³	Lado del fondo en cm ³
12	1	0,5
16	1	1,2
25	5	6
35	10	13
50	16	19
70	27	31
100	80	88
140	128	150
200	425	448
250	2005	2337

La velocidad media estándar del émbolo de los cilindros se está comprendida entre 0.1 y 1.5 m/seg (0.6 a 90 m/min). En los cilindros especiales la velocidad puede ser mayor. La velocidad del émbolo es función de la presión de aire, de la fuerza antagonista, de las secciones de la tubería, de la longitud de las tuberías entre la válvula de mando y el cilindro. También, el diámetro nominal de la válvula de mando.

Tabla 7. Velocidad media del émbolo de los cilindros neumáticos con carga parcial y una presión de trabajo de 6 kp/cm².

Ø émbolo mm	Diámetro nominal mm	Carga en %				
		0	20	40	60	80
		Velocidad del pistón en mm/seg				
25	4	580	530	450	380	300
35	7	980	885	785	690	600
50	7	480	440	400	360	320
70	7	230	215	200	180	150
70	9	530	470	425	380	310
100	7	120	110	90	80	60
100	9	260	230	205	180	130
140	9	130	120	110	90	70
140	12	300	260	230	200	170
200	9	65	60	55	50	40
200	12	145	130	120	105	85
200	19	330	300	280	250	215
250	19	240	220	185	165	115

Para las carreras largas los fabricantes construyen sus cilindros teniendo en cuenta este aspecto (el pandeo del vástago). En general se escoge un vástago de mayor sección. Cuanto mayor sea la carrera del cilindro tanto mayor debe ser la longitud de apoyo (L_a); debe tomarse como valor orientativo un 20% de la longitud de la carrera.

La definición de válvula, según la norma DIN 24300, es:

“Dispositivos para controlar o regular el arranque, parada y sentido, así como la presión o el flujo del medio de presión, impulsado por una bomba hidráulica, un compresor, una bomba de vacío o acumulador en un depósito. La denominación de válvula es de significado superior -correspondiendo al internacional del idioma- para todas las formas de construcción tales como válvulas de compuerta, válvulas de bola, válvulas de plato, grifos, etc.”

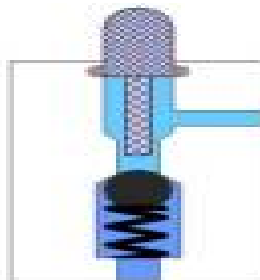
La forma de construcción de una válvula es de una significación secundaria dentro de un equipo neumático, sólo importa la función que puede obtenerse de ella, la forma de accionamiento y el tamaño de la rosca de conexión. En neumática las válvulas, principalmente, controlan un proceso.

Al grupo de las válvulas de dos vías pertenecen todas las llaves de paso, ya que estas poseen un orificio entrada (1^a vía) y de un orificio de salida (2^a vía). Las partes de una válvula son:

- La conexión de aire comprimido (alimentación) se designa por la letra P.
- Las tuberías de trabajo con letras mayúsculas, A,B,C,...
- Los orificios de purga por R,S,T,...
- Las tuberías de control o accionamiento con Z, Y, X,...

Otras construcciones, sólo tienen un sentido de paso, distinguiéndose entre “abierto” y “cerrado”.

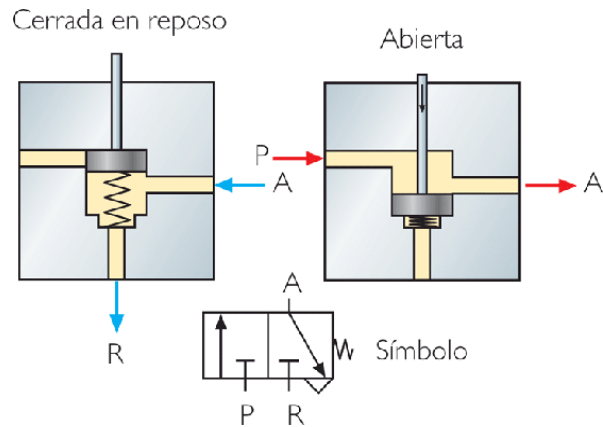
Figura 29. Válvula de asiento de bola de doble efecto, el aire solo puede circular en un sentido.



Fuente: <http://automatastr.galeon.com/a-valvulas.htm>

Para las válvulas, cuando se habla de posición en reposo, es cuando una válvula adopta una posición sin ser accionada.

Figura 30. Válvula de dos vías y su símbolo.

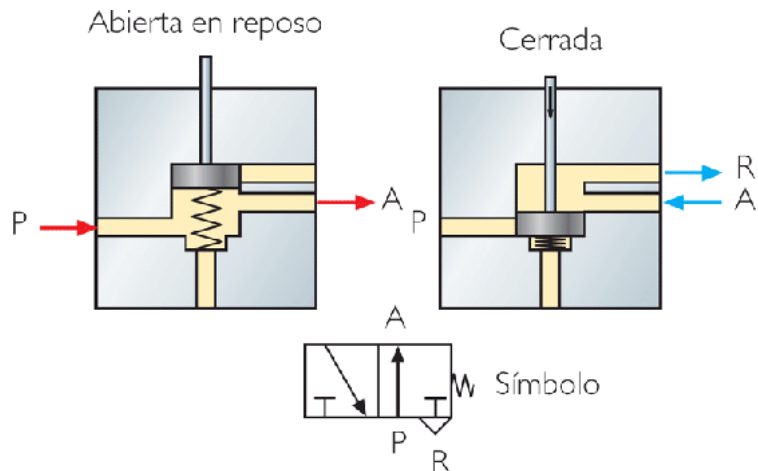


Fuente: http://ve.kalipedia.com/graficos/valvula-vias-funcion-apertura.html?x=20070821klpinginf_61.Ees

Una válvula de tres vías se compone de:

- 1ª vía: Toma de la red, P = alimentación.
- 2ª Vía: conducción al consumidor (A) = utilización.
- 3ª vía: purga (R) = escape.

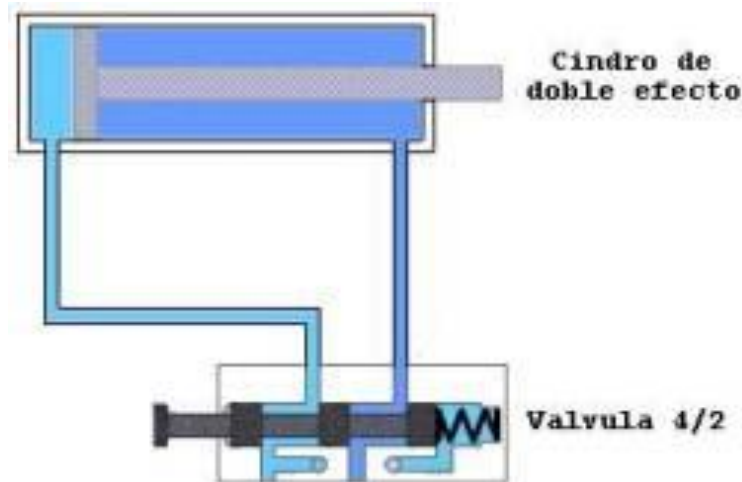
Figura 31. Válvula de tres vías y su símbolo.



Fuente: Ibíd.

Un cilindro de doble efecto puede acondicionarse con dos válvulas de tres vías o una de cuatro vías.

Figura 32. Ejemplo de accionamiento cilindro de doble efecto usando una válvula de 4 vías y dos posiciones.



Fuente: <http://automatastr.galeon.com/a-valv22.jpg>

En neumática no son usuales las válvulas con más de 4 vías, las de 5 y 6 vías se utilizan en hidráulica.

Una válvula distribuidora se selecciona y se designa al mismo tiempo por el número de vías controladas y por la posición de partida. En la terminología normalizada se designa como válvula 4/2 a una válvula de 4 vías, 2 posiciones.

Las válvulas distribuidoras con más de tres posiciones solo se emplean en neumática con construcciones especiales. La combinación de varias válvulas puede dar como resultado una válvula con más posiciones.

Una característica importante de toda válvula es su clase de accionamiento, este no depende de su función ni de su construcción. El dispositivo de accionamiento acción es agregado a la válvula y puede ser utilizado en varias válvulas sin importar cuántas vías o posiciones tengan estas.

Los órganos de accionamiento de la válvula pueden designarse con letras (a,b,c,...) de acuerdo con la correspondiente posición de maniobra.

- **Accionamiento directo:** El órgano de mando está directamente sobre la válvula, por ejemplo para los accionamientos manuales o de pedal.
- **Accionamiento mecánico:** Son necesarios en todas aquellas partes en las que la válvula deba ser accionada por un órgano mecánico del equipo, por

ejemplo: leva³ en el vástago del cilindro, discos de levas, rodillo escamotable⁴, carros de las máquinas, etc.

- **Mando a distancia:** El órgano accionado se encuentra separado y alejado de la válvula. En neumática son usuales los mandos a distancia, eléctricos o electrónicos (emisores de señales).

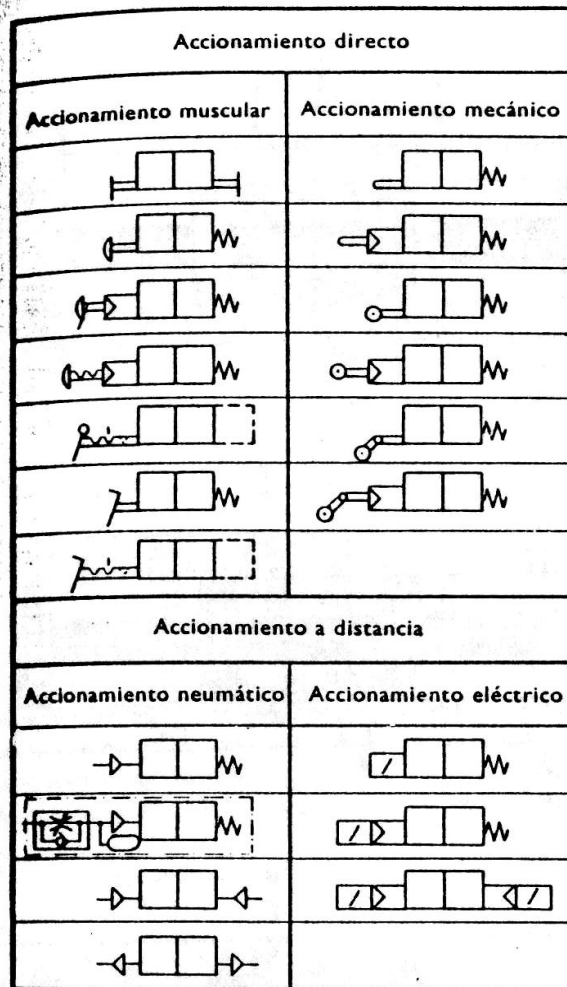
El accionamiento neumático distingue una señal positiva y una señal negativa (pilotaje positivo o pilotaje negativo).

Las válvulas accionadas por medios neumáticos con posición de reposo automática emplean exclusivamente pilotaje positivo, debido a que se debe vencer la fuerza de un resorte.

³ Leva: Pulsador o palpador.

⁴ Rodillo Escamotable: Solo se activa en un sentido. Si es presionado del lado contrario, se abate y no se activa la válvula.

Figura 33. Posibilidades de accionamiento de las válvulas distribuidoras.

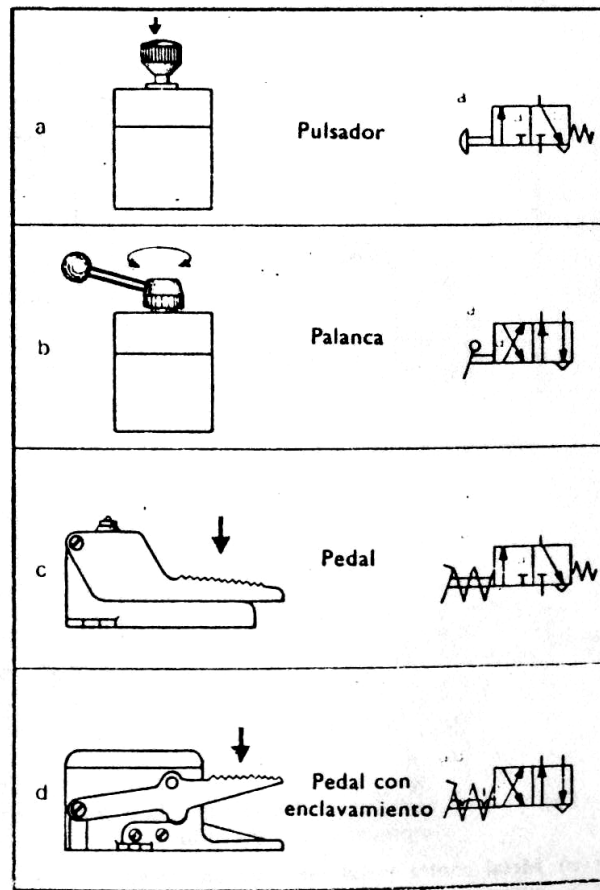


Fuente: DEPERT ,W.; STOLL , K. Dispositivos neumáticos, Introducción y Fundamentos, 2ª Edición, Marcombo Boixareu Editores, 1982. Pag 53.

Las tuberías de mando en las válvulas de accionamiento neumático no deben ser demasiado largas, de lo contrario puede aumentar el tiempo y la cantidad de aire consumido.

En el pilotaje negativo la longitud de la tubería no debe exceder los tres metros, en este tipo de pilotaje se debe tener especial cuidado con las fugas, ya que pueden activar el mecanismo.

Figura 34. Ejemplos de accionamientos musculares.

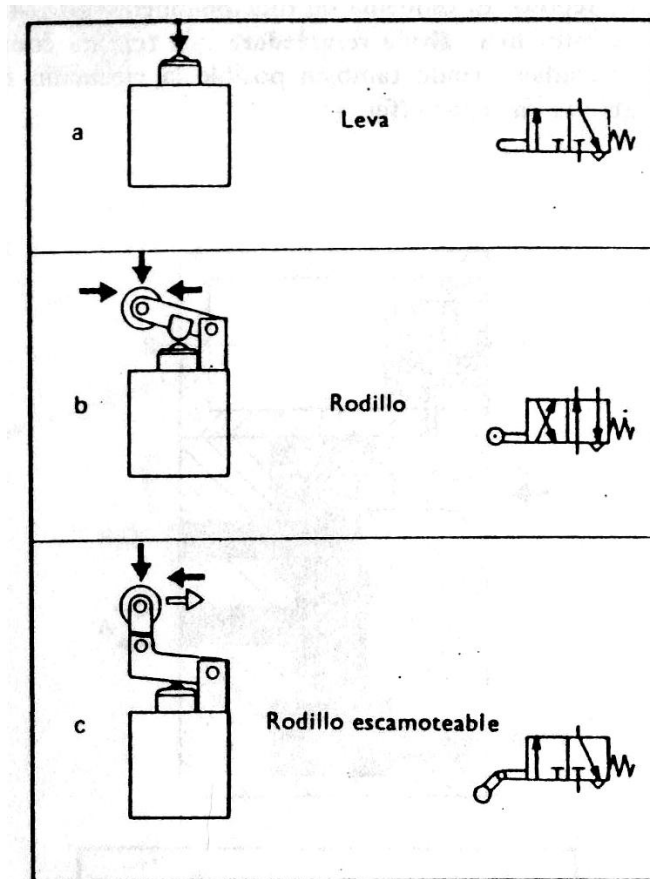


Fuente: Ibíd.

- **Accionamiento eléctrico:** En este tipo de pilotaje la longitud de la línea de mando es independiente de la eficiencia del sistema (cientos de metros). Los tiempos de mandos son muy cortos.

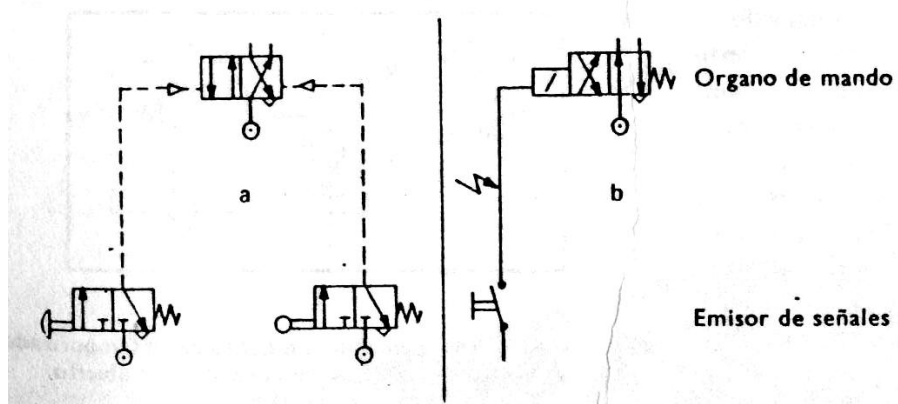
Debido a que la inversión de la válvula se efectúa mediante electro-imán se las llama también “electro-válvulas” o “válvulas magnéticas”.

Figura 35. Ejemplos de accionamientos mecánicos.



Fuente: Ibíd., pág 42.

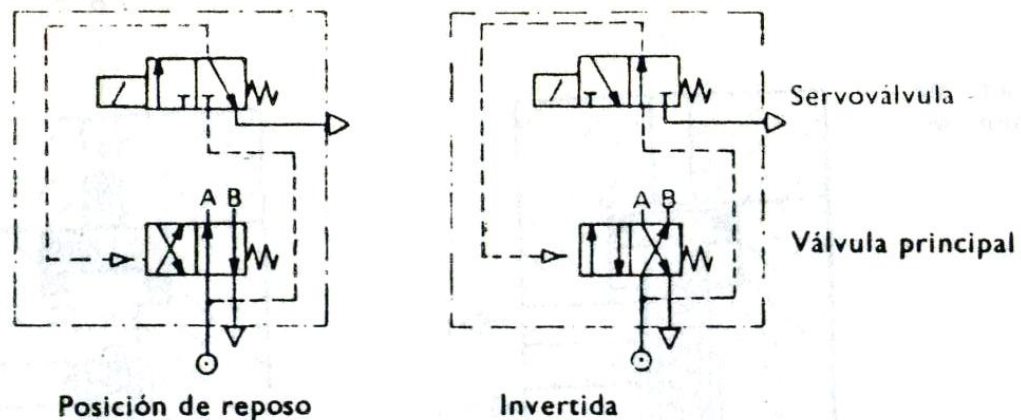
Figura 36. Accionamiento a distancia, neumático y eléctrico, de válvulas distribuidoras.



Fuente: Ibíd.

La válvula de mando previo, también llamada válvula “servo pilotada”, está formada por dos válvulas montadas de tal forma que se comportan como una sola unidad. La primera sirve exclusivamente para la inversión de la segunda, que es la válvula principal.

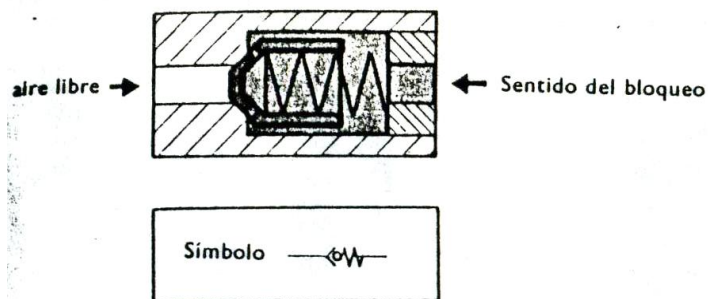
Figura 37. Electroválvula 4/2 servo pilotada.



Fuente: Ibíd., pág 44.

Las válvulas de bloqueo son aquellas que impiden el paso de aire en un sentido y lo dejan libre en el otro, también se la conoce como “válvulas de anti retorno”. La más sencilla es la “válvula de retención” que bloquea por completo el paso de aire en un sentido y deja libre el paso en el otro con la pérdida de presión más pequeña posible (la fuerza vence el resorte y tapa una vía).

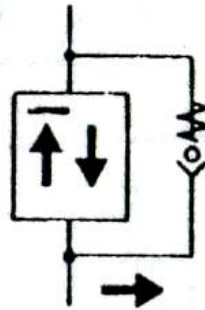
Figura 38. Esquema de funcionamiento de una válvula anti retorno.



Fuente: Ibíd.

El bloqueo puede levantarse por medios mecánicos.

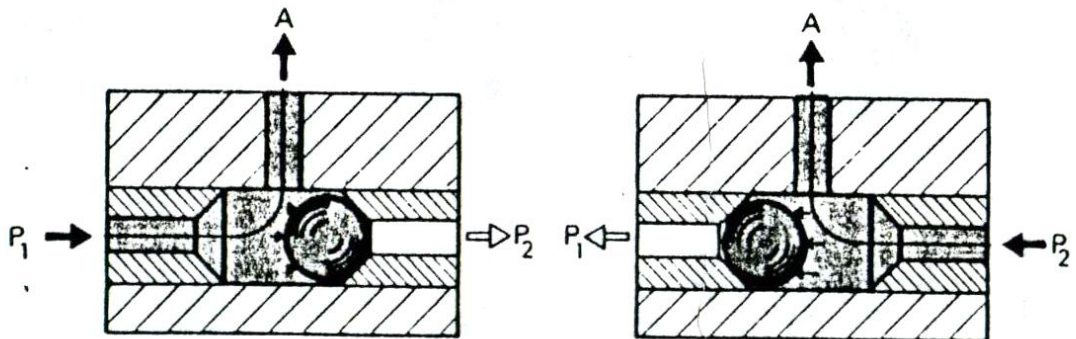
Figura 39. Empleo de una válvula anti retorno para puentear un aparato en un sentido de circulación.



Fuente: Ibíd.

La válvula selectora, también conocida como “válvula de doble mando” o de “doble retención”, tiene dos entradas y una salida. El bloqueo actúa siempre sobre la entrada purgada.

Figura 40. Funcionamiento de una válvula selectora.

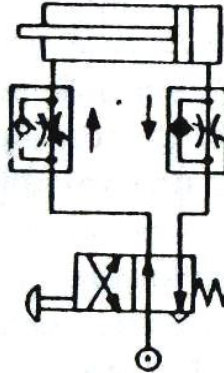


Fuente: Ibíd.

La válvula estranguladora, también llamada “válvula de retención” o “válvula reguladora de velocidad”, regula el flujo de aire circulante y sólo actúa en un sentido de circulación, siendo libre el paso en el sentido opuesto.

En regulación de velocidad de los cilindros de aire con válvula reguladora, se distingue entre regulación de entrada y regulación de salida.

Figura 41. Esquema estrangulación de alimentación.



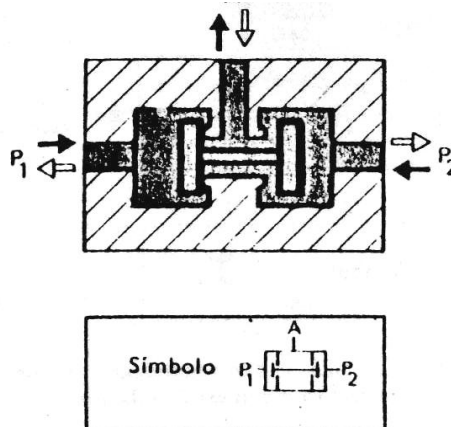
Fuente: Ibíd. pág 50.

- **Estrangulación de entrada:** En este caso el aire es estrangulado hacia el cilindro y el aire de salida puede circular libremente a través de la válvula de retención. Regula la velocidad de entrada del émbolo.
- **Estrangulación de salida:** El aire circula libremente hacia el cilindro, pero el aire de salida es estrangulado.

La válvula de simultaneidad se utiliza en circuitos de control. Esta válvula posee dos entradas P_1 y P_2 , y una salida A. La señal de salida sólo está presente si le están las dos señales de entrada. Figura 38 pág 49).

La válvula de presión Influye sobre la presión de aire comprimido en circulación.

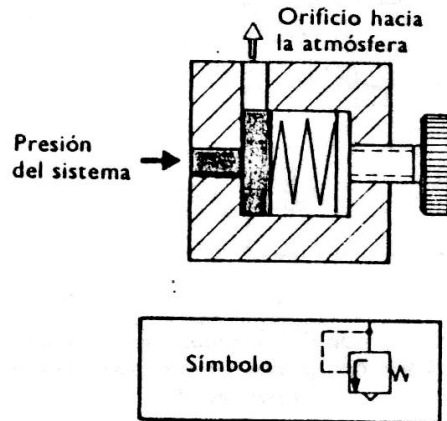
Figura 42. Funcionamiento de una válvula de simultaneidad.



Fuente: Ibíd.

- **Válvula limitadora de presión:** Impide la elevación de la presión máxima admisible en un sistema. Es un componente que generalmente se usa en equipos productores de aire comprimido.

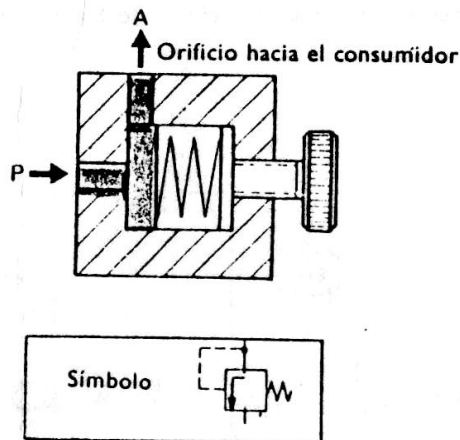
Figura 43. Funcionamiento de una válvula de presión.



Fuente: Ibíd.

- **Válvula de secuencia:** Es similar a la válvula limitadora de presión, diferenciándose únicamente en la aplicación. La salida A permanece bloqueada hasta que se alcanza una presión preseleccionada. Es utilizada para garantizar una presión mínima determinada para el funcionamiento y evitar el proceso de maniobra a una presión inferior.

Figura 44. Funcionamiento de una válvula de secuencia.

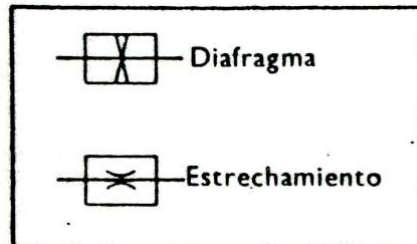


Fuente: Ibíd.

- **Válvulas de flujo:** Actúa sobre el caudal o flujo de aire y son llamadas "válvulas de estrangulación". Estas válvulas pueden tener estrechamientos

fijos o regulables, la posibilidad de ajuste viene indicada por medio de una flecha y es efectiva en los dos sentidos de circulación de aire.

Figura 45. Estrangulación constante en una línea.



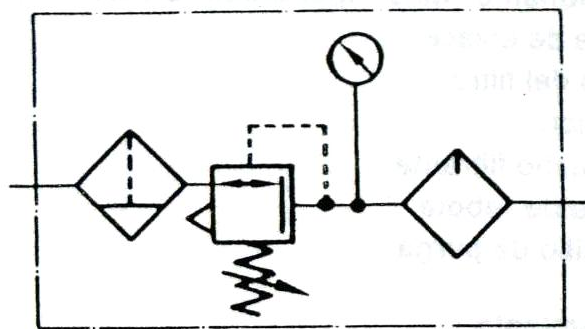
Fuente: Ibíd.

La unidad de mantenimiento y control, tiene como objetivo es preparar el aire antes de su utilización. El aire debe ser depurado y de él se debe extraer el agua. Un filtro con separador de agua es el encargado de esta última función.

La presión de aire puede ajustarse a un valor determinado y constante, ejercicio que se hace mediante una válvula reguladora de presión que se encuentra en esta unidad. Finalmente, enriquece el aire con una fina niebla de aceite para lubricar las guías de los elementos de mando y de trabajo.

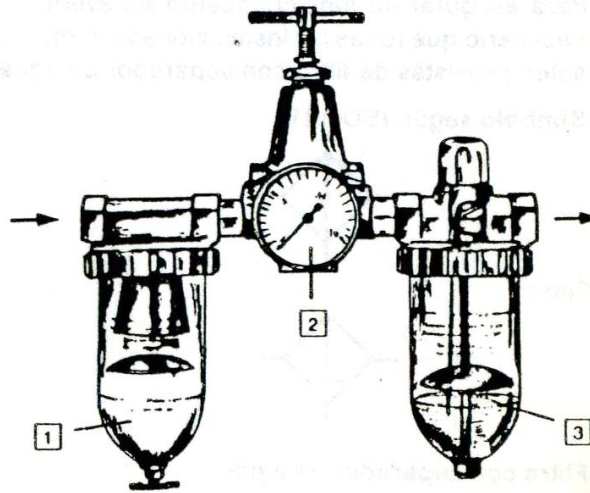
Algunos fabricantes disponen la válvula reguladora sobre el filtro, formando una sola unidad.

Figura 46. Unidad de mantenimiento y control.



Fuente: GÄGNER, ROLF. Curso de neumática para la formación profesional, Manual de Estudio, 1ª Edición, FESTO DIDACTIC, 1978. Pag 25.

Figura 47. Unidad física de mantenimiento y control.



Fuente: Ibíd.

Para la Figura 47, el aire es depurado en el filtro (1) y atraviesa la válvula de presión (2) donde la presión es regulada a un valor constante. El valor ajustable puede leerse en el manómetro de la unidad (para permitir un funcionamiento uniforme, la presión se ajusta ligeramente por debajo de la presión mínima de la red).

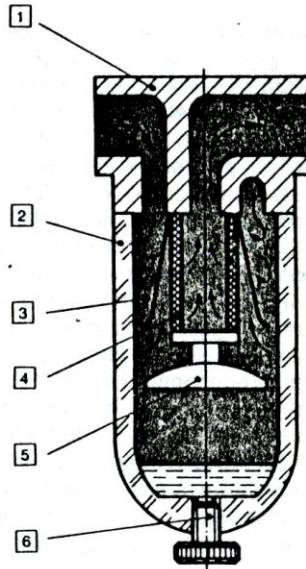
El lubricador (3) proporciona al aire en circulación una fina capa de lubricante (no se debe exagerar en la lubricación para evitar obstrucciones).

Para algunos procedimientos especiales es necesario que el aire se encuentre exento de lubricante.

Esta unidad se encuentra, por lo general, a la entrada de toda instalación neumática.

Un filtro de aire con separador de agua tiene como objetivo extraer el agua del aire para luego evacuarla.

Figura 48. Filtro de aire con separador de agua.



Fuente: Ibíd.

El aire comprimido penetra el filtro a través de unos orificios, luego es puesto en rotación por el deflector (3), esto hace que el condensado se pegue a las paredes del vaso (2). Todo el condensado y el mugre escurren al fondo del vaso, luego el aire atraviesa el cartucho filtrante (4) donde se eliminan las partículas más pequeñas. Este cartucho debe lavarse o sustituirse periódicamente.

El nivel máximo de agua de condensación está indicado en el vaso mediante una señal de nivel, la cual no debe sobrepasarse.

Un manómetro es el dispositivo utilizado para medir la presión de aire en las instalaciones neumáticas.

El manómetro consta esencialmente de los siguientes componentes (Figura 49, pág 56):

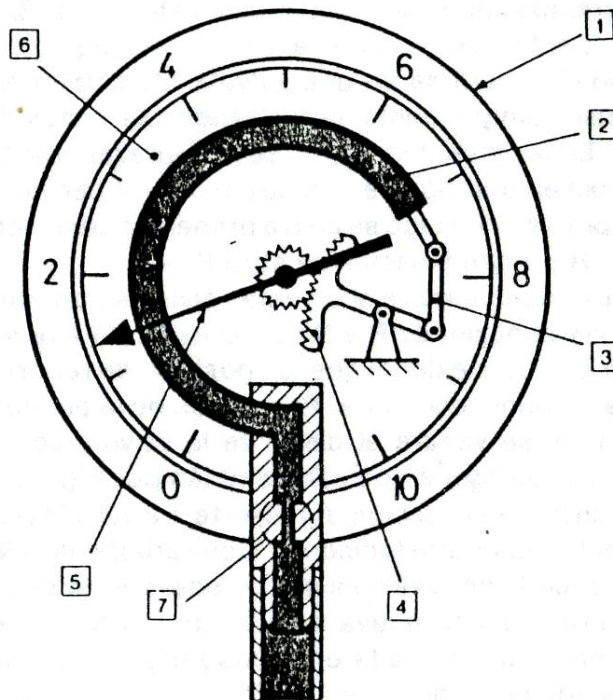
1. Cuerpo.
2. Muelle tubular o tubo de Bourdon.
3. Palanca.
4. Aguja.
5. Escala.

Este contiene un muelle tubular que es movido por la presión de aire. El recorrido producido por la presión es trasladado a un piñón, el cual conecta a una aguja, que muestra la escala de la presión.

El manómetro posee un orificio de estrangulación, que sirve como amortiguador de los impulsos de presión.

El manómetro es usado en todas las instalaciones y conductos en los que haya que determinar y controlar la presión.

Figura 49. Detalle manómetro.



Fuente: Ibíd.

2.1.6. Controlador lógico programable PLC. A mediados de los años 60's los sistemas de control, mayormente, se basaban en "Relés" (relevos o relays). Debido a la necesidad de bajar los costos y aumentar la vida útil de los sistemas de control, algunas empresas desarrollaron soluciones, como la BEDFORD ASSOCIATES (BEDFORD, MA), que desarrollo un sistema modular de control llamado "Modular Digital Controller" o MODICON, que iba dirigido al sector automotriz en los Estados Unidos. El MODICON 084, fue uno de los primeros PLC producidos comercialmente y fue instalado en la línea de producción de la división HYDRAMATIC de la General Motors, para reemplazar los sistemas inflexibles usados hasta entonces.

Para 1971 los PLCs se extendían a otras industrias. A mediados de los 70's los PLCs con procesadores AMD eran muy populares. La habilidad de comunicación entre PLCs apareció aproximadamente en el año de 1973. El primer sistema que lo hacía era el MODBUS de Modicon. Los PLCs podían estar alejados de la maquinaria que controlaban, pero la falta de estándares hizo que esta comunicación se tornara difícil.

Para los ochentas, se hacen posibles las operaciones a 16 bits. Se intento, también, la estandarización de la comunicación entre PLCs con el PROTOCOLO DE AUTOMATIZACIÓN DE MANUFACTURA de la General Motors (MAP). El tamaño se redujo y su programación se podía hacer mediante el uso de computadoras personales, reemplazando las consolas especializadas.

Para inicios de los noventas, aparecieron los microprocesadores de 32 bits con la posibilidad de realizar operaciones matemáticas complejas y de comunicaciones entre PLCs de diferentes marcas o con computadoras. Se introdujeron nuevos protocolos y se mejoraron algunos de las anteriores. Se estandarizo los sistemas de programación de tal forma que los PLCs se programan por medio de diagramas de bloques, listas de instrucciones, lenguaje C, entre otros, al mismo tiempo.

El PLC traduce del Ingles, "Controlador Lógico Programable" (PLC, *programmable Logic Controller*) o también llamado "Autómata Programable". Es un sistema de control industrial automático que trabaja bajo una secuencia almacenada de memoria, de instrucciones lógicas. Es decir es un aparato electrónico programable por un usuario y destinado a gobernar, dentro de un entorno industrial, máquinas o procesos lógicos secuenciales. El autómata programable satisface las exigencias de procesos continuos como discontinuos. Regula presiones, temperaturas, niveles y caudales, así como funciones asociadas de temporización, cadencia, conteo y lógica. Incluyen una tarjeta adicional de comunicaciones, transformándolo en un poderoso satélite dentro de una red de control distribuida.

De acuerdo a la definición de NEMA (National Electrical Manufacturers Association), un controlador programable es: "Un aparato eléctrico operado digitalmente, que usa una memoria programable para el almacenamiento interno de instrucciones para implementar funciones específicas, tales como lógica, secuenciación, registro y control de tiempos, conteo y operaciones aritméticas para controlar, a través de módulos de entrada y salida (I/O) digitales (On/Off) o analógicos (VDC, mA, etc), varios tipos de máquinas o procesos".

Los PLC son similares a las computadoras, pero tienen características especiales específicas, que los hacen únicos:

- Resisten vibraciones, temperaturas, humedad y ruido.
- Incluida dentro del controlador está la interfaz de entrada y salida (I/O, canales de entrada y salida).

- De fácil programación. La programación está basada en operaciones lógicas y de conmutación.

Su campo de acción se amplía constantemente debido a la evolución en su hardware y software. Todo para satisfacer necesidades reales.

Su aplicación abarca desde procesos de fabricación industrial hasta cualquier tipo de procesos de transformación y control de instalaciones. Su reducida dimensión y facilidad de montaje, la posibilidad de almacenar sus programas para su posterior utilización, la modificación o alteración de los mismos, etc., hace que su eficacia se aprecie en procesos que reúnen algunas de las siguientes características:

- Espacio reducido.
- Procesos de producción cambiantes periódicamente.
- Procesos secuenciales.
- Maquinaria de procesos variables.
- Instalación de procesos complejos y amplios.
- Chequeo de programación.

Algunas de las aplicaciones generales son:

- Maniobra de máquinas.
- Maquinaria industrial de plásticos.
- Máquinas transfer.
- Maquinaria de embalaje.
- Maniobra de instalaciones.
- Instalaciones de aire acondicionado o calefacción.
- Instalaciones seguras o de seguridad.
- Señalización y control del estado de procesos.

Las ventajas del PLC son:

- Menor tiempo empleado en la elaboración de proyectos debido a que no es necesario dibujar el esquema de contactos, no es necesario simplificar las ecuaciones lógicas (la capacidad de memoria es grande) y reduce la lista de materiales.

- Existe la posibilidad de modificaciones sin cambiar el cableado o añadir dispositivos.
- Ocupa un espacio mínimo y por ende menor costo en mano de obra para la instalación.
- Mantenimiento económico.
- Fiabilidad del sistema al eliminar contactos móviles, los mismos autómatas pueden detectar o indicar averías.
- Tienen la posibilidad de controlar varias máquinas con un mismo autómata.
- Menor tiempo para la puesta en marcha de un proceso.
- Si la máquina o dispositivo controlado se avería, es posible utilizar el autómata con otra máquina o dispositivo similar.

Las desventajas del PLC son:

- Adiestramiento de personal para el uso del autómata programable.
- El costo, que depende de las características del mismo.

2.1.6.1. Funciones del PLC.

- **Detección:** Lee señales de captadores distribuidos por el sistema de fabricación.
- **Mando:** Elabora y envía acciones al sistema mediante accionadores.
- **Diálogo hombre máquina:** Mantiene dialogo con los operarios de producción, obedeciendo sus consignas e informando del estado de un proceso.
- **Programación:** Permite modificar el programa incluso con el autómata controlando la máquina.
- **Redes de comunicación:** Permite la comunicación e intercambio de datos entre autómatas en tiempo real.
- **Sistema de supervisión:** Los autómatas permiten comunicarse con ordenadores provistos de programas de supervisión industrial. Esta comunicación se puede hacer por medio de red industrial o directamente por puerto serial.
- **Control de procesos continuos:** Los autómatas disponen de módulos de entrada y salida analógicas, y la posibilidad de ejecutar reguladores PID, que

están pre-programados en el autómata, lo cual le permite el control de procesos continuos.

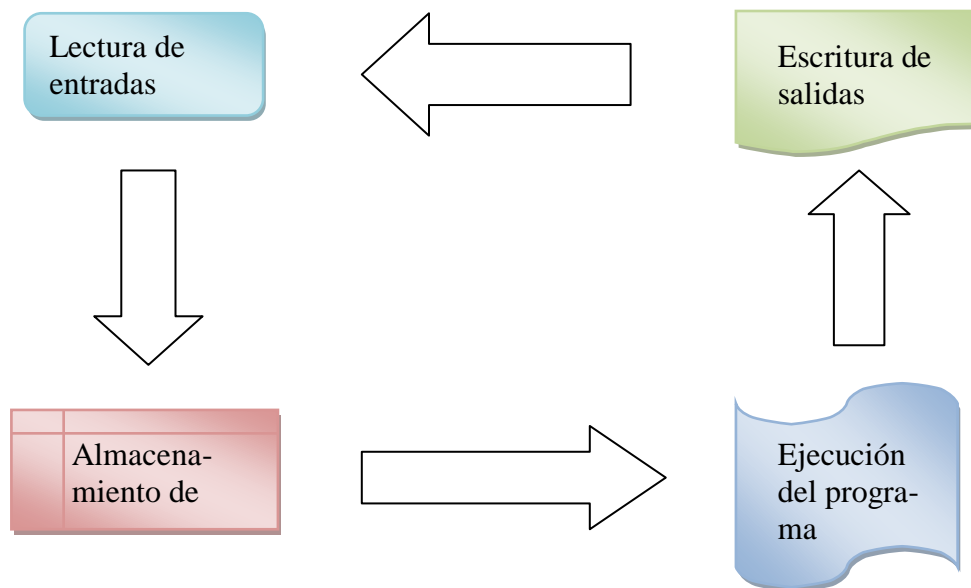
- Entradas – salidas distribuidas: Los módulos I/O pueden estar distribuidos por la instalación y se comunican con el autómata mediante cable de red.
- Buses de campo: Un solo cable sirve como autopista para comunicar captadores y accionadores, así el autómata consulta y actualiza su estado periódicamente.

El autómata programable está repitiendo constantemente un ciclo llamado SCAN, el cual consta de:

- Lee todas las entradas y almacena el estado de cada una de ellas.
- Ejecuta las operaciones del programa siguiendo el orden en que se han almacenado o siguiendo el orden que el programador a fijado.
- Escribe el resultado de las operaciones en la salida.
- Una vez escritas todas las salidas (activado/desactivado), vuelve al primer paso.

El ciclo SCAN (Figura 49) se realiza indefinidamente hasta que el conmutador se puesto en la selección STOP.

Figura 49. Ciclo SCAN.



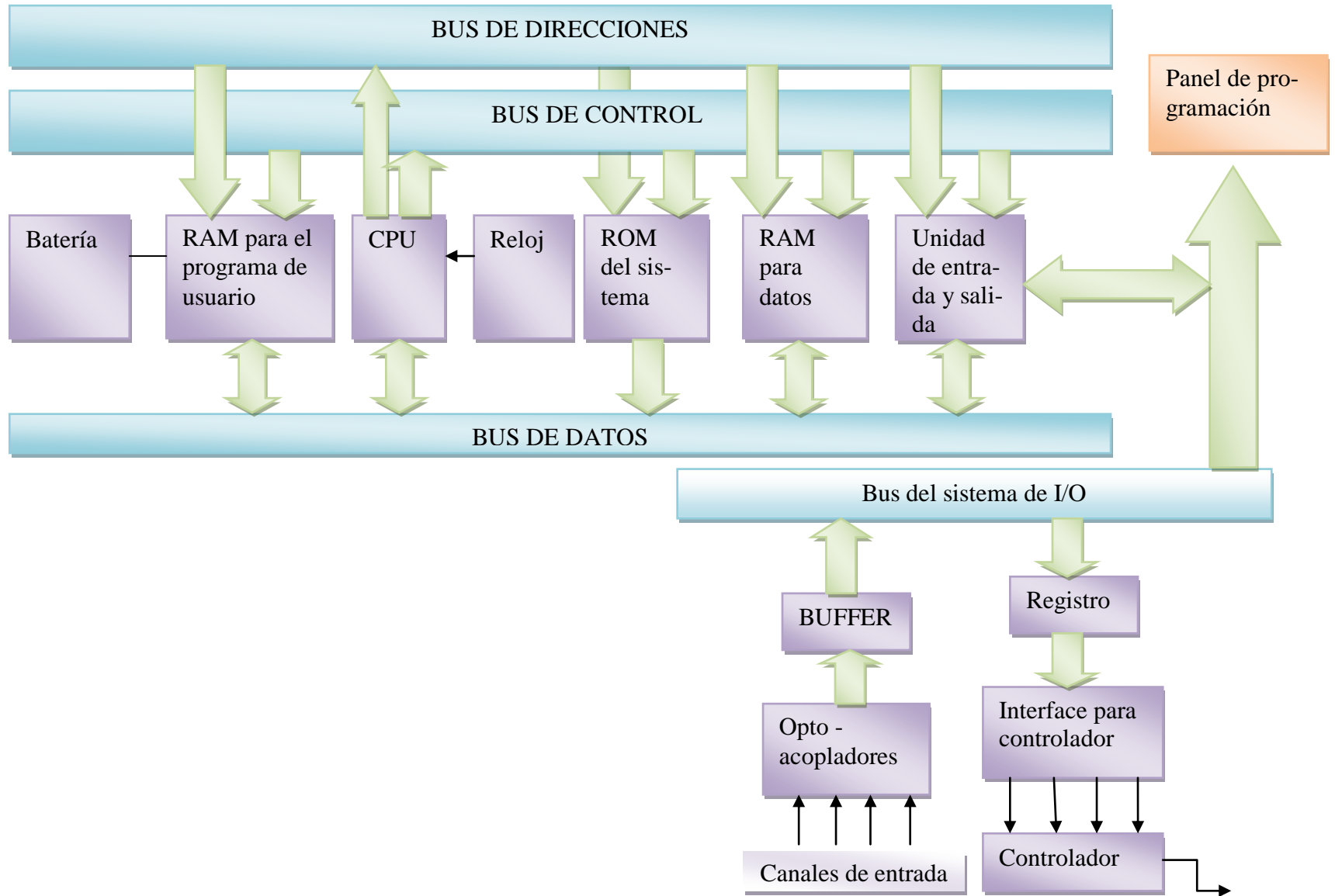
2.1.6.2. Estructura. Consiste en una unidad de procesamiento (CPU), memoria, circuitos de entrada y salida (I/O). La CPU controla y procesa todas las operaciones. Cuenta con un temporizador cuya frecuencia típica es de 1 y 8 MHz. Esta frecuencia determina la velocidad de operación, es la fuente de temporización y sincronización de todos los elementos del sistema. Un bus de datos es el encargado de llevar la información entre la CPU, la memoria y las unidades de entrada y salida (Figura 50, pág 62).

En cuanto a la estructura de los elementos de memoria, esta consta de: Una memoria ROM (memoria de solo lectura, por su traducción del inglés: Read Only Memory) para guardar en forma permanente la información del sistema operativo. Una RAM (Memoria de Acceso de lectura, cuyas siglas en inglés son: Read Access Memory) y sus funciones son: Guardar el programa del usuario y como “buffer” o memoria temporal para los canales de entrada y salida.

El usuario tiene la facultad de cambiar o modificar los programas guardados en la RAM. Para evitar la pérdida de la información, debido a interrupciones en el suministro eléctrico, el PLC usa una batería para mantener el contenido de la RAM. Una vez elaborado el programa y guardado en la memoria RAM, se puede cargar en un chip de memoria EPROM (Memoria ROM Borrable Programable, del inglés: Erasable Programmable Read Only Memory) para que quede guardado permanentemente.

Por lo general los PLCs indican en sus especificaciones la capacidad de memoria en función de pasos de programa que es posible guardar (un paso de programa es la instrucción para que ocurra cierto evento). Un PLC pequeño está en la capacidad de manejar de 300 a 1000 pasos.

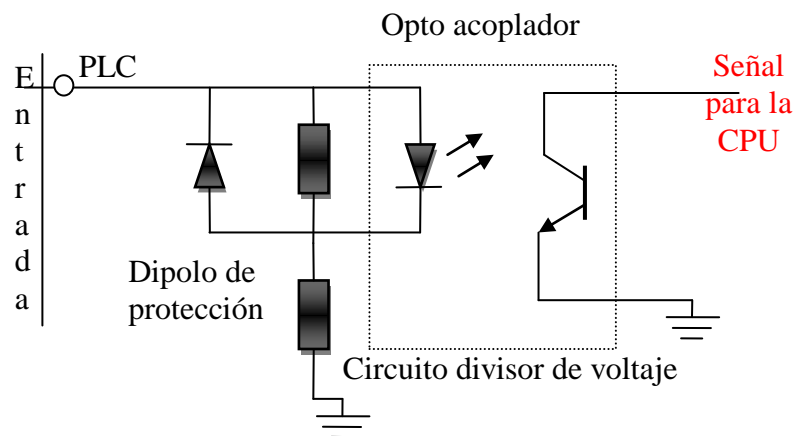
Figura 50. Arquitectura de un PLC.



La interface que comunica el sistema con el mundo externo se llama “Unidad de entrada y salida”. Para la introducción de programas en la unidad se usa un tablero que es un pequeño teclado con pantalla de cristal líquido, o los que usan unidades de presentación visual (VDU, Visual Display Unit) con teclado y pantalla. También es posible introducir programas por medio de un enlace con una computadora personal que se carga con un software apropiado.

Los canales I/O proporcionan condiciones ideales para la conexión directa de sensores y actuadores, sin necesidad de circuitos de protección o aislación. Los voltajes de entrada por lo general son de 5 y 24 Volts.

Figura 51. Diagrama canal de entrada.



Fuente: Mechatronics, electronics control sistem in mechanical and electrical engineering.

Los voltajes comunes de salida son 24 y 240 Volts. Las salidas por lo general son tipo relevador (Figura 52, pág 64), tipo transistor o tipo “triac” (tríodo para corriente alterna).

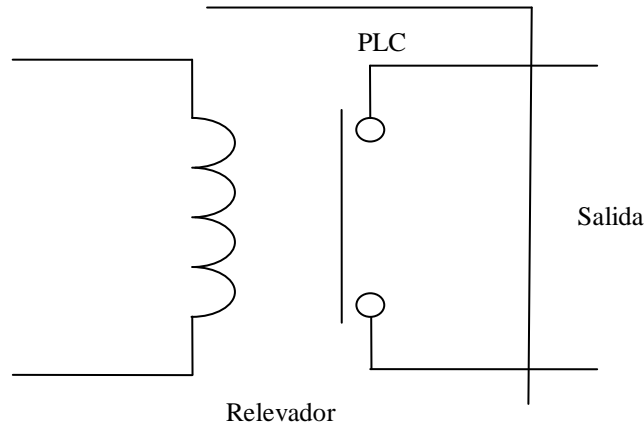
En el tipo relevador la señal de salida del PLC se utiliza para operar un relevador, por lo que es capaz de conmutar unos pocos amperes en un circuito externo. Además el relevador aísla al PLC del circuito externo y es empleado para conmutación en corriente continua y en corriente alterna. La desventaja es que funcionan con alguna lentitud.

En el tipo transistor, conmuta corriente a través de un circuito externo, el cual realiza la conmutación con mayor rapidez.

Los optoaisladores se usan con conmutadores de transistor para lograr un aislamiento entre los circuitos externos y el PLC.

Las salidas tipo triac se usan para controlar cargas externas que se conectan a la fuente de alimentación de corriente alterna. En este caso, también se emplean optoaisladores.

Figura 52. Salida tipo relevador.



Existen dos métodos para el procesamiento de entradas y salidas:

- **Por Actualización Continua.** La CPU explora los canales de entrada de acuerdo a la secuencia del programa. Cada punto de entrada se revisa por separado y se determina su efecto en el programa. Existe un retardo inherente, por lo general de unos 3 ms. Este retardo evita que el microprocesador cometa el error de contar una señal de entrada dos veces o más, si hay rebotes de los contactos en el interruptor. Las salidas quedan retenidas de manera que su estado se mantiene hasta la siguiente actualización.
- **Copiado Masivo De Entradas Y Salidas.** Debido al retardo producido por la actualización continua, el tiempo total para revisar cientos de puntos de entrada y salida puede ser comparativamente largo. Para que el programa se ejecute más rápido, un área específica de la RAM se utiliza como memoria intermedia o Buffer entre la unidad lógica de control y la unidad I/O. Cada entrada/salida tiene una dirección en esta memoria. Al inicio de cada ciclo de programa, la CPU muestrea todas las entradas y copia sus estados en las direcciones de I/O de la RAM. Conforme se ejecuta el programa, se leen los datos de entrada guardados en la RAM, según se requiera y se ejecutan las operaciones lógicas. Las señales de salida producidas se guardan en la sección reservada para I/O en la RAM. Al término de un ciclo de programa, las señales se envían de la RAM a los canales de salida: Las salidas quedan retenidas para que conserven su estado hasta la siguiente actualización.

2.1.6.3. Programación. Los lenguajes de programación de los diferentes PLCs permiten utilizar las funciones de automatización que luego serán ejecutadas por los mismos. Estas funciones empleadas constituyen el programa de usuario, en el que se encuentran las instrucciones precisas de cómo debe actuar el PLC. Existen tres lenguajes o formas de representación de programación básicas para PLCs:

- **Lista De Instrucciones (AWL):** Representa el programa de usuario como una sucesión de abreviaturas de instrucciones. Es un lenguaje de programación textual orientado a la máquina. En este se incluye una lista de instrucciones que se ejecutan secuencialmente dentro de un ciclo. Una de las principales ventajas es que cualquier programa creado en otro lenguaje puede ser editado por AWL, no a la inversa.
- **Diagrama Escalera O “Ladder”:** También conocido como KOP o “Esquema de Contactos”, las instrucciones son representada por símbolos de contactos eléctricos. Este lenguaje posee dos líneas verticales que representan las líneas de alimentación. Los circuitos se disponen en forma horizontal, es decir como escalones de una escalera y se sujetan a las dos líneas verticales. Los procesos se programan de forma secuencial, de arriba abajo y de izquierda a derecha. Las entradas siempre preceden a las salidas y debe haber por lo menos una salida por cada línea o escalón. Los escalones pueden empezar con varias entradas y terminar con una salida.

Las entradas y salidas están numeradas y la notación utilizada depende del fabricante del PLC. Por ejemplo para los PLCs Mitsubishi, antes de cada elemento de entrada encontraremos una X y antes de un elemento de salida una Y. Los símbolos estándar básicos son:

Figura 53. Ejemplo de escalones en un diagrama escalera.

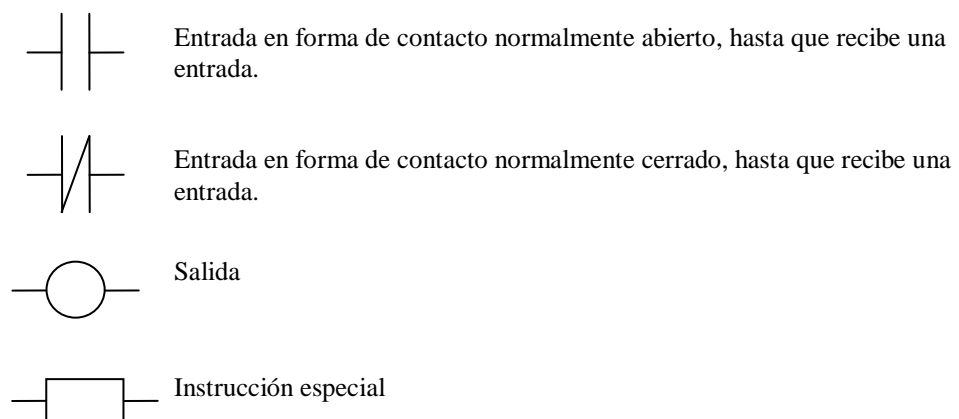
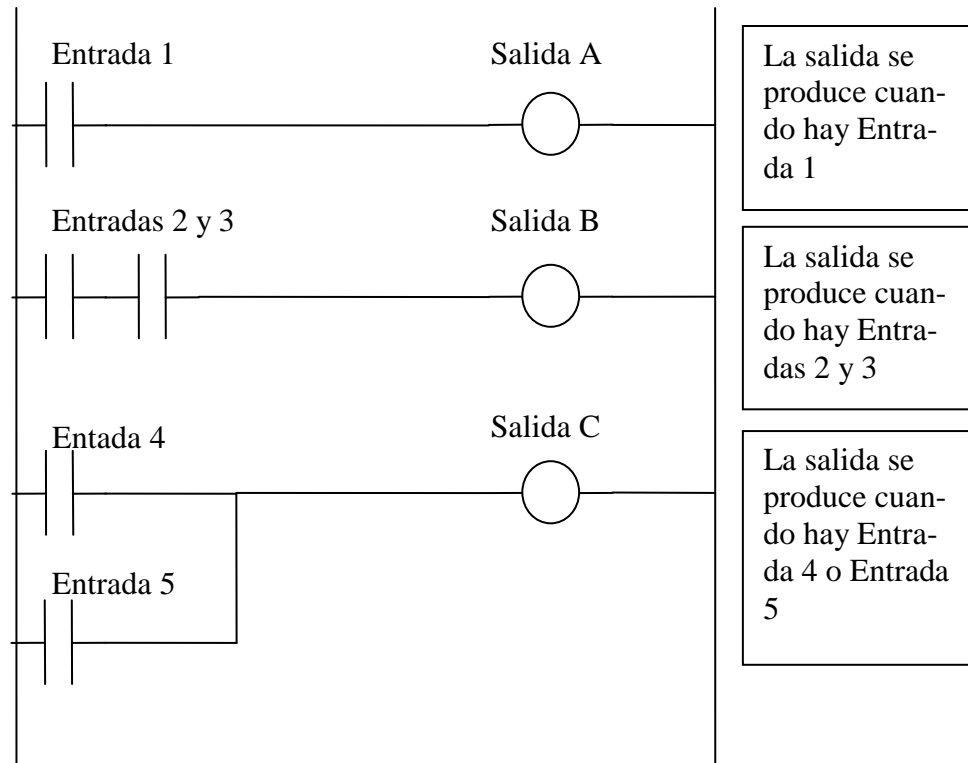


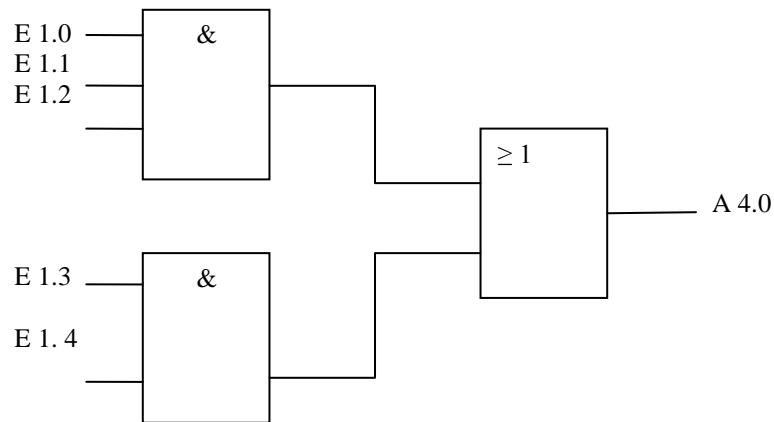
Figura 54. (Continuación).



Para producir estos programas se pueden utilizar teclados especiales, o seleccionarlos de la pantalla de un PC usando el ratón. Una vez introducidos, el PLC traduce estos programas a lenguaje de máquina para que el micro procesador y sus elementos respectivos puedan utilizarlos.

- **Esquema de funciones (FUP):** Es un lenguaje de programación gráfico que utiliza los cuadros de álgebra booleana para representar la lógica. En este sistema de programación se utilizan símbolos normalizados para representar las operaciones.

Figura 55. Ejemplo esquema de funciones (FUP). Se aprecian a la entrada dos compuertas AND y una OR a la salida.



Una vez ingresado el programa, el PLC lo traduce a lenguaje de máquina para ser utilizado. En el ejemplo anterior se pueden apreciar a la entrada dos compuertas AND y una OR a la salida.

Las funciones lógicas de un PLC se pueden representar por medio de arreglos de interruptores para el lenguaje de programación Ladder o escalera.

- **AND:** Dos interruptores A y B, en general abiertos, no energizan una bobina (salida), a menos que se mantengan cerrados los dos.
- **OR:** Una bobina no se energiza si algunos de los dos interruptores A y B, normalmente abiertos, se cierra.
- **NOR:** Existe una salida cuando ni A, ni B tengan entradas.
- **NAND:** No hay salida en tanto A y B tengan una entrada.
- **XOR:** Las entradas están representadas por dos juegos de contactos, uno normalmente abierto y el otro normalmente cerrado.

Figura 56. Sistema AND.

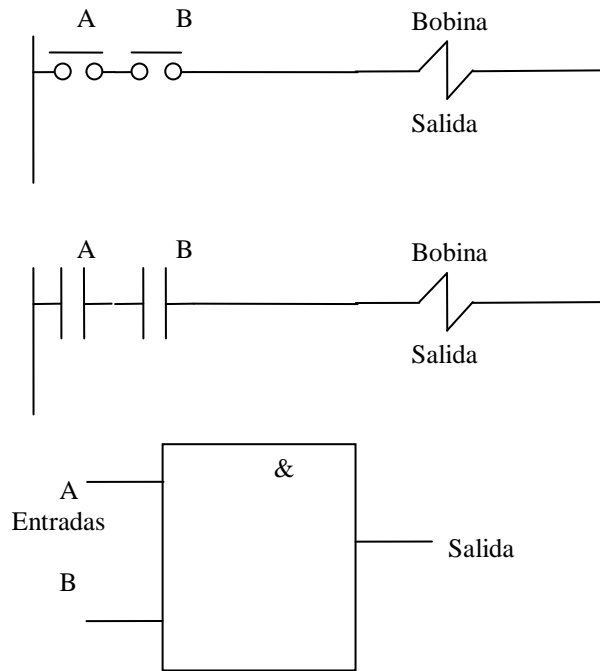


Figura 57. Sistema OR.

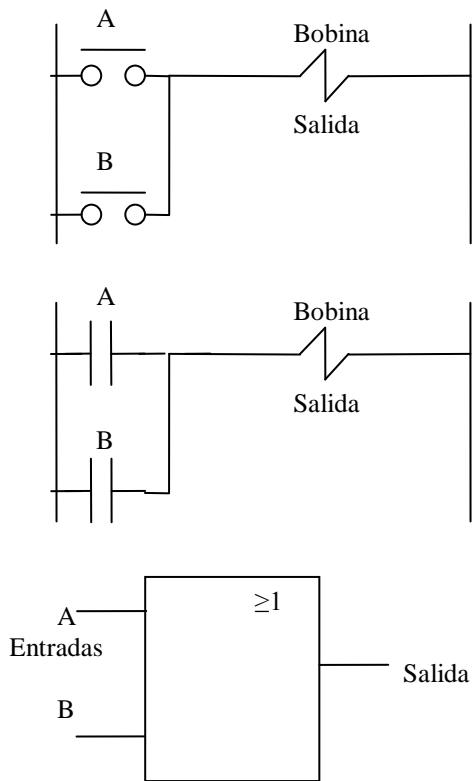


Figura 58. Sistema NOR.

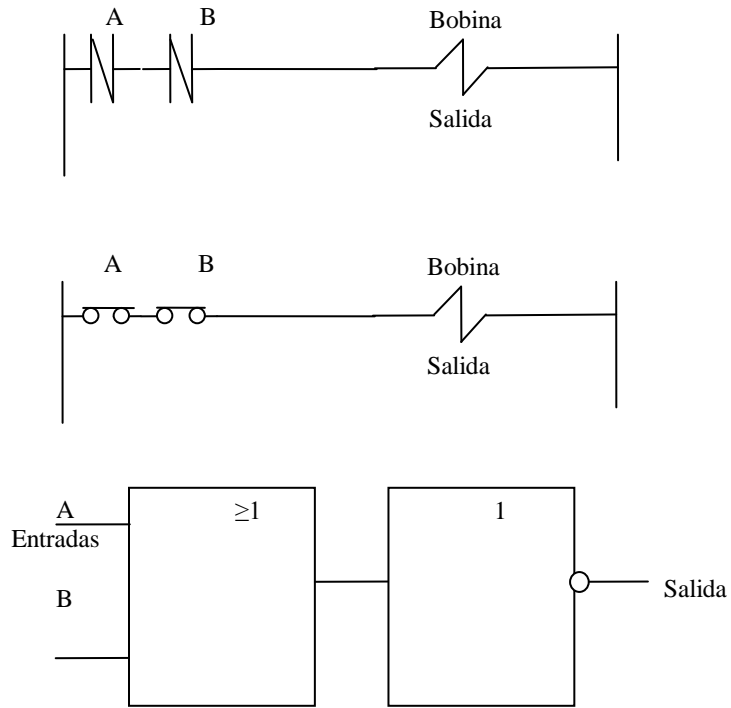


Figura 59. Sistema NAND.

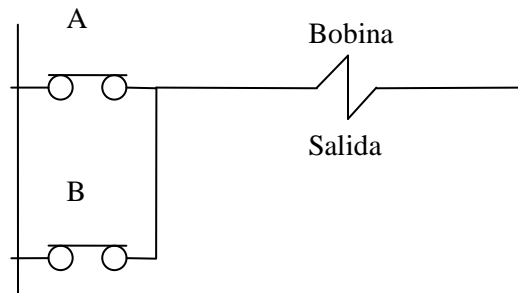


Figura 60. Sistema NAND.

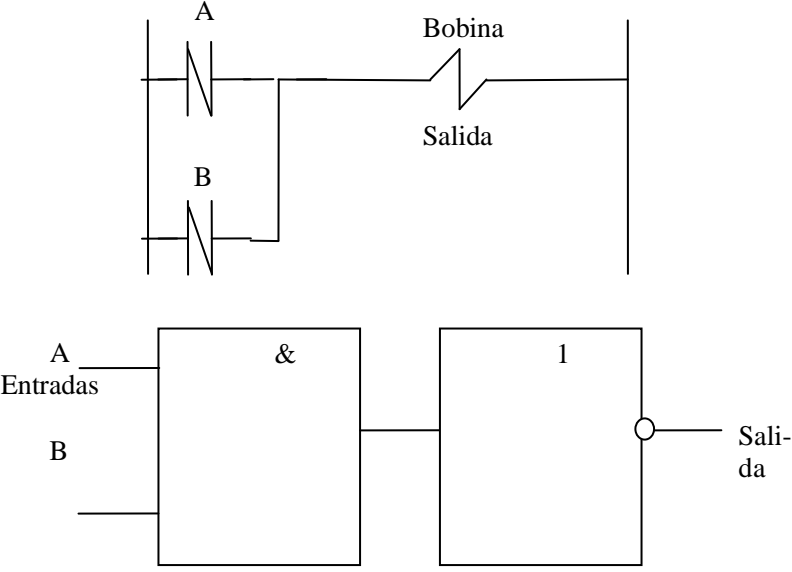


Figura 61. Sistema XOR.

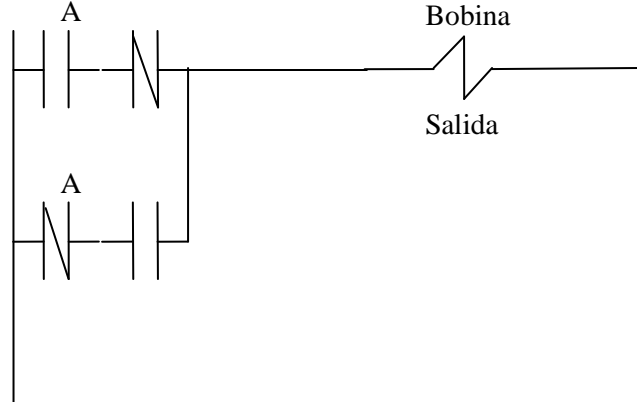
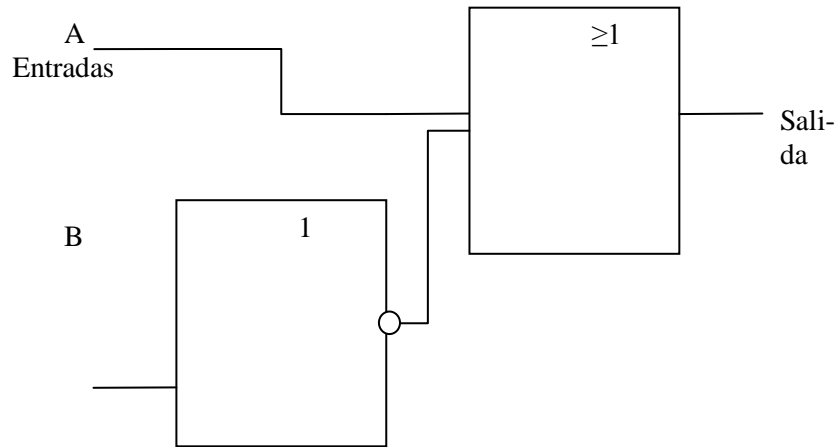


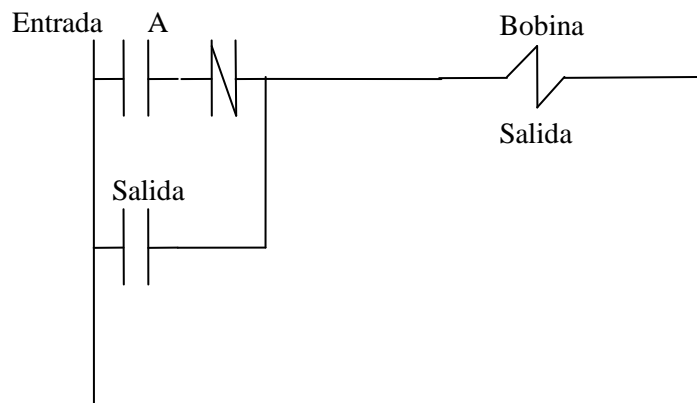
Figura 61. Sistema XOR.



Existen situaciones en las cuales es necesario mantener energizada una bobina, aún cuando ya no exista la entrada que proporciona la energía. Para lograrlo se utiliza lo que se conoce como “circuito de enclavamiento”. Una vez energizado mantiene ese estado hasta que recibe otra señal de entrada (recuerda su último estado).

En la Figura 62 se ve el ejemplo de un circuito de enclavamiento. Aún cuando el contacto de la entrada A se abra el circuito mantendrá energizada la salida. La única manera de liberar la salida es accionando el contacto de la entrada B el cual en general está cerrado.

Figura 62. Circuito de enclavamiento.



A menudo se presentan dos situaciones de control que requieren secuencias de salida, con la conmutación de una a otra salida controlada por sensores (secuenciación). Por ejemplo si se requiere una secuencia de activación para dos cilindros, así: A+, B+, A- y B-.

Figura 63. Puesta en secuencia de un pistón.

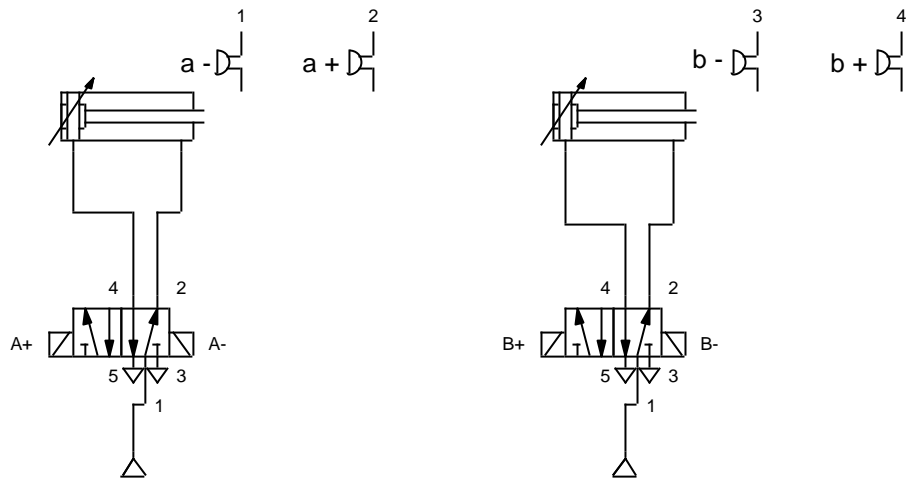
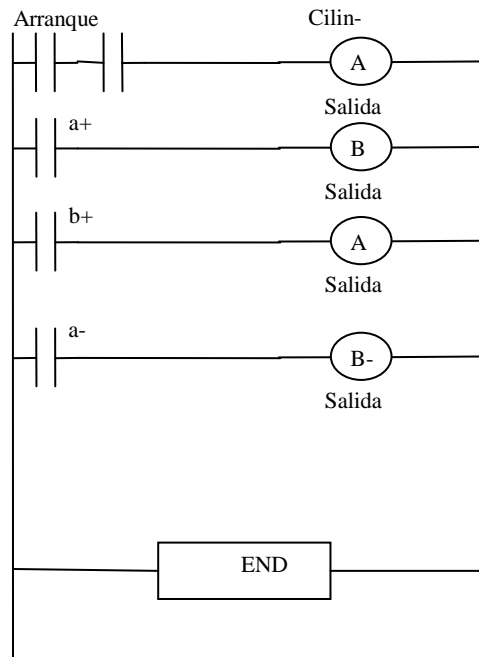


Figura 64. Puesta en secuencia de un pistón.



En la Figura 64, pág 72, se puede ver el programa de control para dos cilindros neumáticos biestables A y B, mediante válvulas de doble solenoide, en este caso se usan los sensores de fin de carrera, a+, a-, b+, b-, para detectar los límites del vástago de los pistones. Se requiere una secuencia de activación de los cilindros correspondiente a: A+, B+, A-, B-.

2.1.6.4. Mnemónicos. Cuando cada uno de los escalones de un programa en escalera constituye un programa completo se le llama “Mnemónicos”.

Para introducir el programa en el PLC, el programador usa un teclado con los símbolos gráficos de los elementos o selecciona los símbolos de la pantalla de una computadora.

Otra manera de introducir un programa es traducirlo de escalera en instrucciones “mnemónicas”, donde cada línea de código corresponde a un elemento de la escalera; después estos se introducen en el panel de programación o computadora y se traducen en lenguaje de máquina. Los Mnemónicos difieren de un fabricante a otro. Algunos mnemónicos para PLCs Mitsubishi de la serie F, se presentan a continuación:

LD: Iniciar un escalón con un contacto normalmente abierto.

OUT: Una salida.

AND: Un elemento en serie y por lo tanto, una instrucción lógica AND.

OR: Elementos en paralelo y por lo tanto una instrucción lógica OR.

| : Instrucción lógica NOT.

...]: Se emplea junto con otras instrucciones para indicar lo inverso de éstas.

ORI: Una función lógica OR NOT.

ANI: Una función lógica AND NOT.

LDI: Inicia un escalón con un contacto normalmente cerrado.

ANB: AND utilizado con dos subcircuitos.

ORB: OR utilizado con dos subcircuitos.

RST: Restablecimiento de de registro de corrimiento/contador.

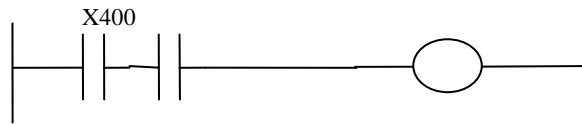
SHT: Corrimiento.

K: Insertar una constante.

END: Fin de la escalera.

Ejemplo:

Figura 65. Sistema AND.



Paso	Instrucción	
0	LD	X400
1	AND	X401
2	OUT	Y430

2.1.6.5. Temporizadores, relevadores, contadores y saltos. Existen tareas en las cuales se requieren retardos y conteo de eventos. Para estos casos, pueden emplearse algunos dispositivos de los PLCs como temporizadores y contadores, los cuales se controlan mediante instrucciones lógicas y se pueden representar en diagramas de escalera.

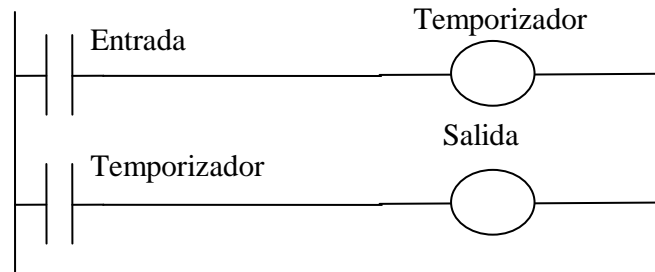
El sistema para numerar las funciones difiere entre fabricantes. Por ejemplo en la serie F de PLCs Mitsubishi, los números empleados son:

- Temporizadores: 450-457, 8 puntos, retardo a la activación de 0.1-999 seg.
- T : 550-557, 8 puntos, retardo a la activación de 0.1-999 seg.
- Marcadores : 100-107, 170-177, 200-207, 270-277.
- M : 128 puntos
- : 300-307, 370-377, respaldado por batería, 64 puntos.
- Contadores : 460-467, 8 puntos, 1-999.
- C : 560-567, 8 puntos, 1-999.

El Término “punto” se refiere a puntos de datos y es un elemento temporizador, marcador (relevador interno) o contador. Si se habla de 26 puntos en los temporizadores, significa que existen 16 circuitos de temporización. El término “retardo a la activación”, significa que un temporizador espera un periodo de retardo fijo antes de su activación. Los datos proporcionados hacen referencia a un periodo cuyo valor puede establecerse entre 0.1 y 999 segundos, con incrementos de 0.1 segundos. También existen otros valores para los intervalos y los incrementos de tiempo de retardo.

Para especificar un circuito de “temporización” se debe indicar el intervalo de temporización, así como las condiciones o eventos que producirán la activación y paro del temporizador. En general, es posible establecer un símil entre temporizadores y relevadores de bobinas, cierran o abren los contactos después de un tiempo establecido.

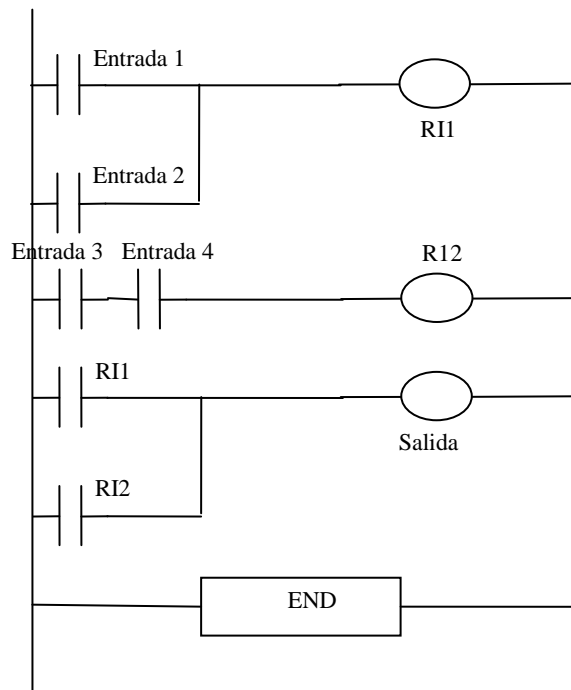
Figura 66. Parte de un programa que incluye un temporizador de retardo a la activación.



Para lograr tiempos de retardo mayores, se conectan entre sí varios temporizadores, esto se conoce como “conexión en cascada”.

Cuando se hace referencia a “relevador auxiliar, interno o marcador” (Figura 67), no son verdaderos contactos, sino simulaciones del software del PLC. Algunos tienen respaldo de baterías en el evento de un corte de energía. Los relevadores internos son útiles en la implantación de de secuencias de conmutación, en general se usan en programas con muchas condiciones de entrada (la excitación de una salida depende dos condiciones de entrada distintas). Otra aplicación de los relevadores internos es la activación de varias salidas.

Figura 67. Diagrama de escalera con relevadores internos. La excitación de la salida depende de dos condiciones de entrada distintas.

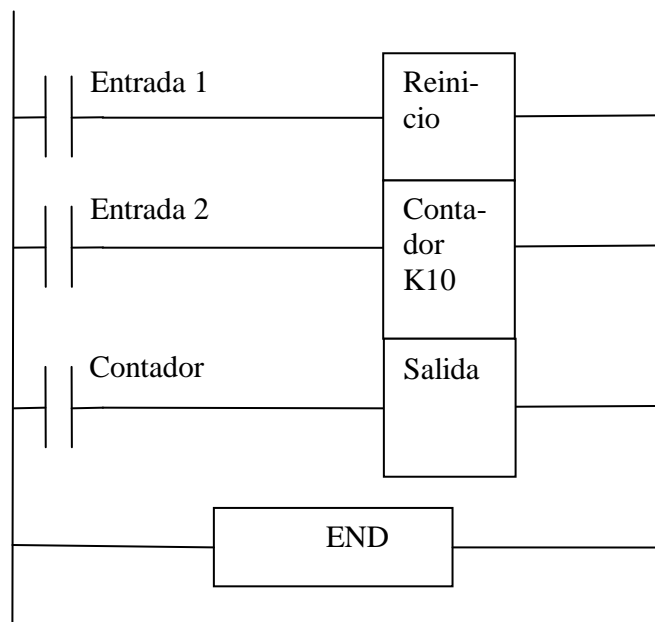


Los “contadores” (Figura 68) son usados cuando se necesita contar las veces que se acciona un contacto. Los circuitos adecuados para contar son una característica interna de los PLCs. En la mayoría de los casos, funciona como un “contador regresivo”. Los eventos se restan y cuando el contador llega a cero cambia de estado.

En un contador progresivo, el conteo aumenta hasta un valor predeterminado; es decir, los eventos se suman hasta un valor deseado.

En un diagrama de escalera el contador se representa por un rectángulo que puede abarcar varias líneas. En su interior se indica el tiempo en el cual se modificará su estado.

Figura 68. Programa básico de conteo. El K10 indica que el contacto del contador modificará su estado en el decimo pulso.



Función frecuente, la de un “salto condicional” (Figura 69, pág 77). Esa función activa instrucciones para que, si existe cierta condición, la ejecución se salte una sección del programa. En las Figuras 69 y 70 pág 77, se muestra un ejemplo de salto condicional:

Figura 69. Diagrama de flujo de un programa con “salto”.

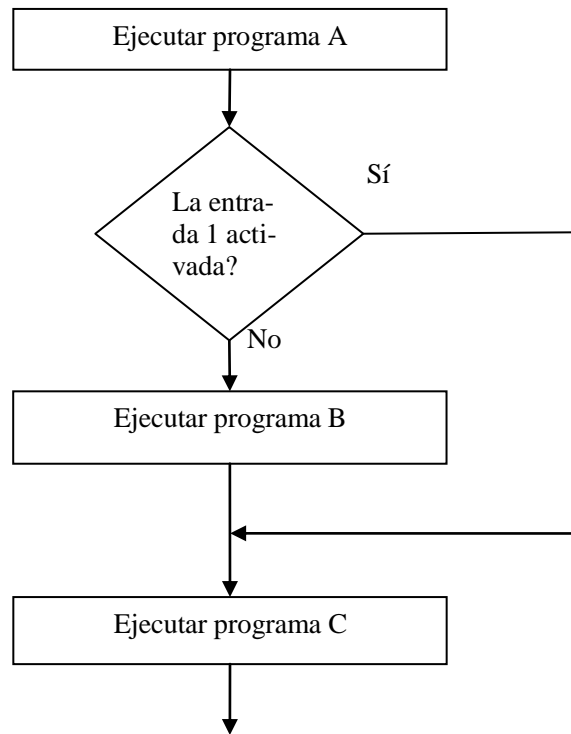
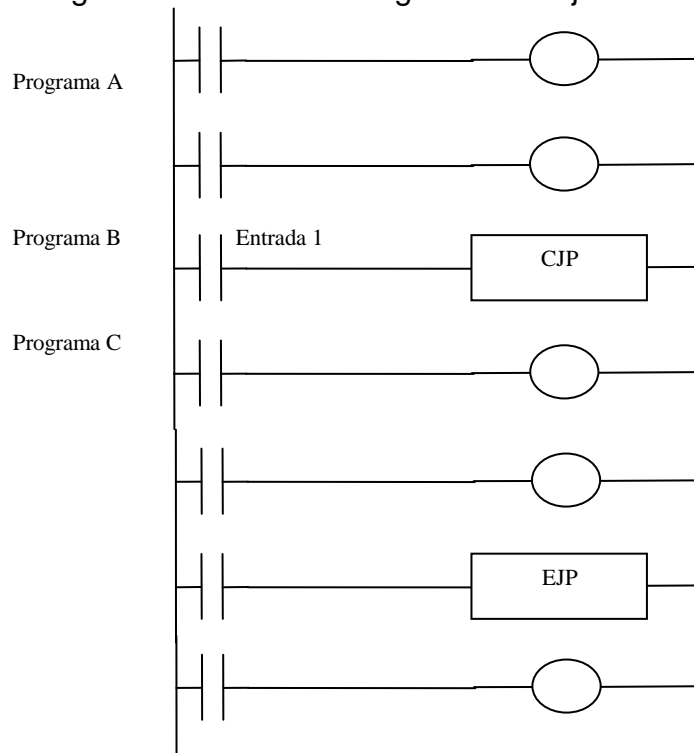


Figura 70. Diagrama escalera del diagrama de flujo anterior.



2.1.6.6. Manejo de datos. En algunas tareas de control es conveniente usar grupos de bits relacionados entre sí como un bloque de ocho entradas, y manejarlos como una palabra de datos, a esto se le llama “Manejo de datos”.

Esta situación se presenta, por ejemplo, cuando una señal analógica es transformada en una palabra digital de ocho bits.

Las operaciones de los PLCs con palabras de datos, en general son:

- Transporte de datos.
- Comparación de la magnitud de los datos, mayor que, menor que, igual a, o menor que.
- Operaciones aritméticas como suma y resta.
- Conversión de decimales codificados en binario (BCD) a octal.

Cada bit se guarda en ubicaciones de la memoria especificadas por una única dirección. Cada instrucción debe especificar el tipo de operación, la fuente de los datos, haciendo referencia a su registro de datos y al registro de datos de destino para el resultado de la operación.

2.1.6.7. Selección de un PLC. Al evaluar la capacidad y tipo de PLC es necesario tener en cuenta los siguientes factores:

- La capacidad de entrada y salida requeridas. La capacidad de expansión para necesidades futuras.
- El tipo de entradas y salidas requeridas. Es decir, fuente de alimentación, tipo de aislamiento, acondicionamiento de señal, etc.
- Es el de memoria necesaria. Tiene relación con la complejidad del programa y la cantidad entradas/salidas.
- Velocidad de incapacidad de la CPU. Tiene relación con cuantos tipos de instrucciones manejará el PLC. Cuantos más tipos haya, más rápida deberá ser la CPU. Asimismo, cuanto mayor sea la cantidad de entradas y salidas que se manejen, más rápida tendrá que ser la CPU requerida.

Las ventajas presentadas por los diferentes tipos de PLCs, pueden verse afectadas debido a una mala instalación.

Los módulos periféricos de un PLC deben ser montados en perfiles o bastidores normalizados. Los módulos periféricos de un PLC se consideran medios operati-

vos abiertos, es decir, deben estar siempre instalados en cajas, armarios o locales de servicio eléctrico disponibles únicamente mediante una llave o herramienta.

Para poner en funcionamiento un PLC se requieren varios componentes como:

- Perfil soporte.
- Fuente de alimentación.
- Unidad central de proceso.
- Módulos de señal.
- Módulos de función.
- Procesadores de comunicaciones.
- Módulos de interface.

El montaje de un PLC puede realizarse de forma horizontal o vertical tomando en cuenta siempre la temperatura máxima permisible. Así mismo, se debe tener en cuenta la separación mínima para evacuar calor disipado y tener suficiente espacio.

Se deben tener en cuenta las siguientes reglas y prescripciones para el adecuado funcionamiento de un PLC:

- Dispositivos de paro de emergencia.
- Arranque la instalación las después de determinados eventos.
- Tensión de la red.
- Alimentación.
- Reglas para el consumo de corriente y potencia disipadas.

Es importante la instalación de una puesta a tierra en los circuitos de interconexión eléctrica. Por lo general los módulos de señales tienen alimentación con una fuente externa.

- No tener cables de señal cerca de cables de potencia.
- Tender lo más cerca posible los cables de señal y su línea de potencia asociada.
- Tender todas las líneas siempre muy próximas a superficies de masa.

- Evitar prolongar cables o líneas por intermedio de bornes o similares.
- Tender por canaletas o cajas separadas los cables de potencia y los cables de señal.

Medidas contra interferencias:

- Separado especial entre equipos y líneas.
- Puesta a masa de todas las piezas metálicas inactivas.
- Filtrado de líneas de red y de señal.
- La pantalla miento de los equipos y las líneas.
- Medidas supresoras especiales.

Los campos magnéticos o alternos de baja frecuencia (50 Hz) sólo pueden atenuarse sensiblemente a costos muy altos. Estos problemas se pueden resolver dejando una separación lo mayor posible entre la fuente y el receptor de la interferencia.

Otro factor importante para lograr una instalación inmune es la buena puesta a masa.

El estado de las líneas de red y de señal, constituyen una medida para reducir las interferencias propagadas por las líneas dentro del armario. En las líneas de alimentación y de señal no existir ninguna sobre tensión.

EL apantallamiento o blindaje constituye una medida para atenuar campos perturbadores de origen electromagnético o eléctrico.

Una de las medidas supresoras especiales, es la supresión de inductancias. Todos los elementos en el montaje que no sean atacados directamente por el PLC deberán llevar elementos supresores.

3. METODOLOGÍA

A partir del trabajo con el CENTRO RED TECNOLÓGICO METALMECÁNICO en el año 2006 y el contacto con los empresarios del sector de la fundición en Boyacá y Cundinamarca, nació la inquietud de fortalecer estas empresas en uno de los aspectos neurálgicos para su supervivencia y desarrollo, que es el acceso a tecnología más moderna. Un estudio realizado por el CRTM sobre el desarrollo tecnológico del sector de la fundición dio una idea más clara sobre el problema común (baja producción, mala calidad) que tenían la mayoría de las pequeñas y medianas industrias de este sector. Luego se recaudó información referente a los diferentes sistemas de fundición existentes, costos y accesibilidad, esta información se accedió vía Internet, libros y entrevistas con expertos. A partir de esto se propuso la hipótesis de desarrollar un modelo de una máquina centrífuga para la fundición a presión. Se desarrollaron los parámetros de funcionamiento del modelo y por último se procedió a crear un prototipo modelo de la máquina centrífuga con el objetivo de tener una idea clara de su funcionamiento real.

3.1. ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN

El enfoque dado a la presente investigación es EMPÍRICO-ANALÍTICO, ya que tiene un interés puramente técnico. Es la transformación de un proceso técnico obsoleto en otro más moderno y adecuado a las necesidades actuales.

3.2. LÍNEA DE INVESTIGACIÓN/SUB-LÍNEA DE FACULTAD/CAMPO TEMÁTICO DEL PROGRAMA

La línea de investigación es “tecnologías actuales y sociedad”, debido a que se trata de intervenir en la tecnología usada para la fundición de metales ferrosos o no ferrosos, cambiando de una tecnología obsoleta a una más moderna y más eficiente.

La sub-línea de facultad es “instrumentación y control de procesos”, ya que se trata de analizar, diseñar (simulación por prototipo) y automatizar un procesos de manufactura de un área de la metalmecánica, específicamente, la fundición.

El campo de la investigación es el “automatización y control”, debido a que se reemplaza una tecnología rudimentaria (manual) a por una más eficiente debido a que la nueva tecnología automatiza los procesos de velocidad de centrifugado, carga de molde en la máquina, inicio y finalización de trabajo. El sistema es controlado por una sola persona desde una ubicación segura.

El nodo del programa para este modelo de máquina centrifugadora es el de “Electrónica”, debido a que el modelo mecánico es automatizado y controlado usando conocimientos recogidos de esta facultad.

3.3. RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

La información sobre los procesos de fundición y sus limitaciones es obtenida, también, de visitas a algunas empresas del sector de la fundición. Algunos ejemplos claros son: FUNDICIONES FERRITA, COLHIERROS y FUNDIMETALES. La visita a estas empresas y el intercambio de ideas con los industriales respecto a la problemática con los sistemas rudimentarios de fundición son una fuente inagotable de información al respecto.

Otra fuente invaluable de información son los expertos en el tema, como ingenieros metalúrgicos e ingenieros mecánicos. Para este caso, el acceso a estos ingenieros expertos se hizo a través del CENTRO RED TECNOLÓGICO METAL-MECÁNICO.

4. DESARROLLO INGENIERIL

4.1. DISEÑO GENERAL DE CONTROL

La máquina centrífugadora está constituida por tres sistemas primarios:

1. El sistema de cierre del plato porta molde.
2. El sistema de velocidad de giro o centrifugado del plato porta molde.
3. El sistema de control que es el encargado de comandar los sistemas anteriores.

Estos sistemas principales están ensamblados en una estructura metálica capaz de soportar las fuerzas que se ejercerán con los diferentes componentes móviles.

La máquina posee un sistema de advertencia que indica el estado actual de operación de la máquina centrífuga.

Los sistemas de alimentación eléctricos y neumáticos deben ser los adecuados, ya que ellos dependen el correcto funcionamiento de uno o todos los sistemas primarios y de advertencia de la máquina centrífugadora.

4.2. SISTEMA DE CIERRE DEL PLATO PORTA MOLDE

Consta de dos partes (o tapas), una superior y una inferior, que cierran a presión para evitar el escurrimiento del material fundido al exterior. La parte superior está

fijada a la estructura de la máquina y la parte inferior está fijada a un cilindro neumático, que al ser activado cierra el porta molde.

Debido a que los moldes reales son hechos de goma o plástico especiales que resisten altas temperaturas, se decidió usar dos piezas plásticas de diámetro 30 cm, para sustituir los moldes reales. Su consistencia y peso son similares.

Estas piezas plásticas son cortadas de una lámina de 1,50 mt de largo por 50 cm de ancho. El grosor es de un centímetro por cada pieza.

La pieza superior (molde superior) es sujeta por medio de tornillos al porta molde superior, que a su vez sirve de polea para la transmisión de la fuerza rotacional ejercida por el motor eléctrico.

Figura 71. Vista superior interna simulador molde plástico.



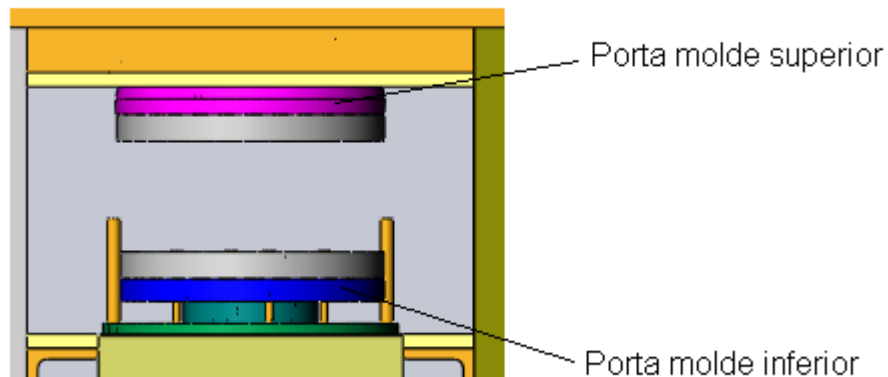
La parte inferior del simulador del molde es, también, adherida por medio de tornillos al porta molde inferior. El porta molde inferior es constituido por una pieza metálica que es mecanizada de tal forma que en ella se introduce un rodamiento. Este rodamiento evita que la fuerza rotacional sea transmitida al cilindro neumático, dejando libre para la rotación al molde inferior.

Se tuvo en cuenta que la sujeción del porta molde superior se hacía mediante una tuerca especial al centro del molde que roscaba un eje central de la máquina. Se dejó espacio al centro de las dos piezas plásticas (superior e inferior), de tal forma que pudieran cerrar completamente, si golpes o espacios.

Figura 72. Vista inferior interna simulador molde plástico.



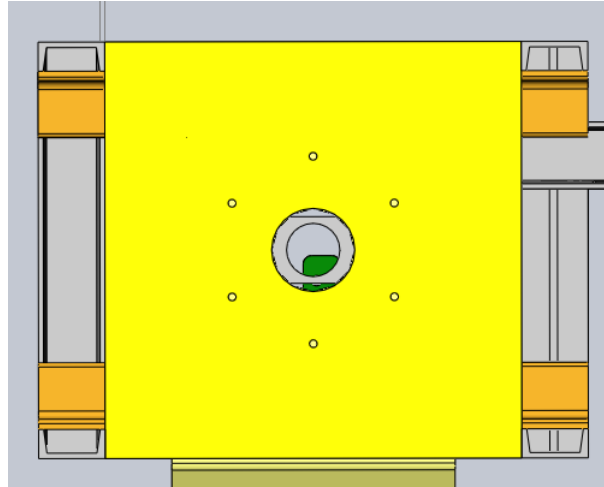
Figura 73. Vista frontal del porta molde, parte superior e inferior.



La máquina debe estar en condiciones de intercambiar moldes para fundir piezas diferentes o cambiar la cantidad de las misma, esto conlleva a que el peso de las dos partes del porta molde puede variar. Sin embargo, la máquina está diseñada para soportar cambios limitados de peso en el porta molde.

Para la parte superior, el peso del porta molde esta soportado por los rodamientos que, al mismo tiempo, lo centran, permitiendo el centrifugado. Estos rodamientos están sujetos por medio de pernos a la lámina superior de la máquina.

Figura 74. Lámina superior.



Para el caso del modelo, se seleccionaron dos rodamientos de bolas, debido a que el diámetro del eje es de ½ in (para diámetros menores, se usan rodamientos de deslizamiento seco).

Figura 75. Rodamientos.



Fuente: <http://img-europe.electrocomponents.com/largeimages/R339861-01.jpg>

La parte inferior del porta molde es la encargada de subir y cerrar el molde. Esta acción puede ser realizada gracias a un cilindro neumático que al ser accionado cierra o abre el porta molde.

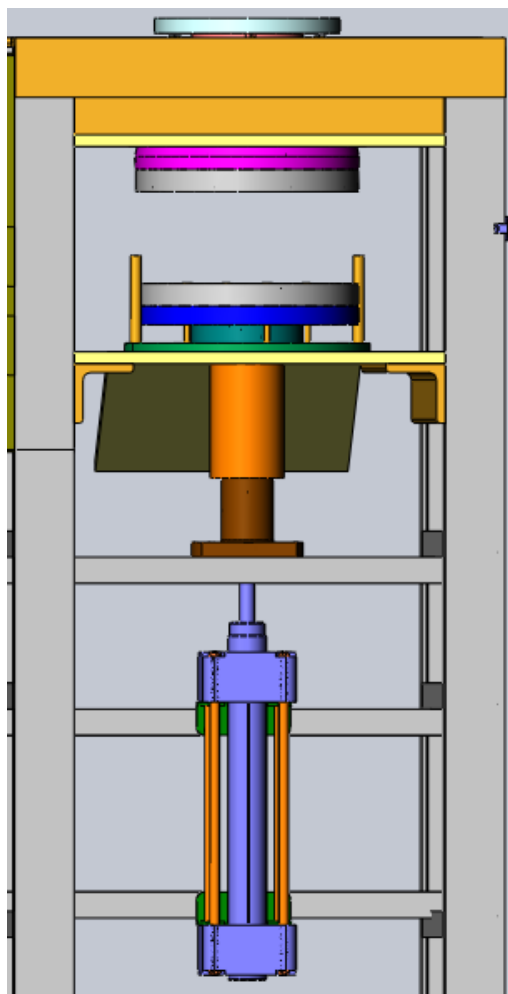
El peso de porta molde inferior no sobrepasa los 2 Kilogramos en total, por lo tanto:

$$\begin{aligned} F &= m \times a \\ F &= 2 \text{ Kg} \times 9,8 \text{ m}^2/\text{seg} \\ F &= 19,6 \text{ Kg} \times \text{m}^2/\text{seg} = 19,6 \text{ N} \end{aligned}$$

El modelo utilizó un cilindro neumático de doble efecto marca FESTO, DSN-25-100-PPV, debido a que el peso que se debe levantar es relativamente poco, además de mantener el costo de construcción al mínimo. Debido a que la diferencia en los precios de cilindros de diferentes marcas con las mismas características de éste, no era mucha, se escogió el cilindro neumático de FESTO por garantía y calidad.

Una vez seleccionado el cilindro neumático y teniendo sus medidas, se corrigió el diseño original usando Solid Works.

Figura 76. Vista sistema porta molde con cilindro neumático.



El cilindro posee una carrera de 100 mm, con vástago simple, amortiguación a ambos lados. La fuerza teórica de avance con 6 Bar es de 294.5 N y la fuerza de retroceso con 6 Bar es de 247.4 N. Para este cilindro se usa aire seco, con o sin

lubricante. La conexión neumática es G 1/8 y la presión de funcionamiento de 1000 a 10000 Bar.

Figura 77. Cilindro neumático para el modelo a escala.



Fuente: Programa ProPneu de FESTO.

Los accesorios requeridos para el montaje neumático total (tubería flexible y racores, entre otros), se escogieron teniendo en cuenta las medidas del cilindro y usando el programa ProPneu de FESTO, para el diseño neumático.

Para escoger el cilindro se ingresa al programa ProPneu de FESTO, se selecciona el tipo de actuador (cilindro de doble efecto), luego se ingresan datos como: Tiempo de posicionamiento (10 seg o menos), longitud de carrera (100mm), ángulo de instalación (90°), dirección del movimiento (extender), largo del tubo flexible que va desde el equipo de mantenimiento a la válvula (1mt max), largo del tubo que va desde la válvula al cilindro (2mt) y por último el peso a levantar (2 K).

Para la estructura se seleccionaron ángulos y láminas de acero galvanizados, su gran resistencia al peso y al medio ambiente. Todas las láminas, parales y patas se unieron usando tornillos y tuercas galvanizados.

Figura 78. Uniones de las diferentes partes del esqueleto con tornillería.



Figura 79. Selección cilindro.

Los parámetros del sistema - base para la selección

tiempo de posicionamiento esperado quiero alcanzar este tiempo de posicionamiento: s

...con válvula de estrangulación de retención

Regulación básica del cilindro

Longitud de carrera requerida mm

Ángulo de instalación deg

Dirección del movimiento extender retirar

astecimiento de aire comprimido

Presión de funcionamiento bar

Largo del tubo fle; Equipo de mantenimiento > Válvula m

Válvula > Cilindro m

Regulaciones de la carga

Masa en movimiento kg

fuerza de impacto adicional

fuerza de fricción adicional

Fuente: Ibíd.

A continuación se presentan los cilindros resultantes, con sus características físicas, de ellos se selecciona el más conveniente. Incluso presenta una imagen del producto (Figura 79 pág 88).

Figura 80. Selección cilindro

Ideas de cilindros Festo - Accionamientos para cada aplicación

Núm. artículo	Tipo	Conexión	Carrera
9665	DSN-25-PPV	1/8	1 .. 50
9669	DSN-25-100-PPV	1/8	100
5080	DSN-25-100-P	1/8	100
8531	DSN-25-125-PPV	1/8	125
9672	DSN-25-300-PPV	1/8	300
5083	DSN-25-300-P	1/8	300
5082	DSN-25-200-P	1/8	200

Solo ajustable amortiguación de fin de carrera ne
 Solo accionamiento sin vástago
 Solo vástago pasante (modelo especial S2)
 Solo asegurado contra rotación

Diámetro mínimo requerido: 20 mm
 Diámetro del émbolo elegido: - todo -
 Longitud de carrera: 100 mm

1253 Entradas encontradas

+ Mostrar Imagen
 Mostrar siempre la imagen
 Cancelar
 Aceptar

Fuente: Ibíd.

Una vez seleccionado el cilindro, el programa da una lista de piezas adicionales que son necesarias para el correcto funcionamiento del cilindro.

Figura 81. Selección de tubos flexible y racores.

Los tubos flexibles y racores - son imprescindibles para mandos neumáticos

Imprescindible: tubos flexibles y racores

Tubo flexible [Cil. > Válvula]

Part no.	Type	Color	D (mm)
159662	PUN-4x0,75-BL	BLUE	4
191921	PUN-E-4x0,75-BL	BLUE	4
197383	PUN-H-4x0,75-BL	BLUE	4
525746	PUN-4x0,75-BL-50	BLUE	4

4 Entradas encontradas

Propiedades del tubo flexible

Material: PUN
 Color: BLUE
 Diámetro del tubo flexible: 4
 Homologación para la industria alimentaria

Racor en Válvula de estrangulación de retención

Sujeción posible por medio de adaptador

Rosca de empalme: QS3

Racor en Válvula de vías

Serie: - todo -
 Sujeción posible por medio de adaptador

1/8

Part no.	Type	Thread
186217	QST3-G1/8-6-4	1/8
153316	QSM-1/8-4-1	1/8
153001	QS-1/8-4	1/8
153022	QSF-1/8-4-B	1/8
153045	QSL-1/8-4	1/8

52 Entradas encontradas

+ Mostrar Imagen
 Mostrar siempre la imagen
 Cancelar
 Aceptar

Fuente: Ibíd.

En el resumen de los resultados se muestra el tiempo total de posicionamiento de 0,09seg, velocidad promedio (0.01m/s), velocidad de impacto (0.05m/s), máxima velocidad (0.8m/s), energía dinámica de impacto (0.01j), velocidad media del aire (1.52m/s) y consumo mínimo de aire (0.4596L).

Para la máquina industrial y debido a que las partes móviles que deben ser levantadas por el cilindro pesan aproximadamente 963.942 Kilos, se seleccionó para la máquina un cilindro neumático marca FESTO, DNG-32-500-PPV-A, que se puede reemplazar por un cilindro hidráulico de 2000 Kilos y 500 mm de carrera. Hay que tener en cuenta que el cilindro está dispuesto en forma vertical (90°) y que no debe tardar más de 10 segundos hasta finalizar su carrera de extracción.

Para esta máquina se tomó un valor de seguridad de 2, ya que se debe tener en cuenta factores como la fuerza de sellado del molde, el peso del material fundido, el intercambio de moldes, que puede pasar de uno de menor masa a uno de mayor masa (de la masa se calcula el peso, $\text{Peso} = \text{masa} \times \text{Fuerza de gravedad}$) y, por último, los demás elementos como tornillos, tuercas, bujes, arandelas, etc.

Figura 82. Selección de racores para la válvula de vías.

Imprescindible: tubos flexibles y racores

Tubo flexible [Fuente > Válvula]

Part no.	Type	Color	D (mm)
159660	PUN-3x0,5-BL	BLUE	3
191918	PUN-E-3x0,5-BL	BLUE	3
197382	PUN-H-3x0,5-BL	BLUE	3
525745	PUN-3x0,5-BL-500	BLUE	3

4 Entradas encontradas

Propiedades del tubo flexible

Material: PUN
 Color: BLUE
 Diámetro del tubo flexible: 3
 Homologación para la industria alimentaria

Racor en Válvula de estrangulación de retención Serie: CN
 Sujeción posible por medio de adaptador

1/8

Part No	Type	Thread
11944	CN-1/8-PK-3	1/8
13969	CRCN-1/8-PK-3	1/8
11955	LCN-1/8-PK-3	1/8
11961	TCN-1/8-PK-3	1/8

5 Entradas encontradas

Mostrar Imágen **Mostrar siempre la imagen** **Cancelar** **Aceptar**

Fuente: Ibíd.

Figura 83. Resultados cilindro y todos los accesorios.

Simular el sistema y optimizar los resultados

Haga click sobre el tipo de código del componente que Ud. quiere seleccionar o modificar

Accionamiento 1x DSN-25-100-PPV

Amortiguador

Válvula de estrangulación GRLA-1/8-QS-3-D

Tubo flexible [Cil. > Válvul PUN-3x0.5-BL
+ adaptador de conexión

Válvula de vías JMFHD-5-1/8

Tubo flexible [Fuente > Vá PUN-3x0.5-BL

Silenciador U -1/8

Resultados calculados

Tiempo total de posicionamiento	10.09 s
Velocidad promedio	0.01 m/s
Velocidad de impacto	0.05 m/s
Máx. velocidad	0.08 m/s
Energía dinámica de impacto	0.01 J
Velocidad media del aire	1.52 m/s
Consumo de aire mínimo	0.4596 l
Regulación PPV	100 % ..

Fuente: Ibíd.

Para una medición sencilla y rápida del consumo de aire se han reunido los valores representativos del consumo de aire por cm de carrera para las presiones y los diámetros de los cilindros normales en la Neumática. El consumo de aire se indica siempre en litros de aire aspirado para obtener valores uniformes referidos a la potencia del compresor. Se calcula por las siguientes formulas:

Cilindros de doble efecto:

$$Q = 2(s.n.q) \text{ NI/min}$$

Donde:

Q: Consumo de aire total en NI/min.

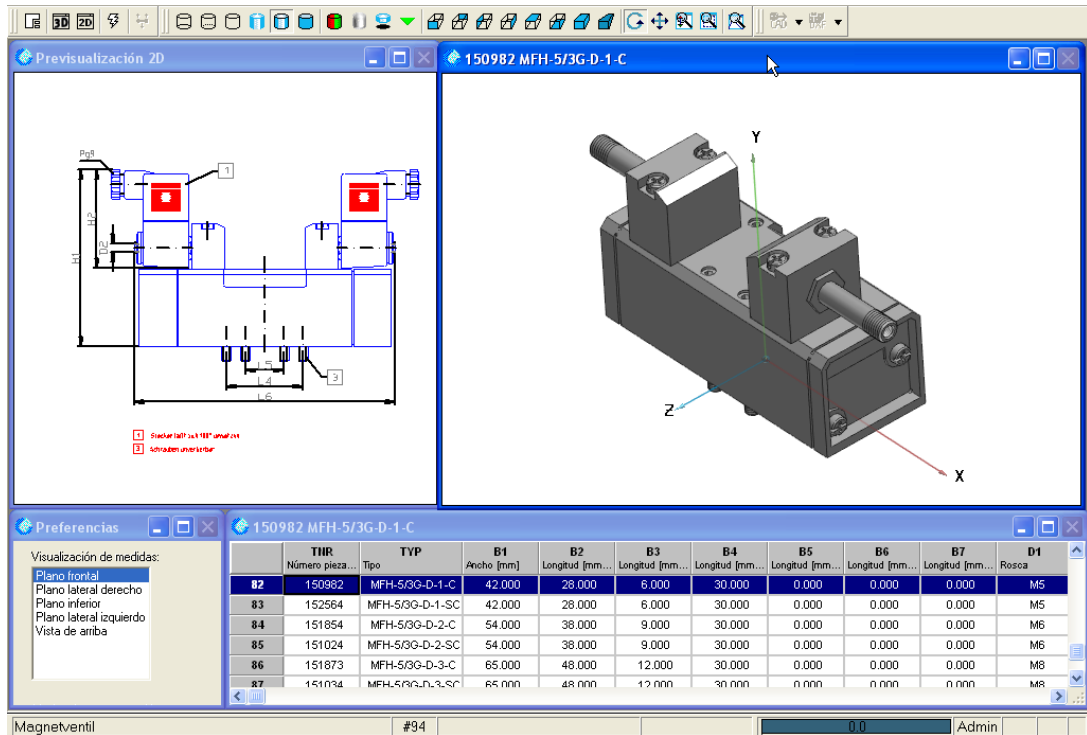
q: Consumo de aire por centímetro de carrera.

s: Carrera en CM.

n: Ciclos por minuto.

La válvula de vías fue seleccionada mediante el programa de diseño neumático ProPneu, teniendo en cuenta las características de funcionamiento del cilindro y la simulación previa de funcionamiento de todo el sistema neumático. La válvula seleccionada es la MFH-5/3G-D-1 y es la encargada de proporcionar aire a presión hacia cilindro para lograr los movimiento de avance y retroceso.

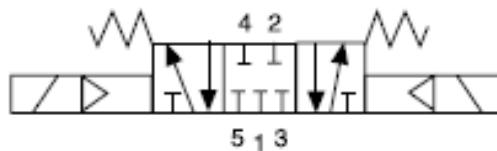
Figura 84. Grafico 2D/3D, de la válvula de vías MFH-5/3-G-D-1.



Fuente: Ibíd.

Las características de esta válvula son: Electroválvula 5/3, presión de trabajo de hasta 10bar, 145psi, patrón de 43.5mm, conexión del tiempo de conmutación 18mseg, caudal nominal normal de 1200l/min, entre otras. Voltaje de funcionamiento de 24 Volts.

Figura 85. Representación gráfica de la electro válvula 5 vías, 3 posiciones (5/3).



Fuente: http://www.burkert.com/products_data/datasheets/DS0590-Standard-ES-ES.pdf

El accionamiento de la válvula depende de las instrucciones eléctricas provenientes del PLC.

La unidad de mantenimiento y control con filtro, válvula reguladora de presión y lubricador proporcional, tiene la ventaja de entregar un aire comprimido purificado, lubricado y casi constante en un solo aparato. Esta unidad es la encargada de la

preparación previa del aire a utilizar, posee un regulador de presión, cuya función es mantener la presión de aire estable y en la cantidad de trabajo requerida por el cilindro (en este caso 6bar).

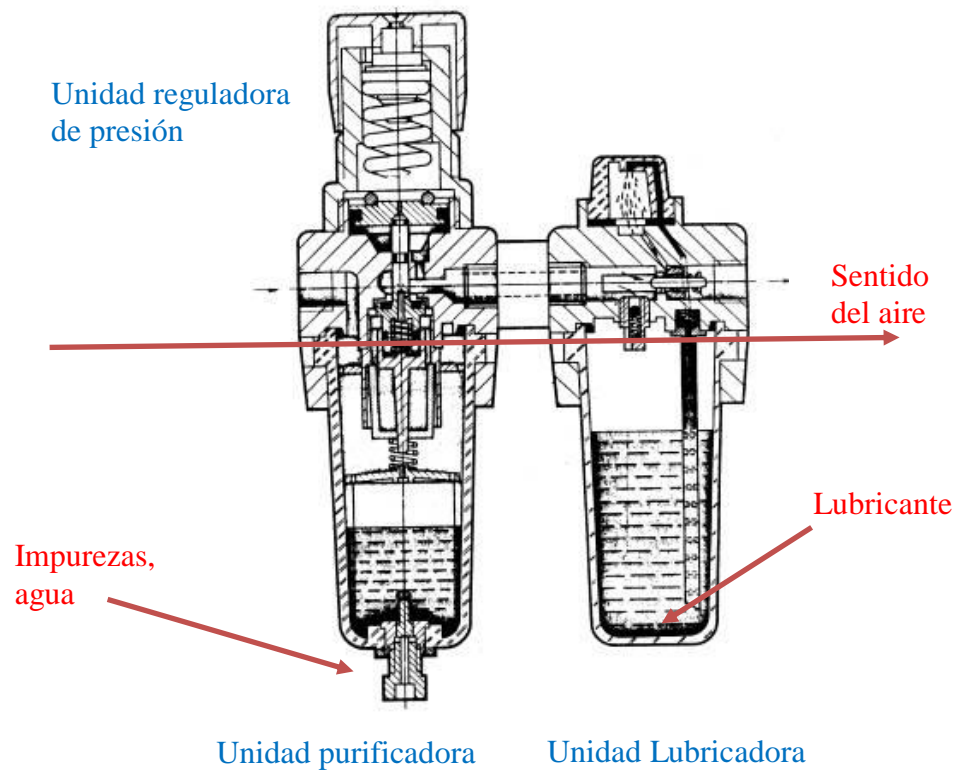
Figura 86. Representación gráfica de la unidad de mantenimiento y control.



Fuente: http://web.educastur.princast.es/proyectos/jimena/pj_angelpp/imagenes/acondi7.gif

Debido a que esta unidad tiene la capacidad de trabajar hasta 16 bar, puede ser utilizada tanto en el montaje de la máquina industrial, como en la máquina modelo. Esta unidad de mantenimiento y control está instalada entre la fuente de alimentación de aire y la electroválvula.

Figura 87. Unidad de mantenimiento y control, a la izquierda filtro y regulado de presión. A la derecha lubricador.



La máquina centrífuga es flexible en cuanto a los elementos usados para la apertura y cierre del porta molde. De acuerdo a las necesidades (costos, fuerza, etc), se puede reemplazar el uso del cilindro neumático por uno hidráulico. Se debe tener en cuenta que tanto la unidad de mantenimiento y control, como la electro válvula (o válvula de vías), son inservibles con un sistema hidráulico.

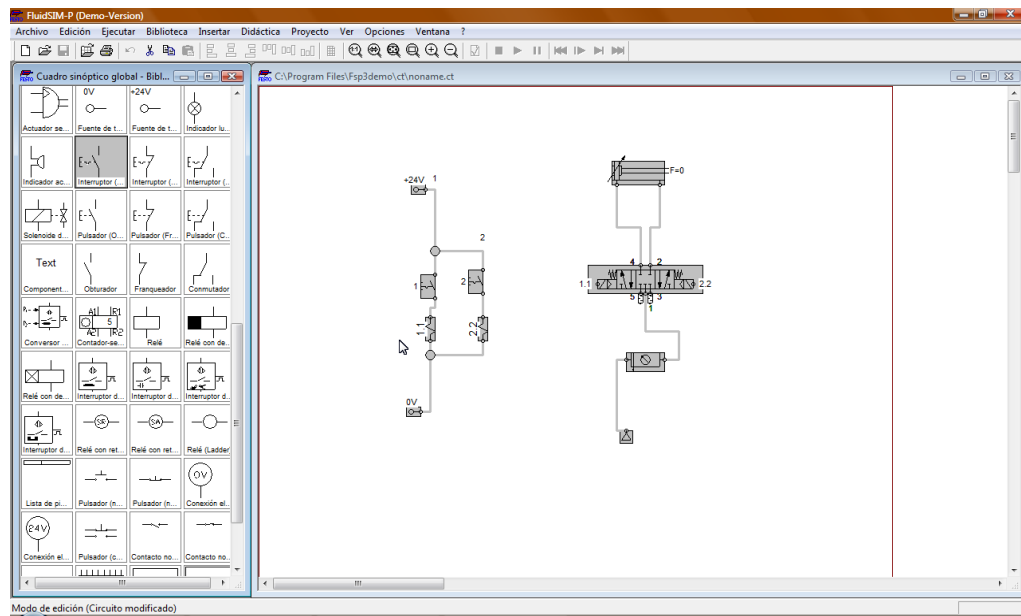
Figura 88. Unidad de mantenimiento y control con válvula electro neumática 5/3.



4.2.1. Diseño sistema neumático

El sistema se diseñó y comprobó (simuló) inicialmente en el programa FluidSIM-P, desarrollado por FESTO.

Figura 89. Vista programa FluidSIM-P con ventana de selección de elementos.



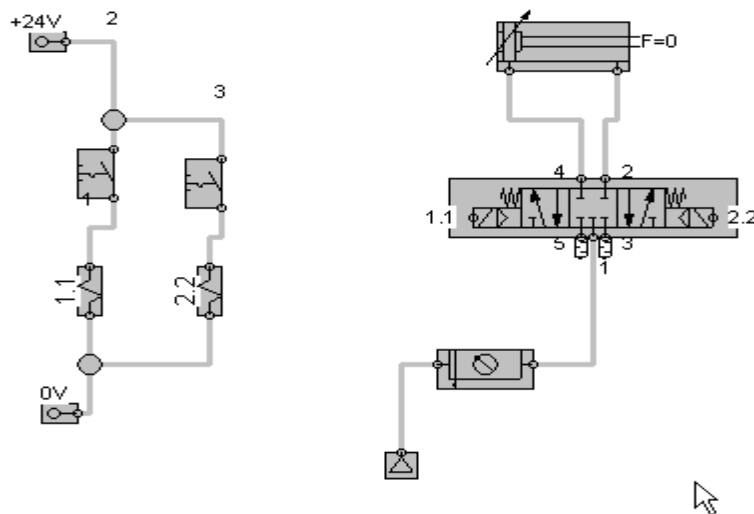
Fuente: FluidSIM-P.

El montaje se hizo teniendo en cuenta que se necesitaba simplicidad en el diseño, economía, fácil mantenimiento y seguridad.

Se usa una válvula 5/3 con silenciadores para lograr las funciones de avance y retroceso del cilindro neumático, una unidad de mantenimiento y control integrada con manómetro (regulación y verificación visual de la presión) y un pulsador de tres posiciones.

Este diseño electro-neumático (Figura 90) sirve tanto para la máquina industrial como para el modelo a escala de la misma.

Figura 90. Diseño neumático del montaje real para el sistema de carga de molde (der). Esquema eléctrico del montaje para el sistema de carga de molde (izq).



Fuente: Ibíd.

En el esquema eléctrico del montaje para el sistema de carga de molde se aprecian dos pulsadores (Pul_1 y Pul_2), que representan una llave con tres posiciones:

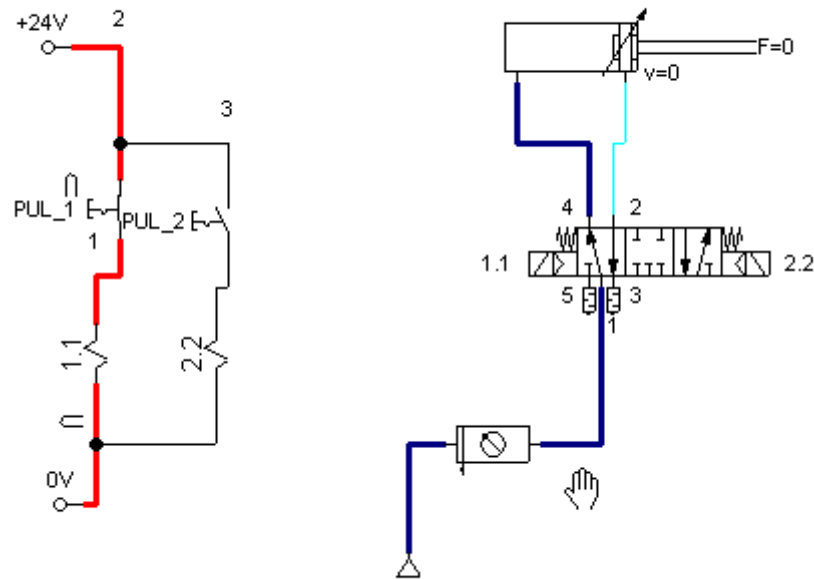
1. Avance (Pul_1).
2. Off (sin accionamiento alguno).
3. Retroceso (Pul_2).

Al obturar el Pul_1, el cilindro avanza hasta cerrar el porta molde (con el molde) y engranar la máquina para empezar su centrifugado, en este caso avanza 500mm. Para la máquina modelo solo avanza 100mm. (Figura 91, pág 96).

Al obturar el Pul_2, la máquina retrocede a su posición inicial abriendo el porta molde para retirar las piezas ya terminadas o reemplazar el molde (Figura 92, pág 97).

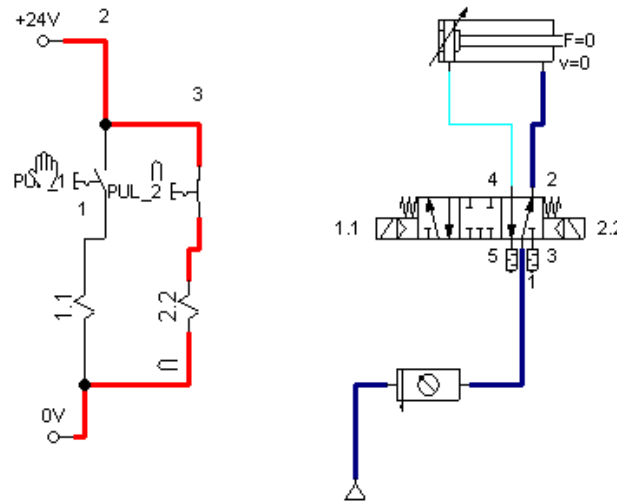
Estos pulsadores se conectaron directamente a la electroválvula solo para cuestiones de comprobación del diseño. En el modelo, los mandos se hacen a través del PLC, que es el encargado de alimentar los solenoides de la electroválvula.

Figura 91. Detalle al obturar Pul_1.



Fuente: Ibíd.

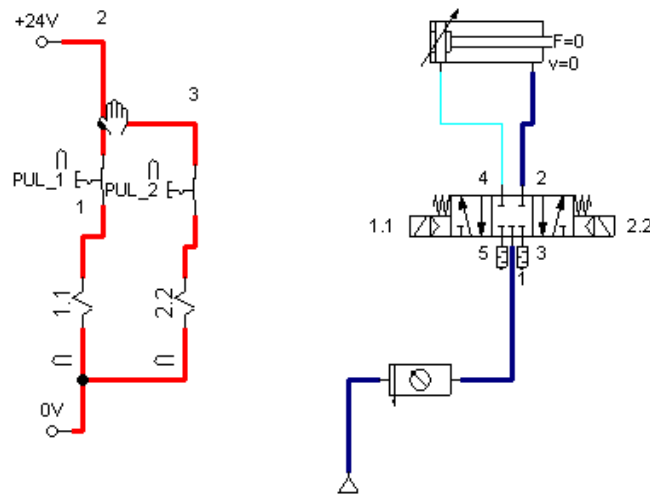
Figura 92. Detalle al obturar Pul_2.



Fuente: Ibíd.

Debido a que se trata de una llave con tres posiciones es imposible que se activen Pul_1 y Pul_2 al mismo tiempo, pero si el caso llegase a pasar, la máquina mantiene su última posición como medida de seguridad.

Figura 93. Detalle esquema electro neumático con los dos pulsadores activos. Mantiene su posición anterior.



Fuente: Ibíd.

4.3. EL SISTEMA DE VELOCIDAD DE GIRO O CENTRIFUGADO DEL PLATO PORTA MOLDE.

El movimiento rotacional es generado por un motor eléctrico de corriente alterna y la velocidad de giro es controlada por un variador de velocidad. La fuerza del motor eléctrico es transmitida al plato porta molde por medio de bandas interconectadas por medio de poleas.

Debido a que la máquina está en la capacidad de cambiar de molde para obtener diferentes piezas, se hace necesario, también, que se pueda variar la velocidad de giro. Un variador de velocidad programable es el encargado de esta acción, su funcionamiento está controlado por el PLC, que lo activa por un determinado periodo de tiempo.

Se pueden programar varias velocidades de giro en el variador para que se puedan activar dependiendo de la necesidad que se tenga de fundir diferentes piezas.

4.3.1. El motor eléctrico. Para la maquina industrial se trata de un motor eléctrico trifásico a 220 Vac, con una potencia nominal de 7 Hp y de velocidad constante de hasta 1800 r.p.m.

Para efectos de montaje, el motor va sujeto sobre una placa de metal en forma vertical, con pines de seguridad, teniendo en cuenta el funcionamiento rotacional transversal de la máquina, lugar de trabajo (ambiente industrial donde será instalada la máquina), proceso de fundición y estructura del diseño mecánico.

La capacidad de encerramiento del motor es IP44, es decir que el motor es resistente a la entrada de polvo, partículas pequeñas y humedad.

Se seleccionó un motor trifásico debido a la potencia que entrega y a la economía en el gasto eléctrico.

$$P = T/t = Fv$$

$$P = (nM) / 9549 \quad (\text{KW})$$

$$v = 2\pi rn$$

$$P = 2\pi rnM$$

$$P (\text{HP}) = \frac{M(\text{torque, Kg cm}) \times n(\text{r.p.m})}{71620} \quad \text{Sistema métrico}$$

$$P \text{ (HP)} = \frac{M(\text{torque, Lb ft}) \times n(\text{r.p.m.})}{5250} \text{ Sistema ingles}$$

Para:

P = Potencia.

T = Trabajo.

t = Tiempo.

M= Torque.

n = revoluciones alrededor del eje.

F = Fuerza.

v = Velocidad.

r = Radio.

En el mercado se pueden conseguir motores de menos de ½ caballo de fuerza, sin embargo, este es el más común y para mover una carga tan pequeña como la del modelo a escala tiene la potencia suficiente.

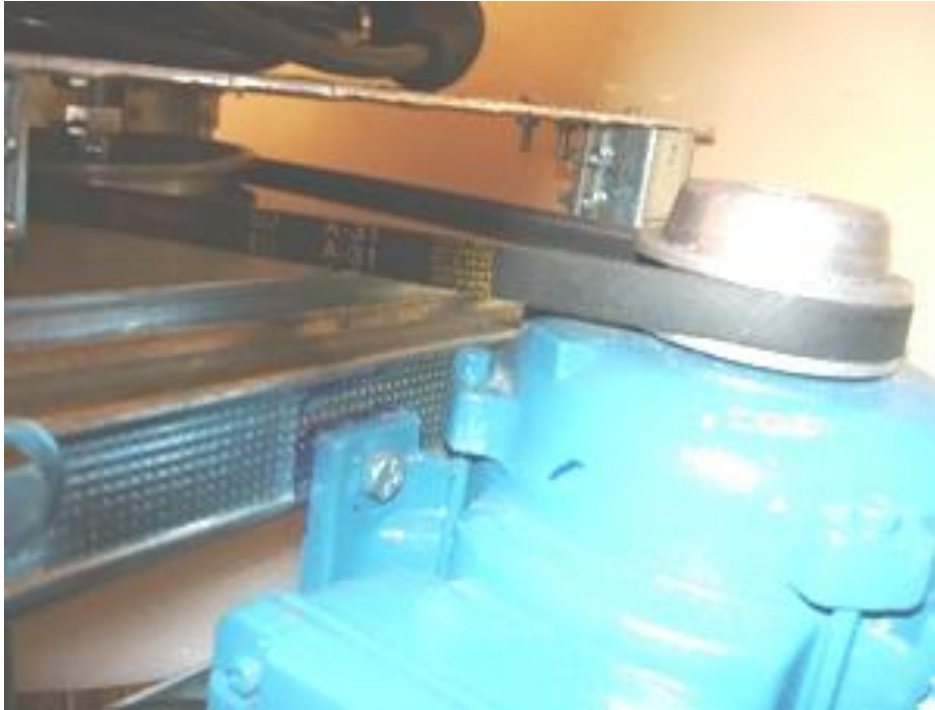
La velocidad del motor es directamente dependiente del variador de velocidad y está limitada por las r.p.m máximas del motor.

Para el caso del modelo a escala de la máquina se empleó un motor eléctrico trifásico marca Eberle, cuyas características son:

- Voltaje: 220/440 V
- Amperaje: 1,92/0,96 Amp
- Temperatura de funcionamiento: 40°C
- Potencia: 0,37 KW / ½ HP.
- Velocidad: 1700 r.p.m.
- Frecuencia: 60 Hz
- Peso: 10,5 Kg
- Capacidad de encerramiento: IP55
- Cos φ: 0,71

La capacidad de encerramiento IP55 hace referencia a motores fabricados para ser utilizados a la intemperie. Estos motores están protegidos contra polvo y chorros de agua en cualquier dirección.

Figura 94. Detalle motor con transmisión por polea al porta molde superior.



4.3.2. El variador de velocidad. También llamado “Convertidor de Frecuencia”, destinado al control y a la variación de velocidad de motores eléctricos de inducción trifásicos y monofásicos, donde se destaca su pequeño tamaño, fácil instalación y fácil programación.

Para la máquina industrial se seleccionó un variador de frecuencia WEG serie CFW-08, para motores eléctricos trifásicos este producto dispone de recursos ya optimizados en software fácilmente parametrizables a través de interface hombre-máquina simple, de fácil uso y habitándolo para la utilización en control de procesos y máquina industriales. El CFW-08 evita inestabilidad en el motor e posibilita el aumento de par (torque) en bajas velocidades.

Características técnicas:

- Alimentación monofásica o trifásica.
- Potencia de 0.25 a 20 Hp.
- Tensión de red 200 - 240V y 380-480V, 50/60 Hz.
- Capacidad de sobrecarga de 150% (60 s).
- Salida PWM controlada por DPS de 32 bits (Digital Signal Processor).
- Frecuencia de conmutación ajustable entre 2.5 / 5 / 10 ó 15 kHz.
- 4 entradas digitales programables.
- 1 salida programable a relé.

- 1 entrada analógica diferencial.
- Control V/F (escalar) o vectorial sin sensores.
- Regulador PID.
- Módulo de Comunicación ModBus RTU.
- Protecciones:
 - Sobre corriente.
 - Sobrecarga del Motor.
 - Cortocircuito Fase-Fase y Fase-Tierra.
 - Sobre y Sub-Tensión del link DC y falla externa.
- Control:
 - Rampas de aceleración y desaceleración lineal y tipo "S" ajustables independientemente.
 - Selección local/remoto.
 - Frenado DC.
 - Compensación IxR.
 - Compensación de deslizamiento.
 - Potenciómetro electrónico.
 - Multispeed.
 - Límites de frecuencia máxima y mínima ajustables independientemente.
 - Rechazo de frecuencias.
 - Límites de corriente de salida ajustable.
 - Función JOG.
 - Ride-thru y Flying start.
- Lecturas en Display :
 - Velocidad del motor.
 - Frecuencia.
 - Corriente.
 - Tensión.
 - Últimos cuatro errores.
 - Estado del variador.
- Ambiente:
 - Temperatura 40°C.
 - Altitud 1000m.
 - Humedad 90% sin condensación.

Características opcionales:

- Módulo Comunicación Profibus y DeviceNet.
- Interface Hombre-Máquina remoto.
- Interface serie RS-232 ó RS-485.
- Gabinete NEMA1
- Encaje para Riel DIN
- Filtros EMC

Beneficios:

- Control con DSP (Procesador Digital de Señales), que mejora el desempeño del motor.
- Modulación PWM sinusoidal.
- Accionamiento silencioso del motor.
- Interface con teclado de membrana táctil.
- Programación flexible.
- Dimensiones compactas.
- Instalación y operación simplificada.
- Alto par (torque) de arranque.

Principales aplicaciones:

- Bombas centrífugas.
- Bombas dosificadoras de proceso.
- Ventiladores/extractores de aire.
- Agitadoras/mezcladoras.
- Extrusoras.
- Cintas transportadoras.
- Mesas de rodillos.
- Granuladoras.
- Secadoras/hornos rotatorios.
- Filtros rotativos.
- Bobinadoras.
- Máquinas de corte y soldadura.

El variador tiene la capacidad de programado vía microcomputadora PC, para parametrización y monitoreo. Es necesario un "KIT" opcional de comunicaciones para la interconexión con el PC.

Figura 95. Modelo CFW08 con accesorio de comunicaciones con el PC.



Fuente: <http://www.weg.net/co/Productos-y-Servicios/Automatizacion/Drives>

Para la máquina centrifugadora industrial, se seleccionó el variador de frecuencia serie: CFW080073B2024SSN1FAZ

Convertidor CFW08, con I de 7.3 Apm, monofásico o trifásico, a 220/240 Vac, idioma español, configuración estándar, grado de protección Nema 1 (protegido contra objetos de más de 50 mm, contra gotas de agua que caigan de forma vertical y contra impactos de 0.225 Joules), interfaz hombre máquina estándar, tarjeta de control estándar, sin hardware, ni software especiales.

Figura 96. Variador de frecuencia CFW08.



Fuente: Ibíd.

Para el caso del modelo a escala se usa un variador INVERTEK OPTIDRIVE E², de 0.5 HP y 220/240 Vac, con arranque progresivo y eficiente para protección del motor eléctrico. La eficaz protección integrada le permite adoptar medidas preventivas que reducen los daños y los tiempos de inactividad. El variador detecta cualquier situación de sobre carga o sub carga, esto es posible gracias a un limitador de par integrado.

El sobre calentamiento, la pérdida de potencia momentánea y los rotores bloqueados también generan una señal de advertencia o una parada de seguridad.

Las velocidades necesarias para la realización del trabajo son guardadas en la memoria del variador para ser activadas automáticamente por medio de interruptores.

Estas características también se aplican al variador CFW-08.

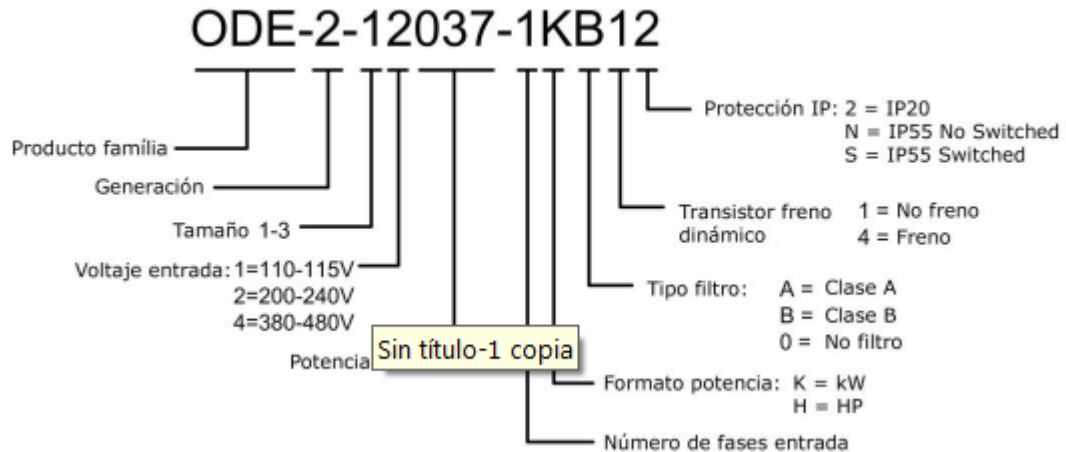
La programación del variador se realiza por medio de un panel frontal o software especializado, este último con un kit adicional.

Tanto el variador de velocidad como el motor eléctrico deben tener la misma potencia, esto para evitar daños en alguno o los dos de estos elementos.

Este variador cumple con las normas EMC (emisiones electromagnéticas) estándar europeas. Es aconsejable usar cable apantallado tanto para el motor como para el variador.

El equipo puede ser identificado por su número de modelo, este se encuentra en la etiqueta del equipo.

Figura 97. Identificación del variador con el número del modelo.



Fuente: http://www.invertek.co.uk/product_optidrive_e2_manuals.aspx

Tabla 8. Número del modelo del equipo.

200-240V ±10% - 1 Fase entrada							
Número modelo kW		kW	Número modelo HP		HP	Salida corriente (A)	Tamaño
Con filtro	Sin filtro		Con filtro	Sin filtro			
ODE-2-12037-1KB12	ODE-2-12037-1K012	0.37	ODE-2-12005-1HB12	ODE-2-12005-1H012	0.5	2.3	1
ODE-2-12075-1KB12	ODE-2-12075-1K012	0.75	ODE-2-12010-1HB12	ODE-2-12010-1H012	1	4.3	1
ODE-2-12150-1KB12	ODE-2-12150-1K012	1.5	ODE-2-12020-1HB12	ODE-2-12020-1H012	2	7	1
ODE-2-22150-1KB42	ODE-2-22150-1K042	1.5	ODE-2-22020-1HB42	ODE-2-22020-1H042	2	7	2
ODE-2-22220-1KB42	ODE-2-22220-1K042	2.2	ODE-2-22030-1HB42	ODE-2-22030-1H042	3	10.5	2
200-240V ±10% - 3 Fases salida							
Número modelo kW		kW	Número modelo HP		HP	Salida corriente (A)	Tamaño
Con filtro	Sin filtro		Con filtro	Sin filtro			
	ODE-2-12037-3K012	0.37		ODE-2-12005-3H012	0.5	2.3	1
	ODE-2-12075-3K012	0.75		ODE-2-12010-3H012	1	4.3	1
	ODE-2-12150-3K012	1.5		ODE-2-12020-3H012	2	7	1
ODE-2-22150-3KB42	ODE-2-22150-3K042	1.5	ODE-2-22020-3HB42	ODE-2-22020-3H042	2	7	2
ODE-2-22220-3KB42	ODE-2-22220-3K042	2.2	ODE-2-22030-3HB42	ODE-2-22030-3H042	3	10.5	2
ODE-2-32040-3KB42	ODE-2-32040-3K042	4.0	ODE-2-32050-3HB42	ODE-2-32050-3H042	5	18	3

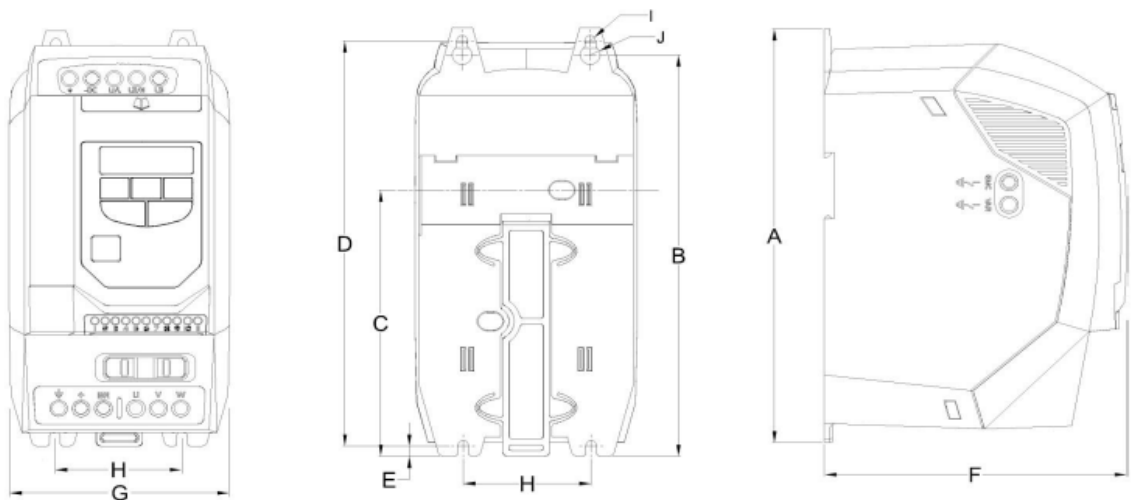
4.3.2.1. Instalación mecánica. El variador debe ser instalado en plano, vertical, libre de vibración fuerte. El equipo puede ser montado sobre un riel DIN, los terminales deben tener el apropiado par de ajuste: Par de ajuste terminales de

control de 0,5Nm (4,5 Lb-in), par de ajuste en terminales de potencia de 1Nm (9 Lb-in).

Tabla 9. Dimensiones mecánica y de montaje.

Tamaño	A		B		C		D		E		F		G		H		I		J	
	mm	in	mm	in	mm	in	mm	in	mm	in	mm	in	mm	in	mm	in	mm	in	mm	in
1	173	6.81	160	6.30	109	4.29	162	6.38	5	0.20	123	4.84	82	3.23	50	1.97	5.5	0.22	10	0.39
2	221	8.70	207	8.15	137	5.39	209	8.23	5.3	0.21	150	5.91	109	4.29	63	2.48	5.5	0.22	10	0.39
3	261	10.28	246	9.69	-	-	247	9.72	6	0.24	175	6.89	131	5.16	80	3.15	5.5	0.22	10	0.39

Figura 98. Dimensiones mecánicas y de montaje.



Fuente: Ibíd.

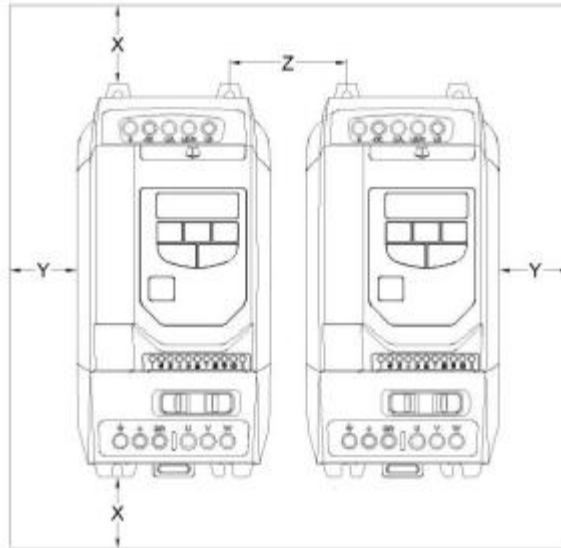
Para aplicaciones en las que es necesario el montaje en armario se deben tener en cuenta las siguientes recomendaciones:

- El armario debe ser térmico conductivo.
- La ventilación debe ser superior e inferior.

Tabla 10. Montaje en armario.

Tamaño	X Arriba/Abajo		Y Cada lado		Z Entre		Caudal de aire recomendado CFM (ft ³ /min)
	mm	in	mm	in	mm	in	
1	50	1.97	50	1.97	33	1.30	11
2	75	2.95	50	1.97	46	1.81	11
3	100	3.94	50	1.97	52	2.05	26

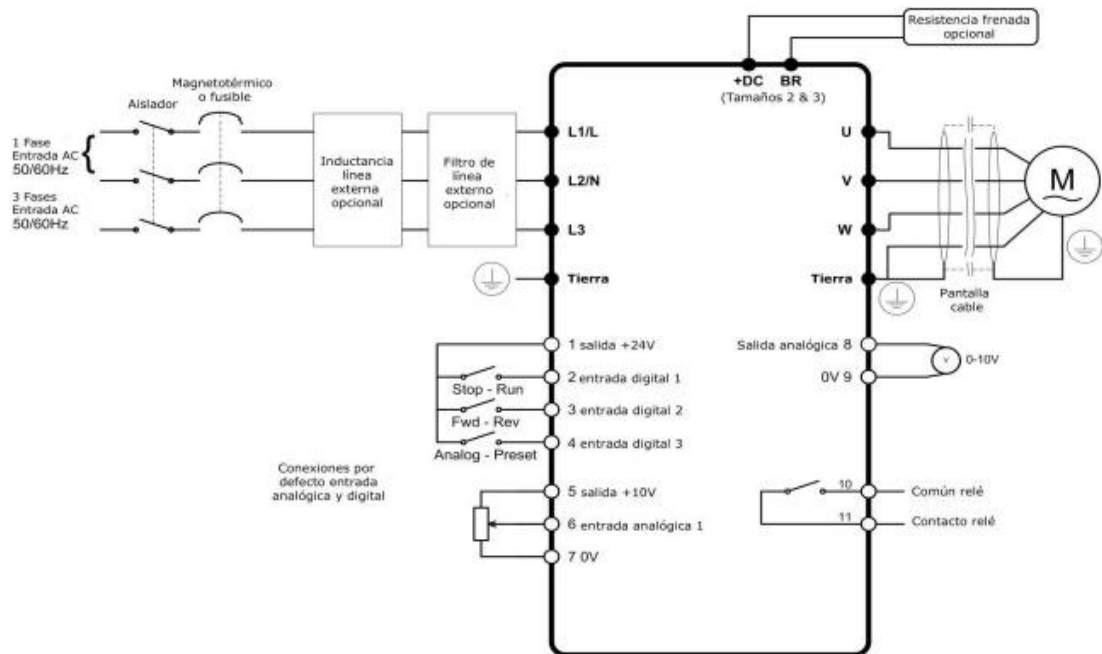
Figura 99. Montaje en armario (ver tabla 10).



Fuente: Ibíd.

4.3.2.2. Conexiones. Para suministro de energía trifásico se conecta a L1, L2, L3, no importa la secuencia de fase. El motor debe estar conectado a las terminales U, V, W.

Figura 100. Diagrama de conexión.



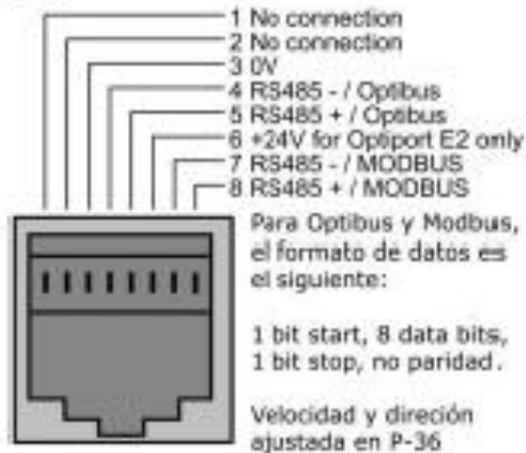
Fuente: Ibíd.

4.3.2.3. Terminales de control.


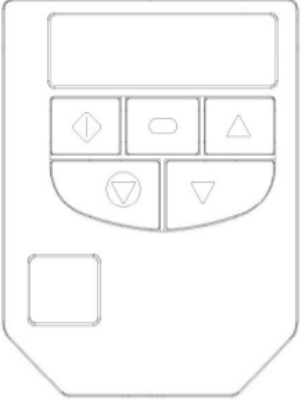




Control Terminal	Señal	Descripción
1	Salida +24V,	+24V, 100mA.
2	Entrada digital 1	Lógica positiva "Logic 1" rango voltaje de entrada: 8V ... 30V DC "Logic 0" rango voltaje de entrada: 0V ... 4V DC
3	Entrada digital 2	
4	Entrada digital 3 / Entrada analógica 2	Digital: 8 a 30V Analógica: 0 a 10V, 0 a 20mA o 4 a 20mA
5	Salida +10V	+10V, 10mA, 1kΩ mínimo
6	Entrada analógica 1 / Entrada digital 4	Analógica: 0 a 10V, 0 a 20mA o 4 a 20mA Digital: 8 a 30V
7	0V	Masa conectado a terminal 9
8	Salida analógica / Salida digital	Analógica: 0 a 10V, 20mA máximo Digital: 0 a 24V
9	0V	Masa conectado a terminal 7
10	Relé común	
11	NO contacto relé	Contacto 250Vac, 6A / 30Vdc, 5A

4.3.2.4. Conexión RJ 45

Para equipos con software V1.02 & superior



4.3.2.5. Teclado

	NAVEGADOR	Utilizada para visualizar la información en tiempo real, acceder y salir del modo edición de parámetro y para guardar cambios de parámetros.	
	SUBIR	Utilizada para incrementar la velocidad en tiempo real o para incrementar los valores de los parámetros en modo edición.	
	BAJAR	Utilizada para disminuir la velocidad en tiempo real o reducir los valores de los parámetros en modo edición.	
	RESET / STOP	Utilizada para resetear un equipo en alarma. Cuando está en modo teclado es utilizada para parar un equipo en marcha.	
	START	Cuando está en modo teclado, es utilizada para arrancar un equipo parado o para invertir la dirección de rotación si el modo teclado bidireccional está habilitado.	

Para cambiar el valor de un parámetro se debe presionar y mantener la tecla NAVEGADOR por más de un segundo, se visualiza la palabra STOP, que luego cambia a P01 para parámetro 01. Para visualizar el parámetro se pulsa una vez la tecla NAVEGADOR. Luego se cambia el valor con las teclas arriba y abajo, para guardar los cambios se pulsa de nuevo la tecla NAVEGADOR.

Para cargar los parámetros de fábrica se pulsan las teclas ARRIBA, ABAJO, RESET por más de dos segundos. El display mostrará p-def. Presionar RESET para reconocer y “resetear” el equipo (ver Anexo B).

4.3.2.6. Prueba de terminal. El Optidrive viene con parámetros de fábrica (ver Anexo B), lo que significa que se pueden hacer pruebas por terminal.

Progreso de la prueba:

- Se conecta el motor al equipo, comprobando la conexión del motor para rangos de voltaje, delta/estrella.
- Se introducen los datos del motor: Para voltaje nominal = P-07, corriente de motor nominal = P-08, frecuencia de motor nominal = P-09.
- Se conecta el interruptor de macha entre los terminales 1 y 2, asegurándose que éste esté deshabilitado.
- Se conecta un potenciómetro de 10Kohms, entre las terminales 5 y 7, y el cursor en la terminal 6. Con el potenciómetro en cero, la pantalla del variador muestra STOP.
- Se cierra el interruptor de marcha y el variador queda habilitado para variar la velocidad/frecuencia con el potenciómetro. En la posición mínimo, la pan-

talla mostrará la velocidad en Hz, H 00, al girar el potenciómetro al máximo el motor acelerará a H 50 (50Hz) que es su valor de fábrica.

- Para visualizar la corriente del motor se pulsa la tecla NAVEGADOR.
- Finalmente se para el motor abriendo el interruptor entre los terminales 1 y 2, o se gira el potenciómetro a la posición mínima.

4.3.2.7. Prueba con el teclado. Para controlar el variador desde el teclado se habilita P-12=1:

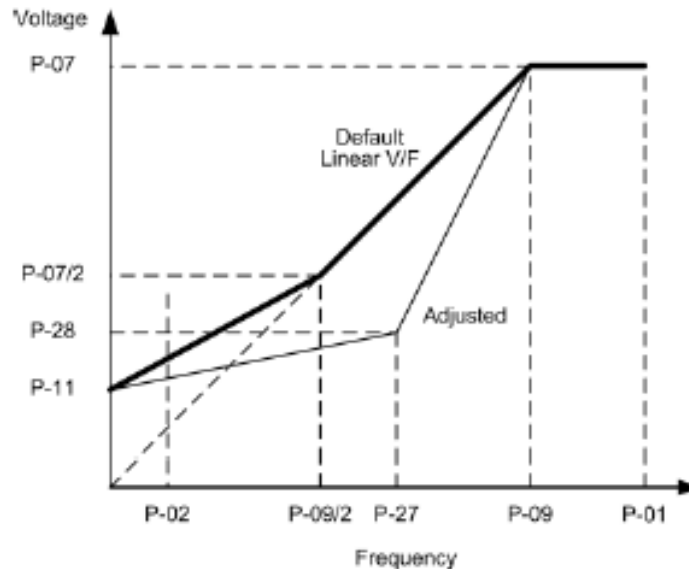
- Con el motor conectado, se habilita el interruptor entre las terminales 1 y 2. El display muestra STOP.
- Se presiona la tecla START, el display mostrará H 00.
- Se presiona la tecla ARRIBA para aumentar la velocidad.
- Se presiona la tecla ABAJO para disminuir la velocidad. El motor disminuirá la velocidad hasta que se suelte la tecla. El rango de desaceleración está limitado por P-04.
- El display finalmente mostrará STOP, al detener el motor.
- Si se presiona la tecla RESET/STOP, el motor desacelerará hasta detenerse.
- Para la programación de una velocidad, se presiona, con el motor detenido, la tecla RESET/STOP, el display muestra la velocidad objetivo, que es cambiado usando las teclas ARRIBA/ABAJO. Se presiona la tecla RESET/STOP para volver a visualizar STOP.
- Se presiona START, para iniciar el motor hasta la velocidad objetivo.

Para permitir el control de giro en los dos sentidos:

- Se ajusta P-12 = 2.
- Se repiten los pasos para P-12 = 1, para arrancar el motor.
- Se presiona la tecla START y el display muestra H 00.
- Si se presiona la tecla ARRIBA, la velocidad aumenta.
- Si se desea el giro el sentido contrario, se presiona de nuevo la tecla START.

4.3.2.8. Ajustes de voltaje/frecuencia. La característica V/F es definida por diferentes parámetros como se muestra en la gráfica siguiente:

Figura 101. Gráfica Voltaje / Frecuencia.



Fuente: http://www.invertek.co.uk/product_optidrive_e2_manuals.aspx

A determinada frecuencia se reduce el voltaje del motor y de esta forma el par y la potencia. La curva V/F puede ser modificada usando P-28 y P-29, donde P-28 determina el porcentaje de incremento y reducción del voltaje aplicado al motor en la frecuencia especificada en la frecuencia P-29. Esto es útil si se presenta inestabilidad del motor en algunas frecuencias.

Para ahorrar energía, por ejemplo en aplicaciones de bombas, es posible activar el parámetro P-6 que optimiza el uso de la energía, lo que reduce el voltaje aplicado para cargas ligeras.

4.3.2.9. Montaje

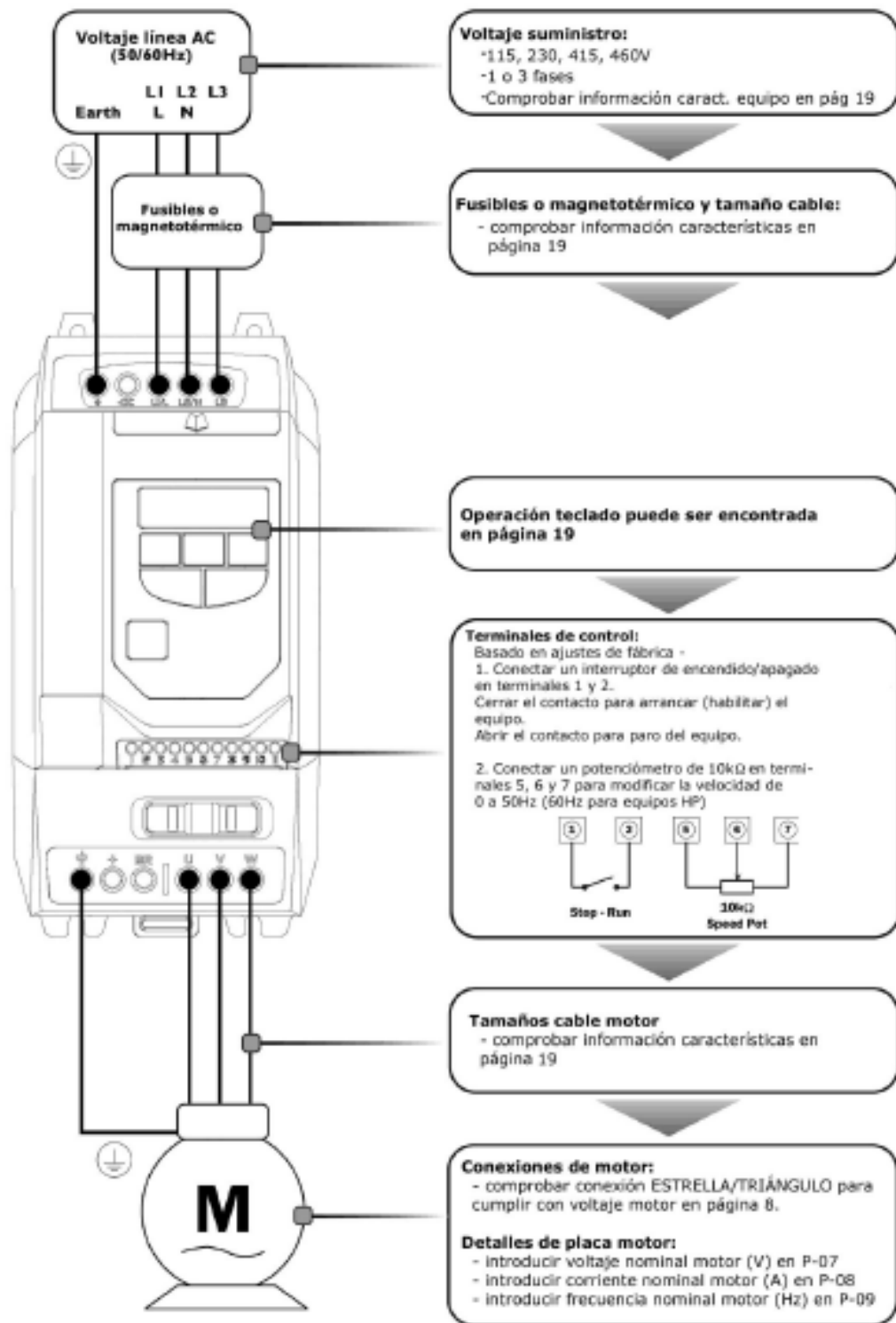


Figura 102. Montaje completo de la máquina.



Figura 103. Detalle del montaje completo y ubicación de componentes.



4.3.2.10. Características

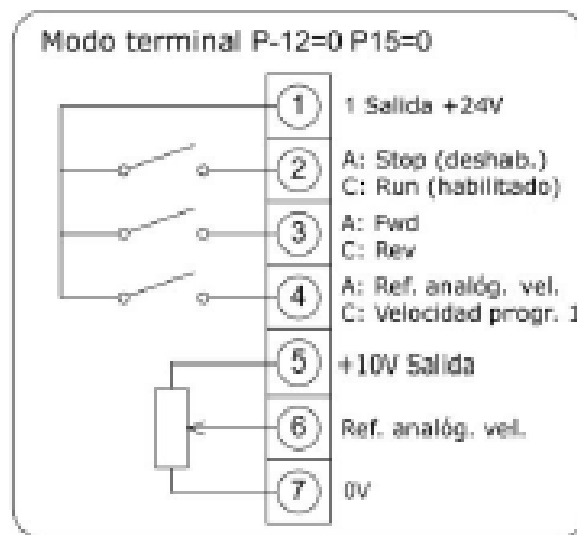
200-240V ±10% - Entrada monofásica – salida trifásica

kW	HP	Tamaño estructura	Corriente entrada nominal	Fusible o MCB (tipo B)	Tamaño suministro cable	Corriente salida nominal	150% Corriente salida 60 secs	Tamaño cable motor	Log. Máx. cable motor	Valor min. resis. frenada
			Amps	Ampe	mm ²	Ampe	Ampe	mm ²	m	Ω
0.37	0.5	1	6.7	10	1.5	2.3	3.45	1.5	25	-
0.75	1	1	12.5	18	1.5	4.3	6.45	1.5	25	-
1.5	2	1	19.3	25	4	7	10.5	1.5	25	-
1.5	2	2	19.3	25	4	7	10.5	1.5	100	47
2.2	3	2	28.8	32 (35)*	4	10.5	15.75	1.5	100	47

200-240V ±10% - Entrada trifásica – salida trifásica

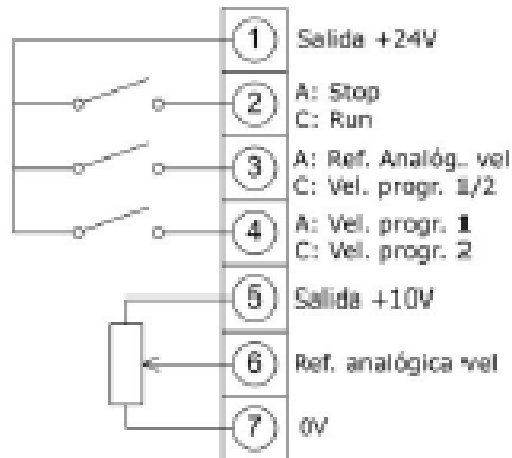
kW	HP	Tamaño estructura	Corriente entrada nominal	Fusible o MCB (tipo B)	Tamaño suministro cable	Corriente salida nominal	150% Corriente salida 60 secs	Tamaño cable motor	Log. Máx. cable motor	Valor min. resis. frenada
			Amps	Ampe	mm ²	Ampe	Ampe	mm ²	m	Ω
0.37	0.5	1	3	8	1.5	2.3	3.45	1.5	25	-
0.75	1	1	5.8	10	1.5	4.3	6.45	1.5	25	-
1.5	2	1	9.2	18(15)*	2.5	7	10.5	1.5	25	-
1.5	2	2	9.2	18	2.5	7	10.5	1.5	100	47
2.2	3	2	13.7	20	4	10.5	15.75	1.5	100	47
4.0	5	3	20.7	32	4	18	27	2.5	100	47

4.3.2.11. Aplicaciones típicas



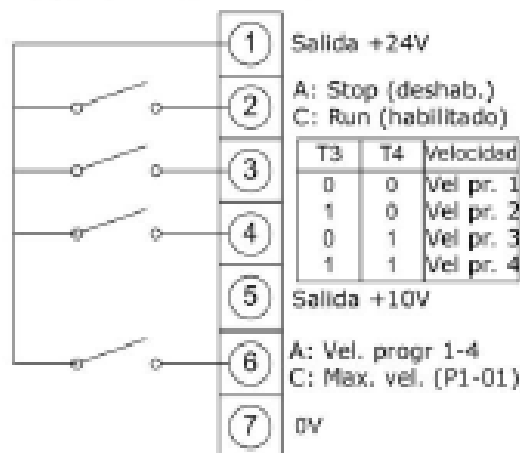
Entrada analógica velocidad con velocidad programada 1 y conmutación fwd/rev

Modo terminal P-12=0 P15=1

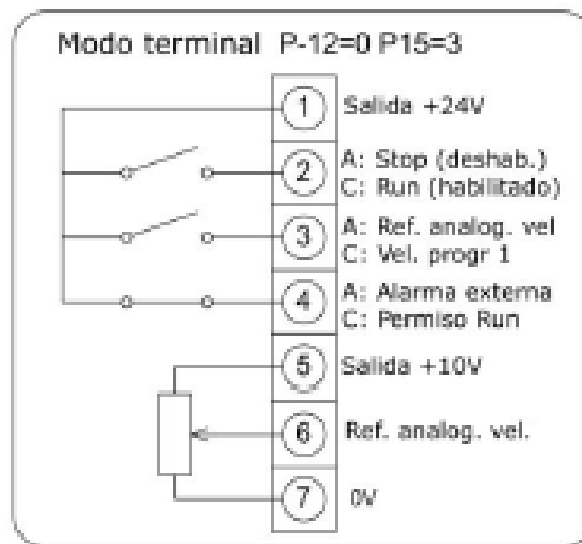


Entrada analógica velocidad con 2 velocidades programadas

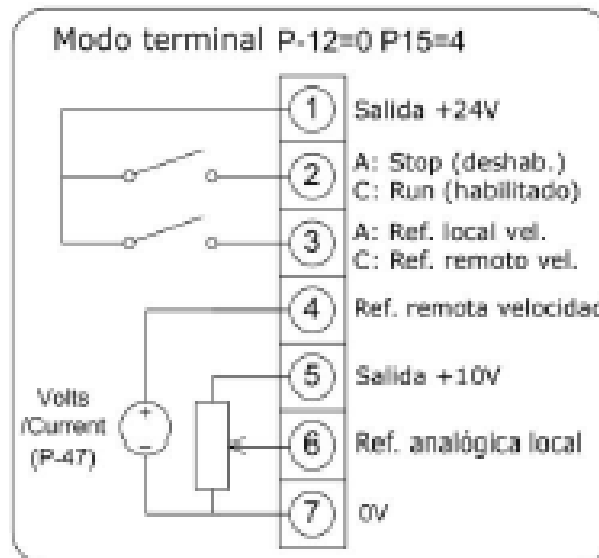
Modo terminal P-12=0 P15=2



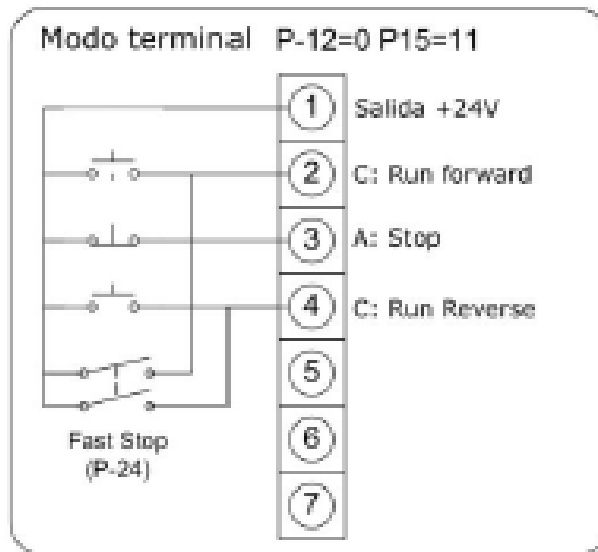
4 Velocidades programadas y conmutación a max. velocidad consiguiendo 5 velocidades programadas



Entrada analógica velocidad con 1 velocidad programada y alarma motor termistor



Velocidades analógicas local o remota (2 entradas analógicas)



Pulsadores fwd/rev/stop con parada rápida usando la segunda rampa de deceleración

4.4. SISTEMA DE ADVERTENCIA E INDICACIONES DE FUNCIONAMIENTO DE LA MÁQUINA

El sistema de advertencia, son todas las señales visuales y/o sonoras que, como su nombre lo indica, están dirigidas a prevenir e informar sobre los diferentes estados de funcionamiento de la máquina centrífuga.

4.4.1. Luz de encendido. Esta luz se enciende indicando que se ha encendido la máquina (obturando la llave de encendido) pero aún no está realizando ninguna acción, en este momento se debe cargar el molde en el plato porta molde, teniendo cuidado de ajustarlo con precisión.

4.4.2. Luz de cerrado. Esta luz se enciende cuando se obtura la llave selectora a la posición de "CERRADO" de la máquina, el molde debe estar ya cargado en el plato porta molde. El cilindro neumático comienza su carrera de cierre y la máquina comienza el centrifugado. El proceso de cerrado de la máquina toma 10 segundos, luego, se activa el giro del motor para comenzar el centrifugado, en este momento se debe empezar a derramar el material en el embudo de la máquina.

4.4.3. Luz de vaciado. Indica que el centrifugado ha comenzado y tiene un tiempo de 10 segundos de duración. El material fundido debe ser derramado en el interior del molde.

Esta luz es de color amarillo y está colocada de tal forma que sea visible por todos los operarios de la planta o de la sección donde se encuentra instalada la máquina centrífuga.

4.4.4. Luz de apertura. Esta luz se enciende en el momento en el que se detiene el motor eléctrico, señalando que se obturó la llave selectora de tres posiciones en la posición de “APERTURA”.

Esta luz se mantiene encendida mientras el cilindro regresa a su posición inicial abriendo el plato porta molde para retirar las piezas del molde o para reemplazar este.

Una vez retiradas las piezas o reemplazado el molde, la maquina está lista nuevamente para realizar el proceso de cerrado y centrifugado otra vez.

Esta luz es de color verde y está colocada de tal forma que sea visible por todos los operarios de la planta o de la sección donde se encuentra instalada la máquina centrífuga.

Figura 104. Panel con sistema de advertencia e interruptores de control-



4.5. SISTEMA DE CONTROL LÓGICO

Para este sistema de control se usó un PLC DURUS General Electric Fanuc modelo IC210DAR010 BA, seleccionado por que cumple con las expectativas del trabajo a realizar y por la garantía del producto.

Características:

- Peso: 230g
- Medidas: 105x65x83
- Alimentación 110-230Volts a 1,3 mA, 50/60Hz
- No de entradas: 6 ac
- No de salidas: 4, por relé aislados de hasta 240V-8Amp
- Puertos de expansión: Admite hasta 34 entradas y salidas
- Pantalla (4 líneas por 12 caracteres) y teclado integrados
- Memoria: 200 peldaños y 99 bloques

Este controlador puede ser programado por pantalla y teclado integrados, o por medio de software integrado (Durus Development Software).

Tabla 11. Características generales del controlador DURUS.

Prestaciones	Durus 10	Durus 12	Durus 20	Durus 24
E/S Digitales Base	6 in/ 4 out		12 in/ 8 out	
E/S Digitales Máximas	18 in/ 16 out		20 in/ 24 out	
E/S Analógicas Base	None	2 in	None	4 in
Alimentación	82-265VAC/VDC	20.4 - 28.8 VDC	85/265 VAC/VDC	20.4 - 28.8 VDC
Unidades de Expansión	Hasta 3 expansiones discretas y 1 analógica			
Memoria de Programación	99 escalones o 99 bloques de función			
Lenguajes de Programación	Ladder o Diagrama de bloque de función			
Velocidad de Ejecución	10ms/ciclo			
LCD Display	4 líneas y 12 caracteres - LCD con backlight			
Cant. de Frases de Texto	15			
Idiomas Soportados	Ingles, Francés, Alemán, Español, Portugués, Chino, Italiano			
Memoria p/ Reloj Real Time	Hasta 15			
Memoria para Timers	Hasta 15:0.01 segundos a 9999 minutos			
Memoria para Contadores	Hasta 15: 0 a 999999			
Memoria para Comparadores	Hasta 15			
Frecuencia Entradas Rápidas	---	1kHz	---	1kHz
Frecuencia Salidas PWM	---	0.5kHz	---	0.5kHz
Modbus Slave Incluido	---	---	---	Opcional
Opciones de Comunicaciones	Modbus Slave, Profibus Slave, DeviceNet Slave			

Figura 105. Detalle controlador DURUS.



Fuente: <http://www.ge-ip.com/products/family/durus-plc>

El software de programación es instalado en un computador y está en la capacidad de usar los lenguajes de programación: Ladder y FBD (Function Block Diagram). La selección del lenguaje se hace al comienzo de la sesión (Figura 106).

La programación directa usando el teclado y pantalla integrados se hace en lenguaje FBD.

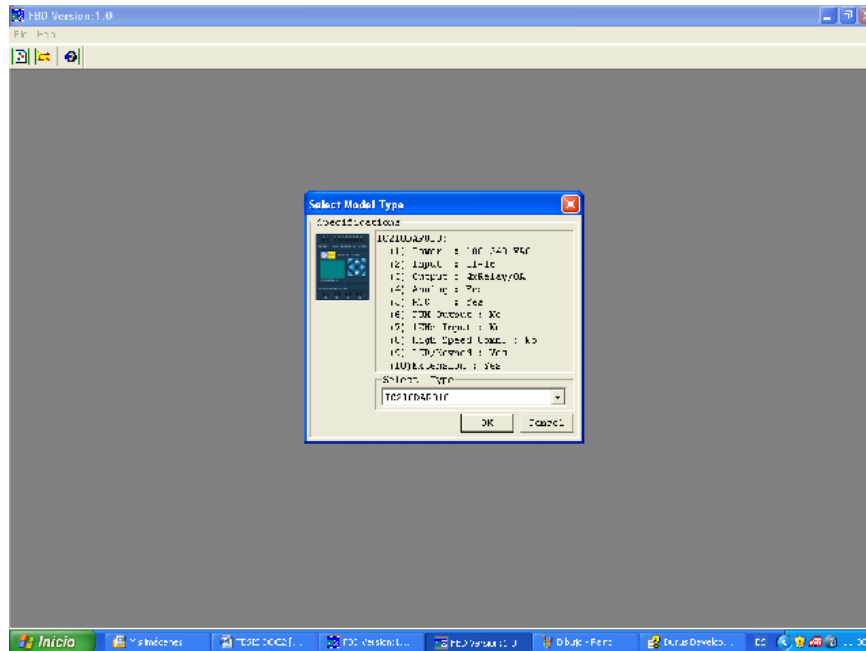
Figura 106. Pantalla de inicio al software de programación.



Fuente: Durus development software

Paso seguido se selecciona el modelo de PLC que se va a programar (Figura 107).

Figura 107. Pantalla selección modelo del PLC.



Fuente: Ibíd.

4.5.1. Programación. Para su programación se tuvo en cuenta que el PLC es el encargado de controlar la apertura y el cierre del porta molde, el inicio y detención de la acción de centrifugación, así como las luces de advertencia o de estado de la máquina centrifugadora.

- MACRO ETAPAS:

1. INICIO, START
2. CERRAR PORTA MOLDE
3. CENTRIFUGADO
4. ABRIR PORTA MOLDE

- PROCESO:

1. El SW INICIO/START en la posición ON, activa la entrada I01 del PLC, acción que debe encender una bombilla indicando que la máquina está lista para comenzar a trabajar, salida Q01. Sin esta señal el PLC no hace ninguna otra acción.

2. El SW CIERRE PLATO en la posición ON, activa la entrada I02 del PLC, acción que excita el solenoide de la electroválvula para que salga el vástago y cierre el porta molde. Al mismo tiempo se debe encender una bombilla que indica que el plato se está cerrando, salida Q02.

Se activa un retardo (B03) de 10 segundos para asegurarse que el plato está completamente cerrado. Transcurrido este tiempo, comienza la acción de centrifugado, el PLC enciende una luz de vaciado Q06 para que se empiece a derramar el material fundido en el interior del molde, al mismo tiempo que activa el variador de velocidad para que arranque el motor eléctrico a las revoluciones programadas con anterioridad en él, salida del PLC Q03.

La acción de centrifugado (B04), para efectos de demostración es de 10 segundos, pero puede ser variado directamente en pantalla, según se necesite.

3. El SW ABRIR PLATO en la posición ON, activa la entrada I03, el PLC excita el solenoide de la electroválvula para que regrese el vástago y abra el porta molde, salida del PLC Q4. Al mismo tiempo se enciende una bombilla indicando que está en proceso la apertura del plato, salida Q5. Una vez se apague la luz indicadora, el cilindro neumático debe estar detenido, el porta molde completamente abierto y en este momento se pueden retirar las pizzas.

Para los interruptores SW CERRAR PLATO Y SW ABRIR PLATO, se usó una llave selectora de tres posiciones, ON, OFF, ON. De esta forma se previene que se activen al mismo tiempo la apertura y cierre del plato, lo que puede resultar peligroso, pues la respuesta de la máquina es inesperada.

Tabla 12. Nombres de las entradas y salidas del PLC, con sus respectivas etiquetas.

ENTRADAS	ETIQUETAS
INICIO, RESET, START	I01
SW CERRADO DE PORTA MOLDE	I02
SW APERTURA DE PORTA MOLDE	I03
SALIDAS	ETIQUETAS
BOMBILLA ENCENDIDO	Q01
BOMBILLA CERRADO PORTA MOLDE	Q02
CERRAR PORTA MOLDE	
BOBILLA VACIADO	Q03

ACCIÓN DE CENTRIFUGADO (GIRO MOTOR)	Q06
BOMBILLA ABIERTO PORTA MOLDE	Q05
ABRIR PORTA MOLDE	Q04

Si es pulsado el sw de apertura antes que el de cierre, la máquina encenderá la luz de apertura y abrirá el porta molde, dejando así expuesto el molde para fundición. Esta acción permite el cambio del molde o permite sacar las piezas fundidas.

La velocidad de rotación depende del material fundido y del molde que se estén utilizando. Por lo general el valor de esta velocidad se determina por medio de una prueba preliminar. El material fundido por las pequeñas y medianas empresas no tiene un elaborado estudio metalúrgico o no es material puro, por lo tanto es imposible determinar la velocidad para la carga de un material específico usando cálculos matemáticos.

Una prueba preliminar de velocidad con material fundido da valores que pueden ser usados para una carga de material completa y este mismo valor puede ser usado en el futuro si se requiere fundir el mismo material.

El variador de velocidad está en la capacidad de guardar varios programas para varias velocidades. Dependiendo del material, se selecciona un programa específico.

Tabla 13. Nombres de los timers y retrasos del PLC, con sus respectivas etiquetas.

TIMERS Y RETRASOS	ETIQUETAS
B03	TIEMPO DE SEGURIDAD PARA ACTIVAR EL MOTOR, 10 segundos
B04	TIEMPO DE CENTRIFUGADO, 10 segundos
B06	TIEMPO DE APERTURA PORTA MOLDE, 10 segundos

4.5.2. Topología. En la Figura 92 pag 111 se muestra la topología del sistema de control, las señales de entrada al sistema de control están constituidas por los interruptores: SW1, SW2 y SW3. El operario maneja solamente las consignas que en este caso son: encendido, cierre porta molde y apertura porta molde, el sistema de control se encarga de gobernar los accionamientos que en este caso son los elementos de potencia (electroválvula, variador de velocidad y bombillas de seguridad).

Figura 108. Topología del sistema de control.

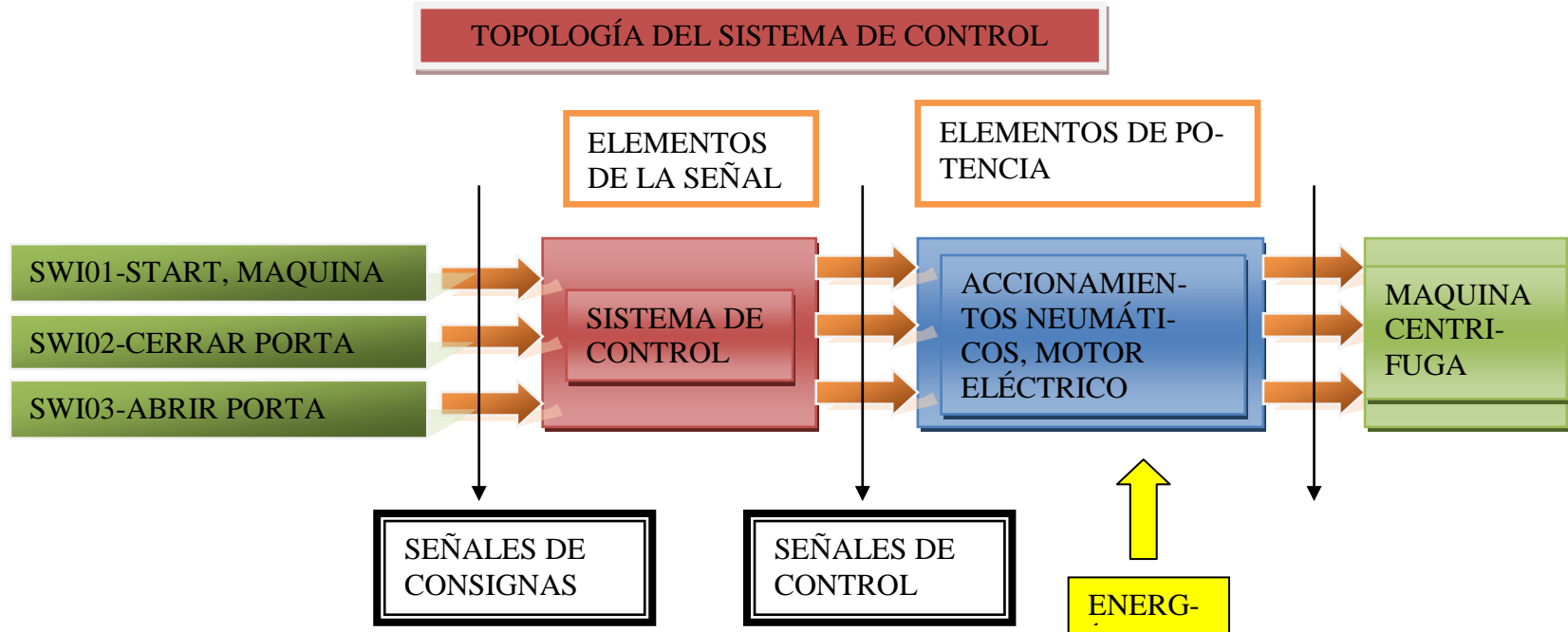


Figura 109. Grafcet del programa de control del PLC.

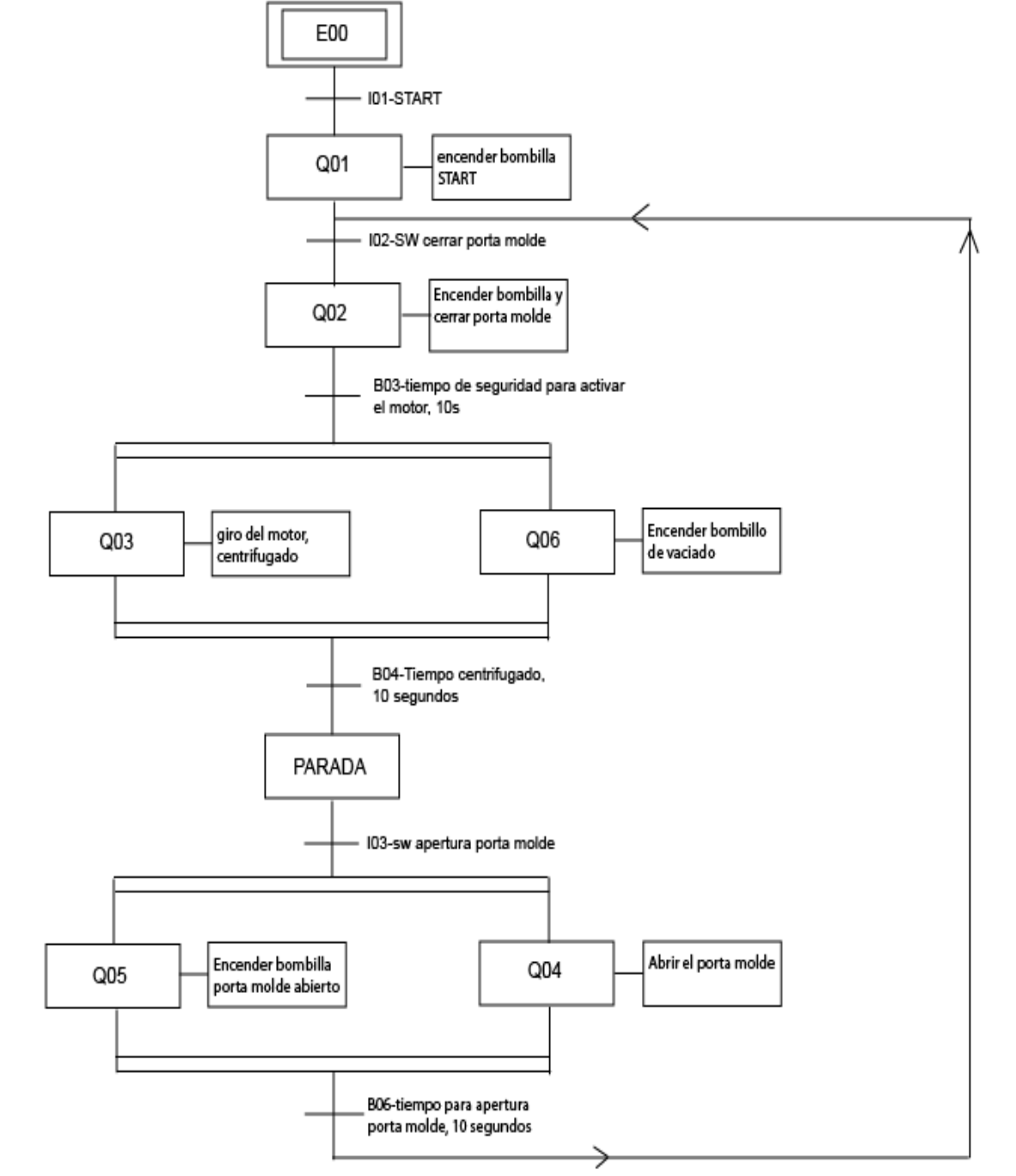


Figura 110. Detalle programa FBD PLC DURUS, para encendido, luz y cierre del porta molde, con retraso de seguridad de 10 segundos antes de activar el motor.

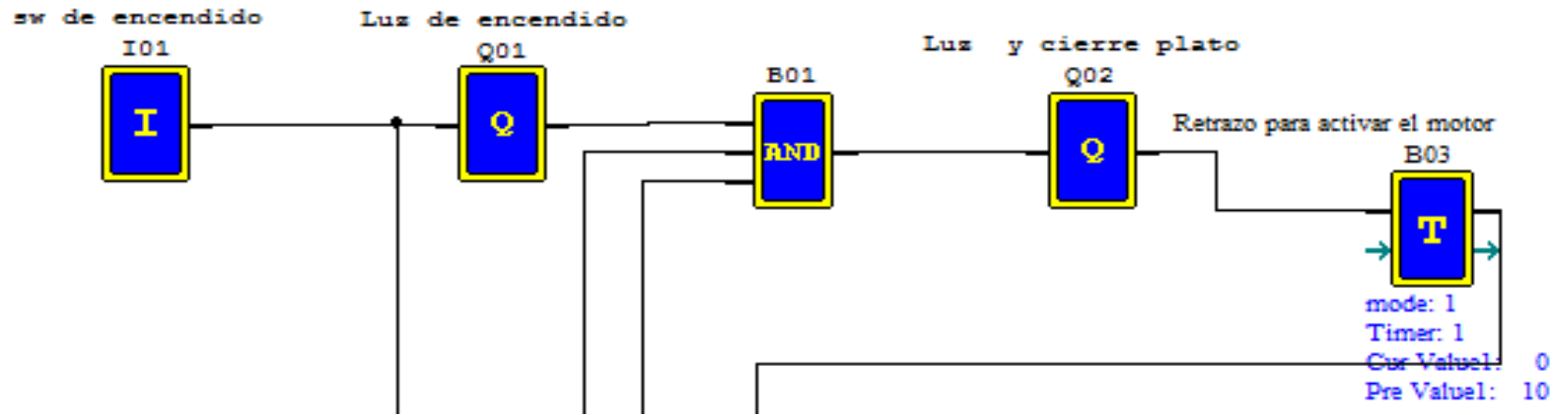


Figura 111. Detalle programa FBD PLC DURUS, para sw de cerrado, timer de giro del motor de 10 segundos, luz de vaciado de material fundido y giro del motor.

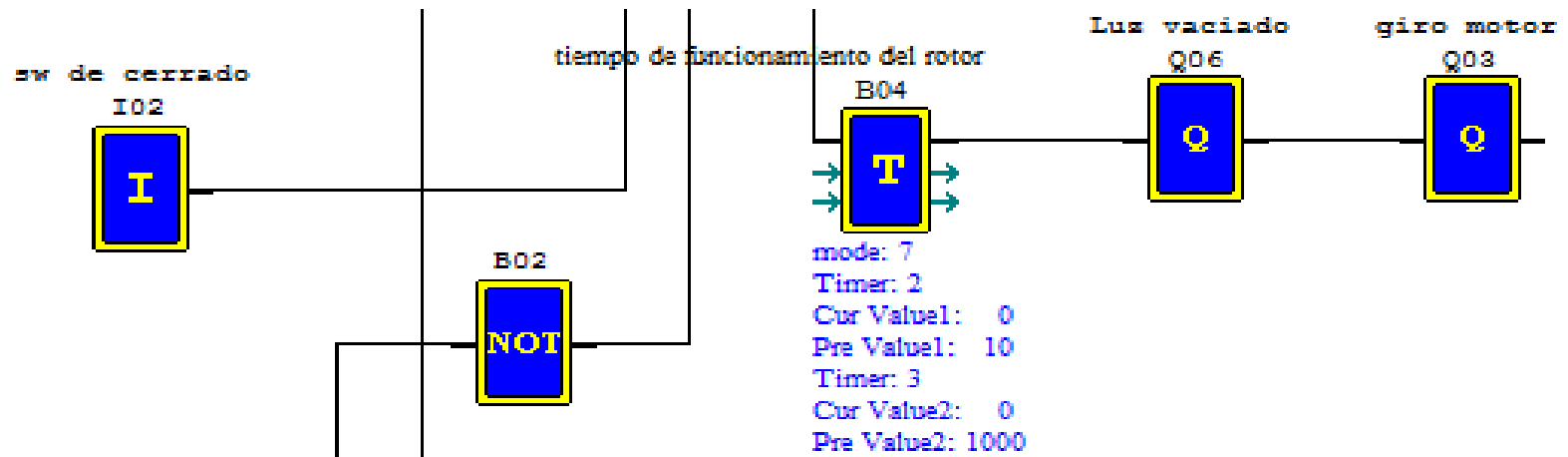


Figura 112. Detalle programa PBD PLC DURUS, para sw de apertura, timer de 10 segundos para seguridad de apertura del porta molde, luz de apertura porta molde y apertura del porta molde.

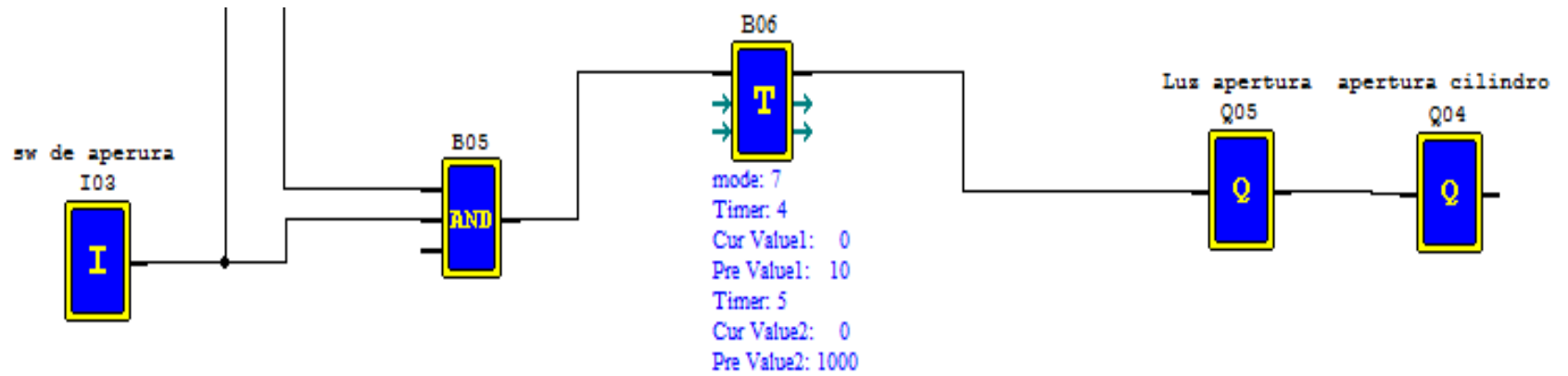
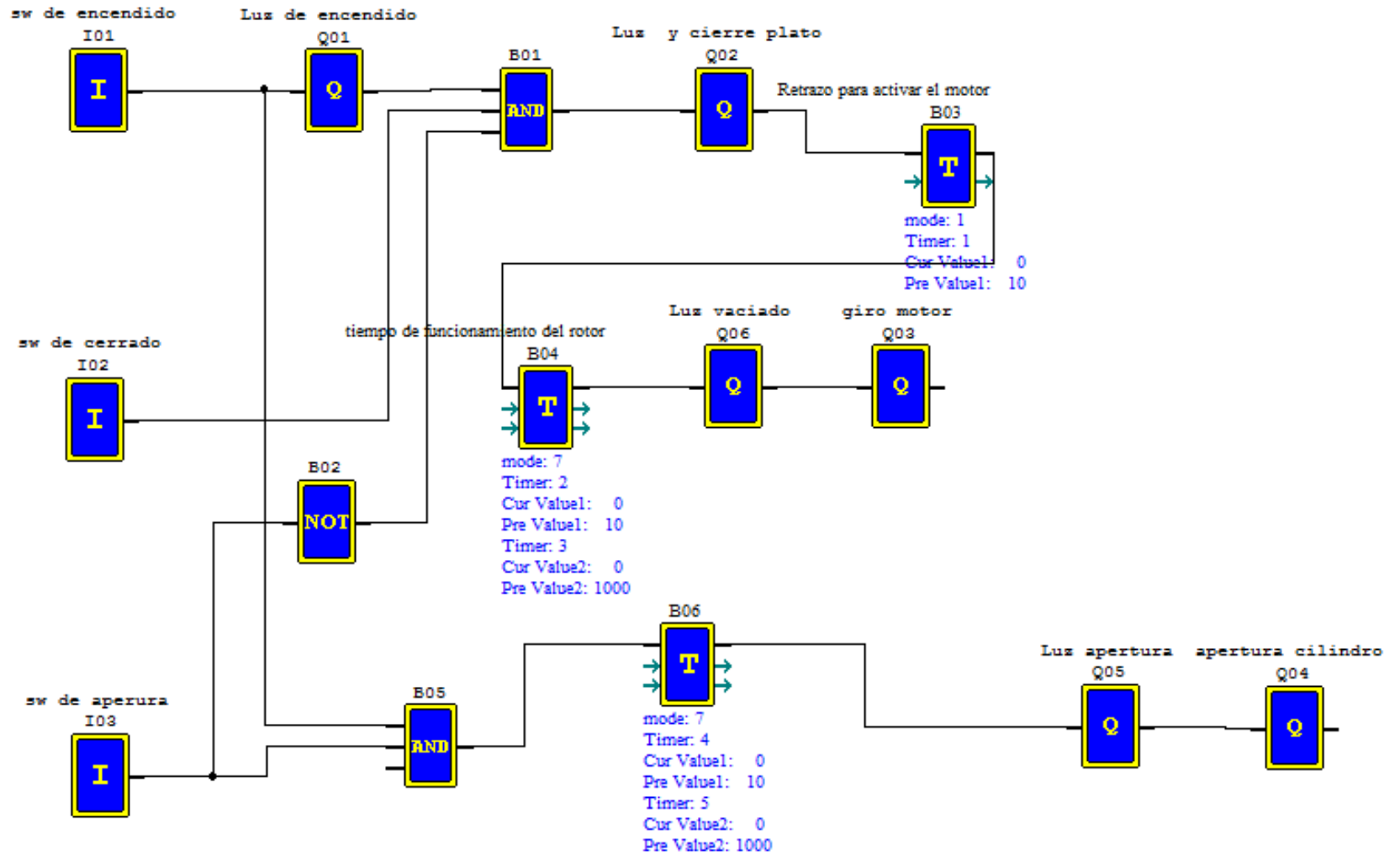


Figura 113. Programa completo FBD PLC DURUS para máquina centrifugadora.



5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

El tiempo de preparación de los moldes de coquilla fijos para la fundición de piezas para la interconexión eléctrica, dependía de la habilidad del operario encargado (experiencia en fundición, por ejemplo, tiempos de enfriamiento) y también de la cantidad de operarios requeridos para este trabajo. Podría llevar toda una mañana o parte de ella. El tiempo no es exacto debido a que depende de muchos factores (cantidad de operarios, otros trabajos de la fábrica, el espacio, los materiales, cantidad de máquinas para moldes de coquilla fijos, e.t.c.).

El tiempo de preparación de la máquina es mínimo, en general solo depende del tiempo que demore la puesta del molde en el porta moldes y el encendido de la máquina. Para la máquina centrifugadora no se necesita ninguna experiencia, pues todo depende que el molde sea de calidad, el resto es automático.

En el caso de las piezas para la interconexión eléctrica, la capacidad de producción estaba limitada al número de moldes de coquilla fija que se podían hacer y ordenar físicamente en el área de trabajo. Por molde se podía extraer 1 pieza fundida cada vez y la cantidad de moldes fijos que se podían disponer en el área (espacio disponible) de trabajo era de 30 a 40, dependiendo del tamaño del molde y de otros trabajos que estuviese realizando la empresa en ese momento.

La máquina centrifugadora solo ocupa dos metros cuadrados de la empresa, es operada por dos personas máximo y, para el caso de las piezas para interconexión eléctrica, en el molde se pueden fundir una cantidad de hasta doce de ellas. Dependiendo del tamaño de la máquina centrifugadora, pues en una máquina de mayor tamaño, se podrían usar moldes más grandes y así aumentar la cantidad de piezas fundidas (ver ejemplo molde para piezas de interconexión eléctrica Figura 8, pág 17).

El tiempo requerido para el vaciado, centrifugado y enfriado de las piezas para ser retiradas del molde es de entre 8 y 10 segundos, según el material, el tamaño de las piezas y la cantidad de ellas por molde. Para el caso de las piezas de interconexión eléctrica, cada 8 segundos se funden 12 piezas, lo que demuestra que es una cantidad muy superior en producción, comparándolo con el sistema anterior.

Otro factor importante es la calidad de las pieza, que debido al tipo de molde usado para esta máquina y al proceso de centrifugado, permite una presión en el molde que no se obtiene con moldes de arena o coquilla fija, ya que son sistemas de fundición por gravedad. La cantidad de rechazos disminuye y las piezas son más compactas, homogéneas y uniformes.

En el modelo a escala, el tiempo de cierre del porta molde es el requerido, la presión de las dos partes de este es suficiente para mover el porta molde, incluso sin una guía de seguridad. Lo que sugiere que la presión es la adecuada.

En el proceso de centrifugado no se notaron vibraciones fuertes, solo la mínima esperada. Inclusive a la máxima velocidad. Se hicieron pruebas con tres velocidades de centrifugado diferentes, una a la máxima velocidad, otra a la mitad de la velocidad y una última al 25 % de la velocidad máxima que puede alcanzar el motor eléctrico. También se hicieron pruebas usando una resistencia de 10 Kohm, variando la velocidad en pleno funcionamiento del motor y no se encontró ningún inconveniente mayor.

El tiempo de centrifugado cumplió con el de la programación y se consiguió variar este tiempo a 20 segundos usando los mandos (teclado y pantalla) incluidos en el PLC, funcionando a cabalidad. La detención del movimiento rotacional fue dentro de los parámetros de seguridad (menos de 10 segundos). Lo que permitió que el tiempo de apertura del cilindro también se llevara a cabo según lo planeado y sin peligro de daños a alguna parte de la máquina.

Las luces de advertencia funcionaron a cada paso del proceso de fundición por centrifugado.

No se notaron interferencias electromagnéticas o de otro tipo en los equipos de control, que funcionaron correctamente durante todo el proceso de pruebas. No hubo sobre calentamiento en algún elemento de la alimentación eléctrica. El paro de emergencia funcionó correctamente y solo tardó en detenerse la centrifugación.

En la parte de neumática, no se encontraron escapes de aire o falta de presión en algún dispositivo, se hicieron pruebas a presiones hasta un 75% más bajas y aún así todo el sistema funcionó correctamente.

6. CONCLUSIONES

La máquina centrifugadora para la fundición de piezas pequeñas y medianas, le da al empresario del sector la ventaja competitiva requerida para entrar en diferentes mercados. La cantidad de piezas pequeñas o medianas que puede producir es mucho mayor que con otros sistemas como el de coquilla fija o el de moldes de arena.

Los costos de producción se reducen, la calidad de las piezas aumenta. Los operarios pueden ser aprovechados para realizar otras labores importantes en la empresa.

Este es un sistema automatizado que requiere de menos personal, menos espacio y menos tiempo de producción.

La máquina centrifugadora está construida sobre una estructura metálica resistente a la vibración y a las fuerzas que sobre ella se ejerce, la alimentación eléctrica es de 110/220V, estándar de cualquier empresa de fundición. Es resistente a salpicaduras de agua, al polvo y a temperaturas de hasta 40°C (motor eléctrico). La alimentación neumática, es de fácil implementación y cada uno de sus elementos está diseñado para el correcto funcionamiento en las condiciones de la fábrica. La máquina es flexible en cuanto a tiempos y velocidades de ejecución, por lo tanto se puede adaptar fácilmente a otras necesidades como el cambio de molde para piezas diferentes.

La instalación de la máquina es simple, así como su manejo, ya que requiere un esfuerzo mínimo ponerla en marcha.

La máquina ocupa un espacio reducido en comparación con los sistemas anteriores de fundición.

El modelo de simulación de una máquina centrifugadora para la fundición, da una idea clara del funcionamiento de los diferentes sistemas que la componen y, aunque no esté en la capacidad de fundir piezas debido a la falta del molde (por costos), si es una representación real de la máquina industrial ya que tiene todas las características necesarias como los son: la apertura y cierre del porta molde por medio de un sistema neumático, las velocidades que están definidas por el motor eléctrico y el variador de velocidad, alcanzando una velocidad máxima de 1700 r.p.m. a $\frac{1}{2}$ HP.

Los tiempos de centrifugado, apertura y cierre del plato porta molde son comandados desde el PLC y pueden ser variados si es necesario. Por último, el modelo cuenta con el sistema de control que comanda toda la operación.

7. RECOMENDACIONES

Un operario deberá ser capacitado para cargar los programas de funcionamiento preestablecidos (si es que hay más de uno) al PLC. Aunque es posible dejar diferentes programas para diferentes aplicaciones, que simplemente pueden ser cargados al PLC,

Otro factor importante es el tiempo de vaciado de material fundido, el cual debe ser, en lo posible, el mismo para todo el proceso de centrifugación.

Se debe hacer mantenimiento periódico del sistema de presión de aire, esto para prevenir los escapes de aire, debido a que podría acarrear accidentes dañando la máquina o al operario. El sistema de alimentación neumático debe estar aislado para evitar daños en el mismo, producto de pisadas o material fundido, etc.

Es recomendable no usar moldes que sobre pasen el diámetro del porta molde o que sobre pasen la capacidad de peso que puede alzar el cilindro neumático.

La instalación eléctrica de la máquina debería tener un circuito de seguridad para evitar sobrecargas en el sistema. La red eléctrica de la fábrica debe garantizar la correcta alimentación eléctrica de cada una de sus máquinas de trabajo, para evitar apagones o sobre voltajes.

Alrededor de la máquina se podría disponer de un área segura para evitar accidentes durante el vaciado o durante funcionamiento de la misma. Esto se puede realizar mediante el uso de señales visuales o barreras físicas que alerten sobre el riesgo que se corre al estar junto a la máquina mientras trabaja.






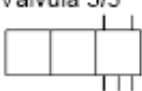
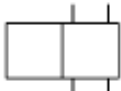
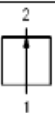





Los diferentes cables de alimentación y de comunicaciones deben estar protegidos debidamente para evitar accidentes o malos funcionamientos debidos a desgastes, roturas o cortos circuitos, e.t.c.

BIBLIOGRAFÍA

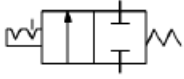
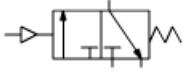
- AUTOMATIZAR CON NEUMÁTICA, Catalogo Básico, 1ª Edición, FESTO, 2001.
- BALCELLS, JOSEP y ROMERAL, JOSÉ LUIS. Autómatas programables, 1ª Edición, Editorial Marcombo, 1997.
- BOLTON, WILLIAM. Mechatronics, Electronic Control System in Mechanical and Electrical Engineering, 3ª Edición, Pearson Education Limited, 2007.
- BOSE, BIMAN K. Power electronic and ac drives, 1ª Edición, Prentice Hall, 1986.
- DE LA CRUZ LAZO, CÉSAR RENÉ. Fundamentos de diseño digital, 1ª Edición, Editorial Trillas, 1988.
- DEPPERT, W.; STOLL, K. Dispositivos neumáticos, Introducción y Fundamentos, 2ª Edición, Marcombo Boixareu Editores, 1982.
- GÄGNER, ROLF. Curso de neumática para la formación profesional, Manual de Estudio, 1ª Edición, FESTO DIDACTIC, 1978.
- HASEBRINK, J.P.; KOBLER, R. Introducción a la técnica neumática de mando, Manual de Estudio, 3ª Edición, FESTO DIDACTIC, 1982.
- MEIXNER, H., KOBLER, R. INICIACIÓN al personal de montaje y mantenimiento, Manual de Estudio, 2ª Edición, FESTO DIDACTIC, 1980.
- MULLER, W. Electrotecnia de potencia curso superior, 1ª Edición, Editorial Reverté, S.A. GTZ, 1984.
- MURPHY, J.M.D. AND TUMBULL, F.G. Power electronics control of ac drives, 1ª Edición, Pergamon Press, 1988.
- RASHID, MUHAMMAD H. Electrónica de potencia, circuitos, dispositivos y aplicaciones, 2ª Edición, Prentice Hall Hispanoamericana S.A., 1995.

ANEXO A LISTA DE SÍMBOLOS GRÁFICOS IMPORTANTES EN NEUMÁTICA

Indicación de vías y posiciones para válvulas neumáticas:

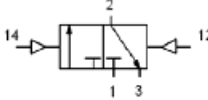
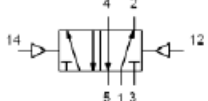
	Una posición.
	Dos posiciones.
	Tres posiciones.
Válvula 2/2 	Válvula de dos vías y dos posiciones.
Válvula 3/2 	Válvula de tres vías y dos posiciones.
Válvula 5/3 	Válvula de cinco vías y tres posiciones.
Válvula 4/2 	Válvula de cuatro vías y dos posiciones.
	El aire circula de 1 a 2
	El aire circula de 3 a 4
	El trazo transversal indica que no se permite el paso de aire.
	El punto relleno, indica que las canalizaciones están unidas.
	El triángulo indica la situación de un escape de aire sobre la válvula.
	El escape de aire se encuentra con un orificio roscado, que permite acoplar un silenciador si se desea.

Válvulas completas:


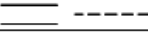

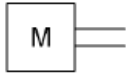
	Válvula 2/2 con activación manual por mando con bloqueo y retorno mecánico por muelle.
	Válvula 3/2 con activación por presión y retorno mecánico por muelle.

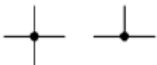




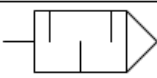


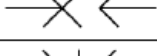







Designación de conexiones	Letras	Números
Conexiones de trabajo	A, B, C ...	2, 4, 6 ...
Conexión de presión, alimentación de energía	P	1
Escapes, retornos	R, S, T ...	3, 5, 7 ...
Descarga	L	
Conexiones de mando	X, Y, Z ...	10,12,14 ...


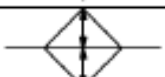
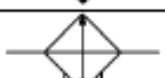


Ejemplos:

	Válvula 3/2 pilotada por presión.
	Válvula 5/2 pilotada por presión.

Conexiones e instrumentos de medición y mantenimiento:








	Unidad operacional.
	Unión mecánica, varilla, leva, etc.
	Motor eléctrico.
	Motor de combustión interna.

Conexiones	
Símbolo	Descripción
	Unión de tuberías.
	Cruce de tuberías.
	Manguera.
	Acople rotante.
	Línea eléctrica.
	Silenciador.
	Fuente de presión, hidráulica, neumática.
	Conexión de presión cerrada.
	Línea de presión con conexión.
	Acople rápido sin retención, acoplado.
	Acople rápido con retención, acoplado.
	Desacoplado línea abierta.
	Desacoplado línea cerrada.
	Escape sin rosca.
	Escape con rosca.
	Retorno a tanque.

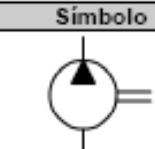
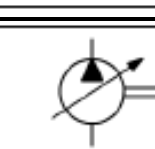
	Separador de neblina.
	Limitador de temperatura.
	Refrigerador.
	Filtro micrónico.
	Manómetro.

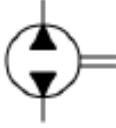


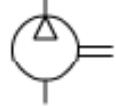



Medición y mantenimiento	
Símbolo	Descripción
	Unidad de mantenimiento, símbolo general.
	Filtro.
	Drenador de condensado, vaciado manual.
	Drenador de condensado, vaciado automático.
	Filtro con drenador de condensado, vaciado automático.
	Filtro con drenador de condensado, vaciado manual.
	Filtro con indicador de acumulación de impurezas.
	Lubricador.
	Secador.

	Manómetro diferencial.
	Unidad de mantenimiento, filtro, regulador, lubricador. Gráfico simplificado.
	Válvula de control de presión, regulador de presión de alivio, regulable.
	Combinación de filtro y regulador.
	Combinación de filtro, regulador y lubricador.
	Combinación de filtro, separador de neblina y regulador.
	Termómetro.


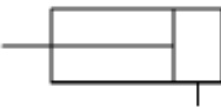
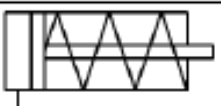
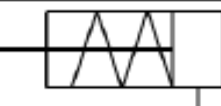
	Caudalímetro.
	Medidor volumétrico.
	Indicador óptico. Indicador neumático.
	Sensor.
	Sensor de temperatura.
	Sensor de nivel de fluidos.
	Sensor de caudal.


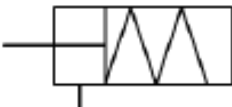

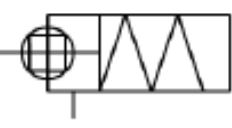
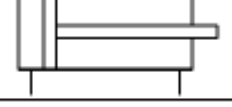
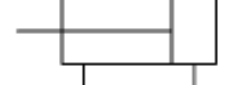
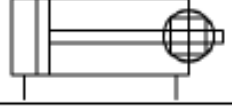
Bombas y compresores:


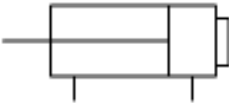
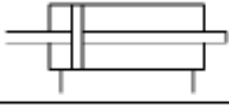
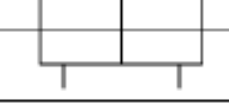
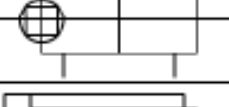
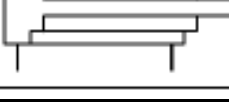


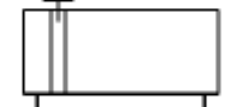
Símbolo	Descripción
	Bomba hidráulica de flujo unidireccional.
	Bomba hidráulica de caudal variable.

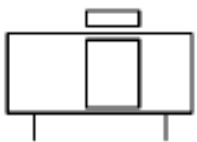
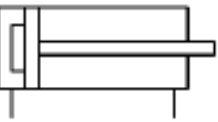

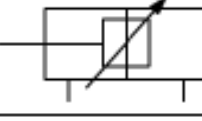

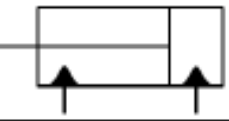

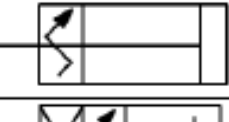
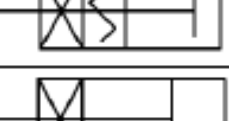
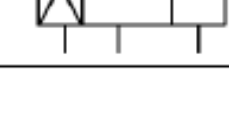
	Bomba hidráulica de caudal bidireccional.
	Bomba hidráulica de caudal bidireccional variable.
	Mecanismo hidráulico con bomba y motor.
	Compresor para aire comprimido.
	Depósito. Símbolo general.
	Depósito hidráulico.
	Depósito neumático.

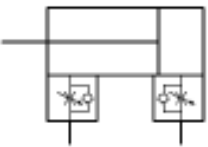
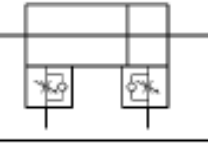
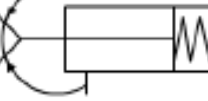

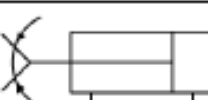
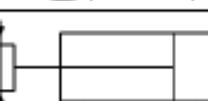
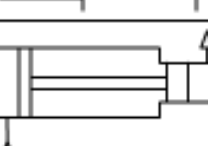
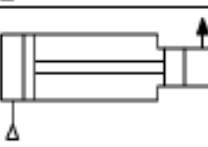

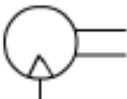
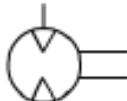
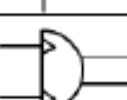
Mecanismos (actuadores):

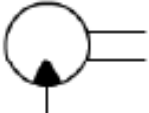
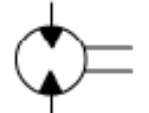

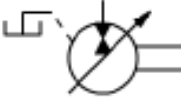
Símbolo	Descripción
	Cilindro de simple efecto, retorno por esfuerzos externos.
	Cilindro de simple efecto, retorno por esfuerzos externos.
	Cilindro de simple efecto, retorno por muelle.
	Cilindro de simple efecto, retorno por muelle.

	<p>Cilindro de simple efecto, carrera por resorte (muelle), retorno por presión de aire.</p>
	<p>Cilindro de simple efecto, carrera por resorte (muelle), retorno por presión de aire.</p>
	<p>Cilindro de simple efecto, vástago simple anti giro, carrera por resorte (muelle), retorno por presión de aire.</p>
	<p>Cilindro de simple efecto, vástago simple anti giro, carrera por resorte (muelle), retorno por presión de aire.</p>
	<p>Cilindro de doble efecto, vástago simple.</p>
	<p>Cilindro de doble efecto, vástago simple.</p>
	<p>Cilindro de doble efecto, vástago simple anti giro.</p>

	Cilindro de doble efecto, vástago simple anti giro.
	Cilindro de doble efecto, vástago simple montaje muñón trasero.
	Cilindro de doble efecto, doble vástago.
	Cilindro de doble efecto, doble vástago.
	Cilindro de doble efecto, doble vástago anti giro.
	Cilindro de doble efecto, vástago telescópico.
	Cilindro diferencial de doble efecto.
	Cilindro de posición múltiple.
	Cilindro de doble efecto sin vástago.

	Cilindro de doble efecto sin vástago, de arrastre magnético.
	Cilindro de doble efecto, con amortiguación final en un lado.
	Cilindro de doble efecto, con amortiguación ajustable en ambos extremos.
	Cilindro de doble efecto, con amortiguación ajustable en ambos extremos.
	Cilindro de doble efecto, con doble vástago, con amortiguación ajustable en ambos extremos.
	Cilindro de doble efecto hidroneumático. Hidráulico.
	Cilindro de doble efecto, con doble vástago hidroneumático. Hidráulico.
	Cilindro con lectura de carrera. Vástago simple.
	Cilindro con lectura de carrera, con freno. Vástago simple.
	Cilindro de doble efecto, con bloqueo vástago simple.

	Cilindro de doble efecto, con regulador de caudal integrado, vástago simple.
	Cilindro de doble efecto, con regulador de caudal integrado, doble vástago.
	Pinza de apertura angular de simple efecto.
	Pinza de apertura paralela de simple efecto.
	Pinza de apertura angular de doble efecto.
	Pinza de apertura paralela de doble efecto.
	Multiplicador de presión mismo medio.
	Multiplicador de presión para distintos medios.
	Transductor para distintos medios.
	Motor neumático 1 sentido de giro.
	Motor neumático 2 sentidos de giro.
	Cilindro basculante 2 sentidos de giro.

	<p>Motor hidráulico 1 sentido de giro.</p>
	<p>Motor hidráulico 2 sentidos de giro.</p>
	<p>Cilindro hidráulico basculante 1 sentido de giro, retorno por muelle.</p>
	<p>Bomba/motor hidráulico regulable.</p>

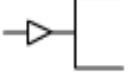



Válvulas direccionales:

Símbolo	Descripción
	Válvula 2/2 en posición normalmente cerrada.
	Válvula 2/2 en posición normalmente abierta.
	Válvula 2/2 de asiento en posición normalmente cerrada.
	Válvula 3/2 en posición normalmente cerrada.
	Válvula 3/2 en posición normalmente abierta.
	Válvula 4/2.
	Válvula 4/2.
	Válvula 4/2 en posición normalmente cerrada.


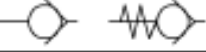
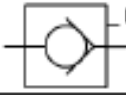
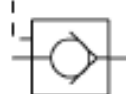
	<p>Válvula 3/3 en posición neutra normalmente cerrada.</p>
	<p>Válvula 4/3 en posición neutra normalmente cerrada.</p>
	<p>Válvula 4/3 en posición neutra escape.</p>
	<p>Válvula 4/3 en posición central con circulación.</p>
	<p>Válvula 5/2.</p>
	<p>Válvula 5/3 en posición normalmente cerrada.</p>
	<p>Válvula 5/3 en posición normalmente abierta.</p>
	<p>Válvula 5/3 en posición de escape.</p>

Accionamientos:



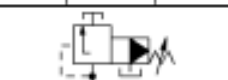

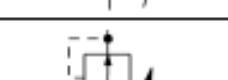
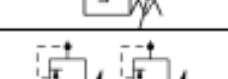

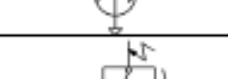

Símbolo	Descripción
	Mando manual en general, pulsador.
	Botón pulsador, seta, control manual.
	Mando por palanca, control manual.
	Mando por pedal, control manual.
	Mando por llave, control manual.
	Mando con bloqueo, control manual.
	Muelle, control mecánico.
	Palpador, control mecánico en general.
	Rodillo palpador, control mecánico.
	Rodillo escamoteable, accionamiento en un sentido, control mecánico.
	Mando electromagnético con una bobina.
	Mando electromagnético con dos bobinas actuando de forma opuesta.
	Control combinado por electroválvula y válvula de pilotaje.
	Mando por presión. Con válvula de pilotaje neumático.

	Presurizado neumático.
	Pilotaje hidráulico. Con válvula de pilotaje.
	Pilotaje hidráulico. Con válvula de pilotaje.
	Presurizado hidráulico.

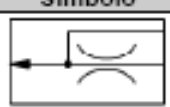
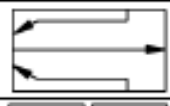





Válvulas de bloqueo, flujo y presión:

Símbolo	Descripción
	Válvula de cierre.
	Válvula de bloqueo (antirretorno).
	Válvula de retención pilotada. $P_e > P_a \rightarrow$ Cierre.
	Válvula de retención pilotada. $P_a > P_e \rightarrow$ Cierre.

	Válvula O (OR). Selector.
	Válvula de escape rápido. Válvula antirretorno.
	Válvula de escape rápido, Válvula antirretorno, doble efecto con silenciador.
	Válvula Y (AND).
	Orificio calibrado. El primer símbolo es fijo, el segundo regulable.
	Estrangulación. El primer símbolo es fijo, el segundo regulable.
	Válvula estranguladora unidireccional a diafragma.
	Válvula estranguladora unidireccional. Válvula antirretorno de regulación regulable en un sentido
	Válvula estranguladora doble, antirretorno con regulador de caudal doble con conexión instantánea.
	Válvula estranguladora de caudal de dos vías.
	Distribución de caudal.
	Eyector de vacío. Válvula de soplado de vacío.

	Eyector de vacío. Válvula de soplado de vacío con silenciador incorporado.
	Válvula limitadora de presión.
	Válvula limitadora de presión pilotada.
	Válvula de secuencia por presión.
	Válvula reguladora de presión de dos vías. (reductora de presión).
	Válvula reguladora de presión de tres vías. (reductora de presión).
	Multiplicador de presión neumático. Accionamiento manual.
	Presostato neumático.
	Presostato neumático.

Otros elementos:

Símbolo	Descripción
	Sensor por restricción de fuga.
	Sensor de proximidad por reflexión.
	Barrera neumática, sin alimentación en tobera receptora.
	Barrera neumática, con alimentación en tobera receptora.
	Amplificador neumático 2 etapas.
	Contador neumático de impulsos, retorno neumático o manual.
	Contador diferencial.

ANEXO B PARÁMETROS

Parámetros de fábrica

Par.	Descripción	Característica	Fábrica	Explicación
P-01	Velocidad máxima	P-02 a 5*P-09 (max 500Hz)	50Hz (60Hz)	Límite máximo de velocidad – Hz o rpm. Ver P-10
P-02	Velocidad mínima	0 a P-01 (max 500Hz)	0Hz	Límite velocidad mínima – Hz o rpm. Ver P-10
P-03	Tiempo de rampa de aceleración	0 a 600s	5s	Tiempo de rampa de aceleración de 0 a velocidad nominal motor (P-09) en segundos
P-04	Tiempo de rampa de deceleración	0 a 600s	5s	Tiempo de rampa de deceleración desde velocidad nominal de motor (P-09) hasta pararse en segundos. Cuando P-04=0, la rampa de deceleración se ajusta en P-34. Ajustando P-04=0 también se activa el control de rampa dinámico, donde la rampa puede extenderse automáticamente para prevenir una alarma G-Volt
P-05	Selección modo parada	0 : Paro por rampa (ride-through activo) 1 : Paro por libre 2 : Paro por rampa (parada rápida)	0	Si hay pérdida de suministro y P-05=0 entonces el equipo continuará trabajando hasta reducir la velocidad de la carga usando la carga como generador. Si P-05 = 2, el equipo ejecutará la rampa hasta parar usando P-34 rampa de deceleración con control de frenada dinámico
P-06	Optimizador de energía	0: Deshabilitado 1: Habilitado	0	Cuando se habilita, automáticamente reduce el voltaje motor en cargas ligeras. El valor mínimo es 50% del nominal.
P-07	Voltaje motor nominal	0, 20V a 250V 0, 20V a 500V	230V 400V (460V)	Voltaje nominal (placa) del motor (Volts). Valor limitado a 250V para equipos de bajo voltaje. Ajustar a cero deshabilita la compensación de voltaje.
P-08	Corriente motor nominal	25% -100% de la corriente nominal del equipo	Equipo nominal	Corriente nominal (placa) del equipo (Amps).
P-09	Frecuencia nominal motor	25Hz a 500Hz	50Hz (60Hz)	Frecuencia nominal del motor (placa)
P-10	Velocidad nominal motor	0 a 30 000 rpm	0	Cuando no es cero, todos los parámetros relacionados con velocidad, se visualizan en rpm
P-11	Refuerzo voltaje	Tamaño 1: 0.0 a 20.0% Tamaño 2: 0.0 a 15.0% Tamaño 3: 0.0 a 10.0% Máx voltaje de salida	Dependiente potencia motor	Aplica un refuerzo ajustable al voltaje de salida del Optdrive a baja velocidad para ayudar con cargas de arranque. Para aplicaciones continuas a baja velocidad usar un motor de ventilación forzada.
P-12	Selección modo control Terminal / Teclado / MODBUS /PI	0. Control Terminal 1. Control teclado – solo fwd 2. Control teclado – fwd y rev 3. Control MODBUS con rampas de aceleración / deceleración internas. 4. Control MODBUS con ajuste de rampa de aceleración / deceleración 5. Control PI 6. Control PI con entrada analógica 1 sumadora	0	Modo control primario del equipo. 0. Control terminal 1. Control teclado unidireccional. El botón START no modifica la dirección. 2. Control teclado bidireccional. El botón START conmuta entre forward y reverse. 3. Control vía Modbus RTU (RS485) utilizando las rampas internas accel / decel. 4. Control vía Modbus RTU (RS485) con rampas accel / decel ajustadas vía Modbus 5. Control PI con señal de retroalimentación externa 6. Control PI con señal de retroalimentación externa y suma con entrada analógica 1
P-13	Memoria de alarmas	Almacena las 4 últimas alarmas	Sólo lectura	Almacena las 4 últimas alarmas en orden de acontecimiento con la primera más reciente. Presionar UP o DOWN para ver las cuatro. La alarma más reciente siempre se visualiza primero. La alarma UV se guarda una vez. Las funciones adicionales de registro de avería están disponibles en los parámetros del grupo 0
P-14	Acceso menú extendido	Código 0 a 9 999	0	Ajustar a "101" (por defecto) para acceder al menú extendidos. Cambiar código en P-39 para evitar accesos no autorizados al Ajuste de Parámetros Extendidos.

Parámetros extendidos

Par.	Descripción	Característica	Fábrica	Explicación
P-15	Selección función de entrada digital	0 a 12	0	Define la función de la entrada digital dependiendo del modo control ajustado en P-12. Ver sección 8, Configuración Entrada Analógica y Digital, para más información.
P-16	Formato entrada analógica	0..10V, b 0..10V, 0..20mA, t 4..20mA, r 4..20mA, t 20..4mA r 20..4mA	0..10V	Configura el formato de voltaje o corriente de la señal de entrada analógica. b 0..10V puede usarse para señales de entrada bipolar. Un 50% de offset puede aplicarse a P-39 y escalar 200% en P-35 da ± P-01 "t" indica que el equipo ejecutará una alarma si la señal se pierde cuando el equipo está habilitado. "r" equipo ejecutará una rampa a la Vel. Progr 1 si no hay señal cuando el equipo está habilitado.
P-17	Frecuencia conmutación	4 .. 32kHz	8 / 16kHz	Ajusta la máxima frecuencia portadora del equipo
P-18	Selección salida relé	0 : Convertidor habilitado 1 : Convertidor ok 2 : Motor en velocidad objetivo 3 : Alarma convertidor 4 : Velocidad motor >= límite 5 : Corriente motor >= límite 6 : Velocidad motor < límite 7 : Corriente motor < límite	1	Define la función del relé, cuando las condiciones de operación se cumplan. Deshabilitado : Contactos abiertos Habilitado : Contactos cerrados Opciones 4 a 7: la salida relé está habilitada usando el nivel ajustado en P-19
P-19	Límite salida relé	0.0 a 100% para velocidad 0.0 a 200% para corriente	100%	Ajuste del límite para P-18 & P-25
P-20	Velocidad progr. 1	-P-01 a P-01	0 Hz	Velocidad programada 1
P-21	Velocidad progr. 2	-P-01 a P-01	0 Hz	Velocidad programada 2
P-22	Velocidad progr. 3	-P-01 a P-01	0 Hz	Velocidad programada 3
P-23	Velocidad progr. 4	-P-01 a P-01	0 Hz	Velocidad programada 4
P-24	Tiempo segunda rampa de deceleración (Parada rápida)	0...25.0s	0	Tiempo segunda rampa de deceleración de la velocidad nominal motor (P-09) a la parada en segundos. Si está ajustado a cero hará parada libre. Selección usando la función de parada rápida vía ajuste entrada digital o en pérdidas alimentación tal y como está ajustado en P-05
P-25	Selección función salida analógica	Modo salida digital 0 : Convertidor habilitado 1 : Convertidor ok 2 : Motor a velocidad objetivo 3 : Alarma convertidor 4 : Velocidad motor >= límite 5 : Corriente motor >= límite 6 : Velocidad motor < límite 7 : Corriente motor < límite Modo salida analógica 8 : Velocidad motor 9 : Corriente motor	8	Modo salida digital Opciones 0 a 7 selecciona una señal de salida digital de voltaje Deshabilitado : 0V Habilitado : +24V, (20mA límite) Opciones 4 a 7 : la salida digital está habilitada usando el nivel ajustado en P-19 Modo salida analógica Opción 8 : Rango señal velocidad motor 0..10V = 0..100% de P-01 Opción 9 : Rango señal velocidad motor 0..10V = 0..200% de P-08
P-26	Banda histeresis salto de frecuencia	0 a P-01	0 Hz	Ajustar P-09 antes de modificar. Define la banda de salto de frecuencia en la cual la referencia de velocidad no será mantenida. Las rampas de velocidad dentro del salto de frecuencia son ajustables en P-03 y P-04.
P-27	Salto de frecuencia	P-02 a P-01	0 Hz	Ajustar P-09 antes de modificar. Punto central del salto de frecuencia.
P-28	Características V/F de ajuste de voltaje	0 ... P-07	0	Ajusta el voltaje de motor aplicado en la frecuencia ajustada en P-29
P-29	Características V/F ajuste frecuencia	0 ... P-09	0.0Hz	Ajusta la frecuencia para la cual el ajuste de voltaje ha sido programado en P-28
P-30	Función reanudar modo terminal	Edge-r, Auto-0 .. Auto-5	Auto-0	Edge-r : equipo encendido con la entrada digital 1 cerrada (habilitado), no funcionará. El switch tiene que estar abierto y cerrado después de encenderlo o después de eliminar una alarma para que el equipo arranque. Auto-0 : el equipo arrancará siempre que la entrada digital 1 esté cerrada. Auto-1..5 : el equipo hará 1..5 intentos para restablecerse automáticamente después de una alarma (25s entre intentos). Si no hay fallo se restablecerá. Para resetear el contador, el equipo tiene que estar apagado, resetear en el teclado o restablecer el equipo.

P-31	Modo teclado Función reinicio	0 : Velocidad mínima 1 : Velocidad anterior 2 : Vel. mínima (Auto-run) 3 : Vel. anterior (Auto-run)	1	Si se ajusta a 0 o 2, el equipo siempre arrancará desde la velocidad mínima. Si se ajusta a 1 o 3, se ejecutará la rampa hasta la velocidad de operación anterior al último comando de parada. Si se ajusta a 2 o 3, el estado de la entrada digital 1 controla equipo para arrancar o parar. El botón de arrancar y parar no funcionará.
P-32	Inyección DC en parada	0 a 25.0s	0 (des- habilitado)	Cuando > 0, la frenada de inyección DC se activa cuando la velocidad alcanza cero con la señal de parada aplicada. Sólo se aplica cuando está Deshabilitado (parada), no en habilitado. Usar los niveles ajustados en P-11.
P-33	Función enganche al vuelo (solo S2 & S3) Arranque en inyección DC (S1)	0 : Deshabilitado 1 : Habilitado	0	Cuando está habilitado, el equipo arranca desde la velocidad motor rotor. Posible retardo en arrancar si el rotor está parado. Recomendado para aplicaciones de cargas con alta inercia. Para tamaño 1, P-33 = 1 habilita la frenada de inyección DC en el arranque. La duración y los niveles son ajustados en P-32 y P-11 respectivamente.
P-34	Frenada chopper habilitada (no S1)	0 : Deshabilitado 1 : Habil. con protección s/w 2 : Habil. sin protección s/w	0	Protección software para resistencias de frenada standard de Inverterk (200W). Para resistencias no aprobadas por Inverterk y aplicaciones de frenada elevadas ajustar a 2.
P-35	Escalado entrada analógica	0 ... 500.0%	100%	Escalado entrada analógica, resolución 0.1%.
P-36	Dirección comunicaciones de serie	Adr: 0 deshabilitado, 1..63	1	Adr: Única dirección para comun. de red. Cuando se ajusta a OP-bus, el MODBUS está Deshabilitado. La comunicación con PDA, PC y Optoport E2 es posible
	MODBUS habilitado / seleccionar velocidad de transmisión	OP-bus (fijado a 115.2 kbps) 9.6k a 115.2kbps (Modbus)	OP-bus	Ajustando una velocidad de transmisión se habilita el MODBUS y deshabilita el OP-bus.
	Alarma habilitada / retraso	0 (no alarma), t 30, 100, 1000, 3000 (ms) r 30, 100, 1000, 3000 (ms)	t 3000 (3 segundos alarma)	El tiempo antes de una alarma por pérdida de comunicación puede ajustarse en milisegundos. Ajustar a "0" deshabilita las comunicaciones de alarma. "t" ejecutará una alarma si excede el tiempo. "r" ejecutará una rampa de parada si excede el tiempo.
P-37	Definición código de acceso	0 a 9 999	101	Define el acceso al código de ajuste de parámetros extendidos, P-14
P-38	Acceso a parámetros bloqueados	0: Los parámetros pueden modificarse y guardarse cuando está apagado. 1: Sólo lectura. No se permiten cambios.	0	Controla el acceso a los parámetros. Cuando P-38 = 0, todos los parámetros se pueden cambiar y se guardan automáticamente. Cuando P-38 = 1, los parámetros son bloqueados y no pueden guardarse.
P-39	Entrada analógica offset	-500.0 ... 500.0%	0%	Introduce un offset al nivel de entrada analógica con una resolución 0.1%.
P-40	Factor escalado velocidad display	0.000 a 6.000		Se escala el factor aplicado a la velocidad. Si P-10 = 0, velocidad escalada en Hz por este factor. Si P-10 > 0, velocidad escalada en RPM. Si indica "c", está visualizado como variable en tiempo-real.
P-41	Ganancia proporcional PI	0.0 ... 30.0	1.0	Altos valores usados para altas inercia. Valor demasiado elevado provoca inestabilidad.
P-42	Tiempo integral constante PI	0.0s ... 30.0s	1.0s	Valor alto provoca lentitud, respuesta reducida
P-43	Modo operación PI	0: Directo 1: Inverso	0	Si hay un incremento de la señal de realimentación debe incrementar la velocidad del motor. Ajustar a modo "inverso".
P-44	Selección de referencia PI	0: Digital 1: Analógica	0	Ajustar la fuente para la señal de ref del control PID. Cuando se ajuste a 1, se usa la ent anal.
P-45	Referencia digital PI	0 ... 100%	0.0 %	Ajuste de la ref. prog. usada cuando P-44 = 0.
P-46	Selección de realimentación PI	0 : 2ª entrada analógica (T4) 1 : 1ª entrada analógica (T6) 2 : Corriente motor de carga	0	Este parámetro selecciona la fuente de la señal de realimentación.
P-47	Formato 2ª entrada analógica	0..10V, 0..20mA, t 4..20mA, r 4..20mA, t 20..4mA r 20..4mA	0 ..10V	Selecciona el formato de la 2ª entrada analógica. "t" ejecutará alarma si la señal desaparece cuando el equipo está habilitado "r" ejecutará la rampa a la velocidad programada 1 si la señal desaparece cuando el equipo está habilitado.