



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
ARAGÓN**

**LA APLICACIÓN DE LA
HIDRÁULICA INDUSTRIAL EN EL
PROCESO DE INYECCIÓN DE
PLÁSTICOS**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

**P R E S E N T A:
ADRIÁN SALVADOR JARAMILLO MEJÍA**



**DIRECTOR DE TESIS:
ING. ADRIÁN PAREDES ROMERO**

CIUDAD NEZAHUALCÓYOTL, ESTADO DE MÉXICO 2019



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

Agradecimientos

A mis padres por su esfuerzo para darme la oportunidad de estudiar.

A mi esposa por la energía que me transmitió para seguir.

A mis hijas por entender y darme tiempo para hacer lo que estoy por concluir.

Índice

Página	
	Introducción 5
	Objetivo 9
	1.- Principios de hidráulica industrial. 10
	1.1 Concepto de presión. 10
	1.2 El principio de Pascal. 11
	1.3 Fluido Incompresible. 12
	1.4 Conservación de la energía. 13
	1.5 Simbología. 14
	2.- El ámbito de la hidráulica industrial y sus aplicaciones. 20
	2.1 Referencia histórica y ejemplo de aplicaciones. 20
	2.2 Transmisión de potencia hidráulica. 23
	2.3 Selección de fluidos hidráulicos. 24
	2.4 El desplazamiento positivo. 28
	2.5 La presión en los sistemas hidráulicos. 30
	2.6 Potencia y trabajo. 32
	2.7 Caída de presión. 34
	3.- La hidráulica industrial en el proceso de inyección de plásticos. 37
	3.1 La inyección de plásticos. 37
	3.2 La máquina de inyección. 38
	3.3 Ventajas de la hidráulica para el proceso de inyección de plásticos. 48
	3.4 Ciclo de la máquina de inyección de plásticos. 51
	4.- Componentes hidráulicos de la máquina de inyección. 56
	4.1 Diagrama hidráulico. 56
	4.2 Estudio de componentes hidráulicos por sección. 60
	5.- Funciones hidráulicas de la máquina de inyección. 119

5.1 Aplicación e interpretación del diagrama de barras de operación y diagrama hidráulico.	119
5.2 Condiciones y actuación del sistema hidráulico.	125
6.- Servicios a la máquina de inyección de plásticos.	158
6.1 Mantenimiento preventivo.	159
6.2 Mantenimiento correctivo.	170
Conclusiones.	174
Fuentes de consulta.	175

Introducción.

La hidráulica de potencia, la hidráulica industrial, la oleohidráulica, son diferentes términos usados para referirse a la aplicación de la fuerza hidráulica como una rama de la física que apoya a la ingeniería para diseñar máquinas y dispositivos que usan esta fuerza para realizar diversos trabajos.

La hidráulica de potencia es aplicable a un sinnúmero de máquinas diseñadas para diversos servicios, aplicaciones o fabricación de una gran cantidad de objetos, que en su momento, solo podían diseñarse de metal, madera o vidrio; en un proceso que podía ser relativamente tardado ya que implicaba que se realizaran varios trabajos o intervinieran diferentes máquinas para fabricar una pieza.

Una máquina de inyección de plástico hace uso de la hidráulica industrial para generar piezas de plástico que sustituyen con mucho éxito a las piezas o componentes de los materiales antes descritos y no requieren de procesos de transformación secundarios porque logran un acabado final en color, textura, funcionalidad etc, en una sola etapa.

La hidráulica de potencia, en conjunto con sistemas mecánicos, eléctricos y electrónicos se agrupan para hacer funcionar máquinas muy sofisticadas que desarrollan con gran rapidez procesos sencillos o complejos. Pero debe recalcarse que es la hidráulica de potencia, el sistema más adecuado para desarrollar fuerzas grandes.

La hidráulica de potencia no solo se aplica en la maquinaria industrial, se aplica también para mover y controlar diversas máquinas de transformación, de construcción y transporte.

Por la experiencia adquirida, se ha tomado la aplicación de la hidráulica industrial en una máquina de inyección de plástico. En ella, se pone de manifiesto la necesidad de conocimiento de aspectos eléctricos de control y de fuerza; de aspectos de neumática, y de electrónica ya que

ésta rama se ha involucrado de forma muy importante para el control de los elementos de la hidráulica de potencia.

Existen sistemas mecánicos, con articulaciones que pueden lograr el objetivo, pero necesitan un sistema de accionamiento llamado actuador hidráulico para llegar a lograr cierres positivos o de bloqueo, que por sí mismo, el mecanismo no lograría accionar y desarrollar una fuerza grande para un proceso.

Los elementos de la hidráulica de potencia, son pequeños para mover actuadores que pueden desarrollar fuerzas grandes. Requieren regularmente un solo elemento (bomba hidráulica) para generar fuerza que puede ser transmitida por tuberías y mangueras para llegar a puntos de control y dirección para finalmente dirigirse a donde están los actuadores que mueven mecanismos o aplican la fuerza necesaria que requiere el proceso.

Sería un trabajo muy extenso hacer referencia a todos y cada uno de los sistemas de una máquina, en este caso de una de inyección de plástico. Por eso se delimita este trabajo a la aplicación de la hidráulica industrial en el proceso de inyección de plástico.

De esta explicación, se puede hacer la pregunta de ¿Cómo desarrolla fuerza un sistema hidráulico de potencia? La fuerza aplicada en un área determinada se denomina presión. Los fluidos incompresibles, tienen ventaja sobre otros medios de transmisión de fuerza. Se pueden desplazar por mangueras, tuberías, adoptan la forma del recipiente que los contiene y se pueden manipular para ser desplazados por diferentes órganos impulsores de las bombas. Al ser incompresibles, cuando encuentran una obstrucción en su recorrido, los fluidos que son impulsados por bombas de desplazamiento positivo, empiezan a aumentar la presión, hasta que una válvula de seguridad, libere esa presión abriendo un camino para que el fluido incompresible no encuentre obstrucción.

Existieron diversos científicos como Pascal, y Bramah que observaron y desarrollaron aplicaciones y máquinas a partir de la presión y fuerza ejercida por un líquido, y es también en estas aplicaciones donde para compensar la ley de la conservación de la energía, se diseñan elementos de actuación más ligeros y de diámetros más pequeños que puedan ser llenados más rápido para modificar en lo más mínimo la rapidez de actuación, que va de la mano con el área donde actúa el fluido para generar una presión.

Independientemente de que todo líquido cumple con las características de incompresibilidad, diferentes empresas fabricantes de aceites para sistemas hidráulicos, estudian y desarrollan aditivos que mejoran las características de los fluidos usados para el sistema, con lo cual evitan degradación temprana, mejor lubricación de capa límite, entre otros aspectos muy importantes.

El desplazamiento positivo de las bombas es una condición importante para lograr que se genere la fuerza del sistema hidráulico, Las bombas de desplazamiento positivo, son denominadas volumétricas por que desplazan un cierto volumen a cada ciclo.

La máquina de inyección de plástico, que está integrada por, el sistema hidráulico, el molde, la unidad de cierre, la unidad de inyección, la unidad de control que globaliza el sistema de control eléctrico, electrónico, y la interfaz de comunicación hombre máquina que es denominado el tablero de control, puede tener variantes de su forma de trabajo, no obstante, cumple con un ciclo estándar que se divide de forma básica en cuatro etapas, 1.- Cierre de molde, 2.- Inyección y sostenimiento, 3.- Plastificación y enfriamiento, 4.- Apertura de molde y expulsión. Todos estos movimientos, realizados y controlados por sistemas hidráulicos.

Al conocer que hace una máquina de inyección y que elementos hidráulicos realizan los movimientos, se puede analizar por medio de diagramas, que nos facilitan la interpretación, la secuencia de movimientos y actuación de los elementos hidráulicos. Básicamente los diagramas

que son empleados para comprender el funcionamiento hidráulico de la máquina son los denominados diagrama de barras, que presenta los estados que tiene la maquina en cada parte de un ciclo de trabajo y el diagrama hidráulico que presenta a los elementos hidráulicos y los solenoides que deben de activarse ya sean del tipo on/off, o proporcionales

La máquina de inyección de plástico y cualquier otra maquina sufre desgaste por motivo de tiempo de trabajo, y por malas prácticas de operación, entre otros aspectos. Por tal motivo, los fabricantes dan un plan de mantenimiento y en adición a este, las empresas propietarias generan planes y rutinas de mantenimiento preventivo. A pesar de ello, siempre será necesario ante cualquier situación no prevista que genere una falla de la máquina, realizar acciones correctivas para que la máquina se mantenga operativa.

Introduzcámonos en el ámbito y vamos a ver unos conceptos de ingeniería y de aplicación para llegar en su momento a responder la pregunta planteada, lo mismo que ver otras funciones, como el control de los sistemas hidráulicos.

En este trabajo, se mencionan conceptos y definiciones necesarias para que se clarifique cómo funcionan los elementos hidráulicos, ya sean los generadores, los actuadores o los controles.

Objetivo.

Conocer las funciones del sistema hidráulico de una máquina de inyección de plásticos y como operan los componentes de este sistema, para entender lo que hace la hidráulica industrial o de potencia en el proceso de la máquina durante un ciclo de fabricación.

1. Principios de hidráulica industrial.

1.1 Concepto de Presión.

Definir este concepto, involucra una explicación que aplica para sólidos y fluidos, para un cuerpo sólido en reposo hay una fuerza aplicada a el que es su peso W el cual se distribuye sobre el área de contacto A del cuerpo, también existe una fuerza de reacción R que mantiene al cuerpo en equilibrio.

“Se puede definir a la presión del cuerpo sobre la superficie de apoyo A debida a la fuerza vertical W , a la relación $p=W/A$.” (Mataix, 1982, p.32).

Y para el concepto de presión aplicado a un fluido, se toma imaginariamente un corte del fluido donde se tiene un cubo del mismo, en este cubo de líquido, Mataix (1982) indica: “Solamente están actuando la fuerza W' que son el peso del líquido y la fuerza proporcional a su superficie de contacto y normal a la fuerza de su peso que es la fuerza de presión P' la cual mantiene al líquido en equilibrio.

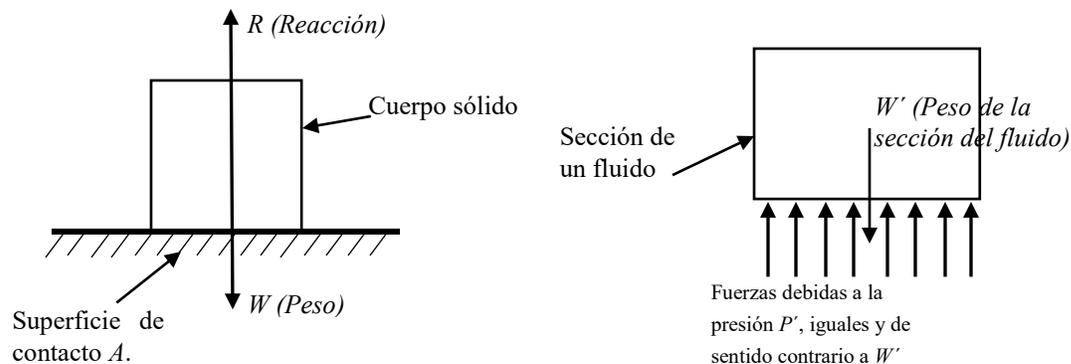


Imagen 1.1. A lado izquierdo, cuerpo sólido sobre una superficie. Actúan el peso y una fuerza de reacción. A lado derecho, la imagen representa una sección de líquido y componentes de la presión que mantienen también al líquido en equilibrio. (Imagen tomada de Mataix, C. (1982).

Mecánica de fluidos y maquinas hidráulicas. Madrid, España: HARLA para fines educativos.)

En cualquiera de los dos casos anteriores, para sólidos o fluidos, se puede considerar que una fuerza actúa sobre la superficie del sólido o líquido y se denomina como fuerza superficial ΔF_p y a la superficie de contacto de la fuerza se le denomina como ΔA , así la presión media \bar{P} es

$$\bar{P} = \Delta F_p / \Delta A$$

Para los ejemplos analizados, se considera a la gravedad, que es perpendicular a un plano que está paralelo al suelo, pero en general, puede ser considerada cualquier otra fuerza considerándola perpendicular a un plano en el que se realice un análisis.

“En general, la presión media \bar{P} se define como

$$\bar{P} = F_n / A$$

Donde F_n es la *fuerza normal* a la *superficie A*” (Mataix, 1982, p.33).

1.2 El principio de Pascal.

La historia nos dice que Pascal en una actividad secundaria de ayuda a su economía, hacía demostraciones a un público de como al llenar un barril con agua, y posteriormente llenar una columna de agua adicional comunicada al barril, el peso del agua en la columna hacía reventar el barril.

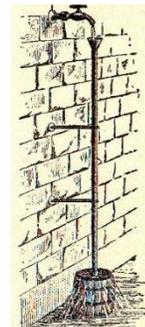


Imagen 1.2. Ejemplo de tonel o barril de Pascal. (Imagen tomada de <http://vdscmc.blogspot.com/2012/11/el-principio-de-pascal-1623-1662-victor.html> y de <http://materialesfq.blogspot.com/2013/05/presion-hidrostatica.html> para fines educativos)

El científico francés Blas Pascal, analizó y describió que: la presión aplicada a un fluido confinado se transmite sin disminución de fuerza en todas direcciones y actúa con fuerza igual y en áreas iguales en los ángulos correspondientes. El concepto descrito explica porque una botella de vidrio completamente llena se romperá si se trata de taponar con un objeto que penetre en la botella. El líquido contenido, es prácticamente incompresible y transmite la fuerza aplicada al tapón a través del recipiente. El resultado es la fuerza aplicada a un área superior a la del tapón”. (Válvulas y Controles Mexicanos, 2009, p. 1-1).

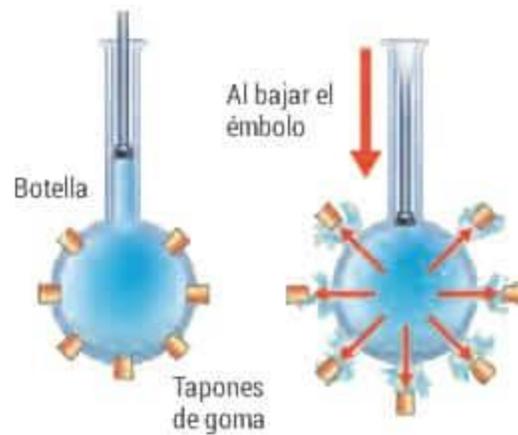


Imagen 1.3. Representación de una botella con líquido. Al aplicar una fuerza en un tapón para meterlo, el líquido al ser incompresible, genera una presión en toda la botella de la misma magnitud y perpendicular a cada plano. (Imagen tomada de <https://www.blogdefisica.com/principio-de-pascal.html> para fines educativos).

Del principio anterior se derivan un gran número de aplicaciones de lo que hoy es la hidráulica industrial.

1.3 Fluido incompresible.

Se ha demostrado científicamente que no existe ningún sólido o fluido que sea totalmente incompresible. No obstante, para efectos de solución de problemas, se da por hecho y se toma con esa característica para estudios y aplicaciones a los fluidos líquidos como incompresibles.

Dada la explicación del fluido incompresible, conviene reforzar la definición de fluido.

“Un fluido es aquella sustancia que debido a su poca cohesión intermolecular, carece de forma propia y adopta la forma del recipiente que los contiene.” (...) “Algunas características adicionales de los fluidos líquidos son que a presión y temperatura determinada ocupan un volumen determinado. Introducido el líquido en un recipiente, adopta la forma del mismo, llenando el volumen que le corresponde. Si sobre el líquido hay una presión uniforme, el líquido adopta una superficie plana.” (Mataix, 1982, p.33).

1.4 Conservación de la energía.

No se puede dejar de lado al inglés Joseph Bramah, quien hizo la aplicación del principio de Pascal al transmitir el movimiento de un punto a otro distante, con el resultado de una fuerza mayor a la aplicada.

Bramah, ingeniero de profesión, aplicó físicamente el principio de Pascal para transmitir fuerza a distancia. Él, ingenió un dispositivo que se denominó prensa hidráulica, en el cual como se puede observar en la imagen 1.4, al aplicar una fuerza pequeña \vec{F}_1 en un área pequeña A_1 , podía transmitirse una fuerza \vec{F}_2 proporcionalmente más grande en un área mayor A_2 . Y esta fuerza, solo estaría limitada por el área del elemento móvil o que puede desplazarse al cual la presión es aplicada.

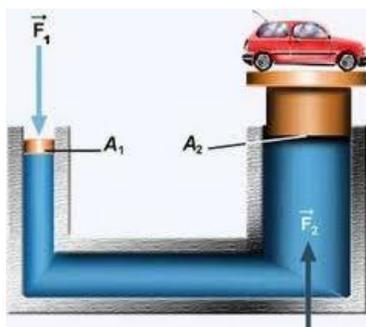


Imagen 1.4. Un ejemplo de la prensa de Bramah debida al principio de Pascal. (Imagen tomada de <http://principiodepascal.com/prensa-hidraulica/> para fines educativos)

En referencia a la ley física que dice *la energía no se crea ni se destruye*, la multiplicación de la fuerza de \vec{F}_1 a \vec{F}_2 en la imagen anterior, no se crea de la nada. El pistón más grande se mueve por el desplazamiento del líquido que genera el desplazamiento del pistón pequeño haciendo que la distancia que se desplaza cada elemento sea inversamente proporcional a su área. En otras palabras, la fuerza que se ha ganado, se pierde en distancia recorrida o en velocidad debido a las diferencias de las áreas donde los objetos sólidos hacen contacto con los líquidos.

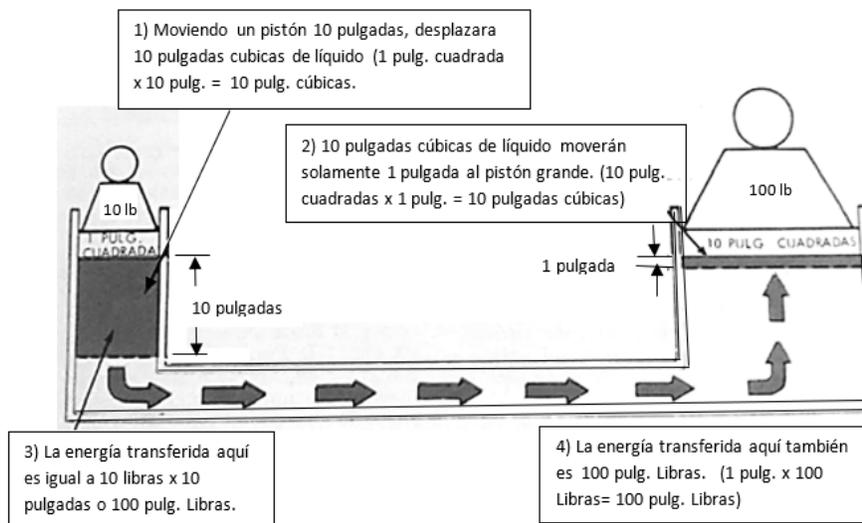


Imagen 1.5. En esta imagen se explica cuanto es el desplazamiento transferido a un pistón de 10 pulgadas cuadradas debido al movimiento originado por desplazar 10 pulgadas un pistón de 1 pulgada cuadrada de área. Demostrando que no hay creación de energía, sino solo transferencia de la misma. (Imagen tomada de Válvulas y Controles Mexicanos. (2002). *Manual de hidráulica industrial* para fines educativos).

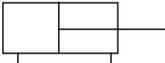
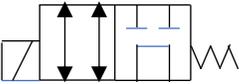
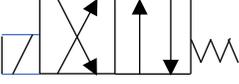
1.5 Simbología.

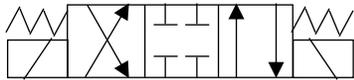
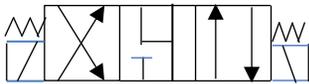
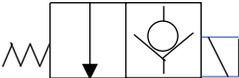
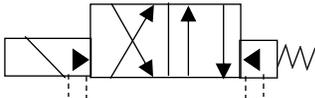
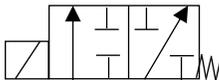
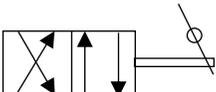
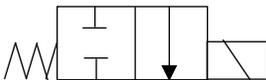
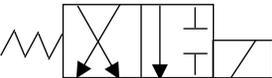
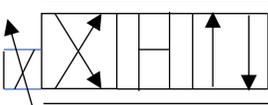
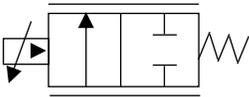
A continuación, se expone la simbología de hidráulica industrial que se utiliza en este trabajo con la finalidad de que puedan ser identificados en los diferentes temas consultando de ser necesario la mencionada referencia.

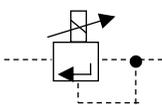
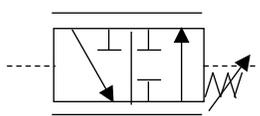
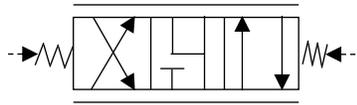
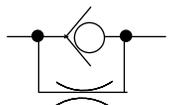
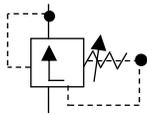
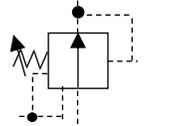
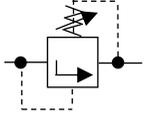
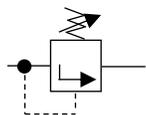
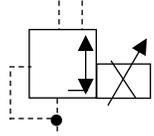
La simbología se basa en la norma ANSI Y32.10 la cual presenta un sistema de símbolos gráficos para sistemas de potencia hidráulicos y neumáticos. En esta norma se basan los símbolos para la elaboración de diagramas hidráulicos.

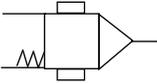
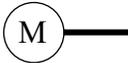
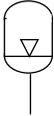
Tabla 1.1.
Simbología hidráulica aplicada.

Descripción.	Símbolo.	Aplicación.
Líneas.		
Continuas.		Línea Principal.
Trazo largo.		Línea secundaria.
Trazo corto.		Línea de drenaje o pilotaje.
Cadena Larga.		Envoltura (límite de un conjunto).
Continua ancha		Conexión mecánica. (eje de motor)
Varios.		
Líneas cruzadas con unión.		Conexión entre líneas.
Drenaje		Línea o fin de línea vertical que llega a tanque o a la representación de este
Cruce de líneas		Sin conexión
Línea quebrada		Muelle.
Semi curvas.		Restricción
Triángulo sombreado.		Dirección de fluido hidráulico.
Interruptor de presión		Se activa para limitar el retroceso de la unidad de inyección.
Transductor de presión		Elemento de protección que mide la presión del sistema.

Flecha inclinada.		Posibilidad de regulación o variación. (El símbolo puede llevar cualquier orientación en forma diagonal siempre cruzando el elemento).
Flecha bidireccional.		En este tipo de línea, el fluido puede desplazarse.
Válvula manual externa.		Suministro externo.
Filtros.		Su función es retener las partículas mezcladas en el fluido que pueden afectar la operación.
Intercambiador de calor.		Realiza el intercambio térmico entre el aceite y el agua para mantener la temperatura adecuada de trabajo.
Tanque.		Contenedor del fluido hidráulico. Se puede indicar su capacidad.
Bombas.		
Caudal fijo.		Una dirección del fluido.
Caudal variable.		Una dirección del fluido.
Motor Hidráulico		
Caudal fijo.		Dos direcciones del fluido.
Actuador lineal		
De doble efecto.		De doble efecto con un solo vástago
Actuador con amortiguador		De doble efecto con un solo vástago y amortiguador.
Válvulas direccionales convencionales		
Cuatro vías, dos posiciones.		Accionada por solenoide, regreso a resorte. Energizada permite el flujo bidireccional.
Cuatro vías, cinco posiciones.		Accionada por presión hidráulica piloto y retorno por muelle en ambos lados.
Cuatro vías, dos posiciones.		Accionada por solenoide, retorno a resorte. Únicamente causa la inversión del movimiento de un actuador.

Cuatro vías, tres posiciones		Accionada por solenoide, retorno a resorte. En la posición neutral, todos los puertos cerrados.
Cuatro vías, tres posiciones.		Accionada por solenoide, centrada a resorte.
Dos vías, dos posiciones.		Al energizar el solenoide, la válvula check bloquea la línea. El regreso es por acción del muelle al desenrgizar el solenoide.
Dos vías, dos posiciones.		Control hidráulico y eléctrico. Retorno a resorte
Cuatro vías, dos posiciones		Direccional accionada por pilotaje hidráulico, centrada a resorte.
Cuatro vías, dos posiciones		Al cambio de posición de reposo, distribuye del mismo puerto de entrada al otro puerto de salida.
Cuatro vías, dos posiciones.		Accionada por palanca.
Dos vías, dos posiciones		Accionada por solenoide, retorno a resorte. Su función es sólo permitir el paso de fluido cuando sea requerido.
Cuatro vías, dos posiciones.		Activada por solenoide, retorno a resorte.
Servo válvulas.		
Solenoide proporcional		Muestra las dos posiciones extremas y la central (o neutral). El solenoide proporcional controla el avance y retroceso del carrete
Solenoide proporcional		La válvula opera proporcionalmente de acuerdo a la señal proporcional y el regreso se hace por efecto del muelle.

Servo control de presión		Válvula Reductora proporcional, normalmente cerrada.
Proporcionales Posiciones infinitas con dos extremos o posiciones finales		La presión del fluido, desplaza proporcionalmente la válvula.
Posiciones infinitas, tres posiciones finales.		Accionados por control piloto, centrado a resorte.
Válvula antirretorno Libre.		Abre si la presión de entrada es superior a la de salida.
Aplicación de válvula antirretorno con una válvula de restricción de flujo		En un sentido, el flujo es restringido, en otro sentido, la válvula check permite el libre paso.
Seguridad. Normalmente abierta		Se permite el paso del fluido y se monitorea la presión a la salida. El aumento de presión sostenido, activa la válvula, drenado interno.
Normalmente abierta		Similar a la anterior con drenado externo.
Normalmente cerrada		Con pilotaje interno y drenaje interno.
Normalmente cerrada		Con pilotaje interno sin drenaje
Normalmente cerrada		Control proporcional de presión en dos direcciones
Válvula reguladora de caudal. Genérica.		Puede disminuir el caudal accionando su mecanismo de control.

Válvula de cartucho.		Relación de áreas = 1:1
Motor eléctrico.		Puede indicarse la sigla o los datos de RPM y HP
Acumulador Neumático.		El fluido se mantiene presurizado en su interior por medio de un gas comprimido.

2. El ámbito de la hidráulica industrial y sus aplicaciones.

2.1 Referencia histórica y ejemplos de aplicaciones.

En este capítulo se hace mención del amplio campo de aplicación de la hidráulica industrial. Mataix (1982) “La Hidráulica y Neumática Industriales, son ramas de la Mecánica de Fluidos se ocupan del diseño y funcionamiento de los sistemas hidráulicos”, (...) “que el automatismo utiliza junto con los controles electrónicos.” (p.2).

La Hidráulica Industrial tiene un origen de su aplicación siglos atrás. Es arriesgado colocar fechas exactas sobre el inicio de la aplicación de la hidráulica como un área de la física. Diversas literaturas mencionan aplicaciones que hizo Arquímedes, a quien se le asignan algunos principios de esta rama. Aun cuando dichos principios son de índole hidráulico, se aplican para conceptos que difieren de lo relacionado a la hidráulica de potencia, que es el tema de este trabajo.

Pascal, a quien se le asigna el principio que ahora lleva su nombre, sentó bases para que Brahma aplicara dicho principio a la prensa hidráulica, que es, la aplicación sobre la que giran diversos dispositivos de la Hidráulica Industrial.

De ninguna manera se minimizan las aplicaciones que aportan las ramas de la electricidad, la mecánica, o la neumática, ya que en conjunto con la hidráulica de potencia, las diversas ramas se complementan para lograr los objetivos de diseño de las mismas.

La hidráulica industrial o de potencia, también conocida en el medio de la ingeniería como oleo hidráulica, tiene un campo de aplicación muy extenso en las actividades cotidianas y tal vez

mucha gente, debido a que las aplicaciones de ésta parecen ser rutinarias, no observan la relevancia que tiene.

Ejemplifiquemos varios casos:

En el transporte. De las personas que viajan en una nave aérea, pocas conocen de los tres sistemas hidráulicos que regularmente llevan los aviones por seguridad y que cada uno de ellos, es el responsable de los movimientos de algunas superficies de control de vuelo, del sistema del tren de aterrizaje, y del movimiento de los deflectores de inversión de empuje de los motores.

En la construcción, la hidráulica de potencia, se ha involucrado, por ejemplo, en las auto mezcladoras de concreto, donde éste se prepara y transporta para las obras civiles, aplicándose bombas hidráulicas acopladas a reductores para el movimiento giratorio de la mezcladora.

(Imagen 2.1)



Imagen 2.1. Ensamble de bomba hidráulica y reductor en una auto hormigonera. (Imagen tomada de <https://crete.com.co/ollas-para-camion/para-fines-educativos>).

Otra aplicación es en las máquinas de apoyo de descarga del concreto, ya sean fijas o tipo pluma para subir el concreto en construcciones elevadas. Estas máquinas utilizan los actuadores lineales hidráulicos para mover las cargas de concreto. (Imagen 2.2).

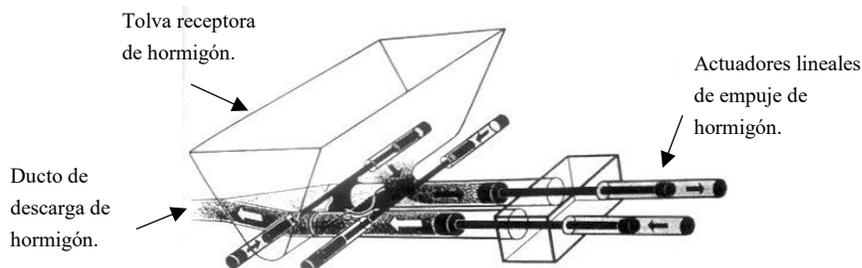


Imagen 2.2. Bomba hormigonera, donde los actuadores hidráulicos, son los encargados de desplazar el concreto.
(Imagen tomada de <https://procedimientosconstruccion.blogs.upv.es/> para fines educativos)

Las excavadoras, también basan su operación en el funcionamiento de un sistema hidráulico. (Imagen 2.3).



Imagen 2.3. Máquina excavadora.
(Imagen tomada de https://www.sanyglobal.com/es_ar/maquinas-excavadoras/index.html para fines educativos).

En los ejemplos anteriores se hace evidente la fuerza que la hidráulica de potencia puede desarrollar para que la maquinaria pueda realizar los trabajos para los cuales ha sido diseñada.

Hay muchas otras aplicaciones de la hidráulica de potencia para las máquinas de la industrias mencionadas. Ahora, enfocados a la industria de la transformación se pueden mencionar como ejemplos: prensas hidráulicas para troquelar, para estampar, para embutir, de diferentes tamaños y toneladas (Imagen 2.4). La principal característica de los sistemas hidráulicos es que desarrollan fuerzas, las cuales se miden en toneladas.



Imagen 2.4. Maquina estampadora.

(Imagen tomada de <https://lifumachinery.en.made-in-china.com/productimage/MbRQvOJVCFAz-2flj00KjPtgsSdHORT/China-Steel-Door-Panel-Embossing-Machine-Hydraulic-Skin-Press-Machine-Stamping-Punching-Machine-Door-Skin-Press-Machine.html> para fines educativos).

2.2 Transmisión de potencia hidráulica

Se puede mencionar, a la hidráulica de potencia como un medio para transmitir fuerza al empujar sobre un líquido confinado. Así, la bomba es el elemento que hace el empuje del fluido a la entrada del sistema y el elemento de salida es un actuador. La transmisión de la fuerza requerida para mover al actuador se realiza a través de líneas hidráulicas.

La incompresibilidad del fluido de trabajo permite que las acciones realizadas en el sistema hidráulico sean instantáneas.

En la imagen 2.5, hay un componente que genera la potencia, el cual es una bomba hidráulica y hay otro elemento que ejecuta una acción con la potencia recibida; este es un actuador.

En el esquema anterior se puede observar la representación física del principio de Pascal en las aplicaciones de la maquinaria hidráulica de potencia.

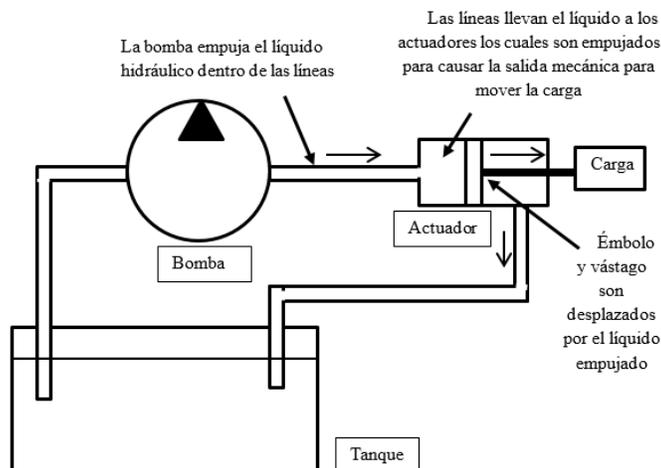


Imagen 2.5. La bomba empuja el fluido hidráulico dentro de las líneas, estas llevan el líquido a los actuadores los cuales son empujados para causar la salida mecánica para mover la carga. (Imagen tomada de Válvulas y Controles Mexicanos. (2002). *Manual de hidráulica industrial* para fines educativos).

Es relevante que la transmisión de potencia a través de fluidos, sigue siendo una de las técnicas de mayor aplicación en el campo de la maquinaria industrial y de la maquinaria móvil para transmitir fuerza en movimientos lineales (cilindros hidráulicos) y torque en movimientos rotativos (motores hidráulicos).

La transmisión de potencia hidráulica es una rama de la ingeniería en permanente desarrollo y crecimiento.

2.3 Selección de fluidos hidráulicos.

Válvulas y Controles Mexicanos. (2002) Indica, “Cualquier líquido es esencialmente incompresible y por eso transmite la fuerza instantáneamente en un sistema hidráulico. (...) El líquido más comúnmente usado en los sistemas hidráulicos es el aceite de petróleo. Una de (...) las propiedades más deseadas del aceite, es su habilidad de lubricación. El líquido hidráulico, debe lubricar la mayoría de las partes móviles de los componentes.” (p.4).

Ahondando en el tema, el fluido hidráulico, debe de cumplir con cuatro requisitos principales, a saber:

- Transmitir potencia. En este aspecto, el fluido debe cumplir con la característica de desplazarse con facilidad por ductos o tuberías así como por los orificios de los elementos mecánicos y móviles de control o de acción. El fluido, debe de cumplir con el mayor grado de incompresibilidad para que su respuesta sea inmediata al trabajo de la bomba o al cambio de posición de una válvula.
- Lubricar las piezas móviles. La mayoría de los elementos hidráulicos requieren ser lubricados y esta lubricación, obviamente la proporciona el fluido. Los elementos de la bomba y otras piezas, sujetas a desgaste se deslizan entre sí con una película de aceite de por medio. Es recomendable que el aceite tenga aditivos que garanticen buenas características contra el desgaste.
- Sellar las tolerancias entre una y otra piezas. El sellamiento que proporciona el aceite, es en muchos casos el único sello contra la presión en el interior de un componente hidráulico. Son solo el ajuste mecánico y la viscosidad del aceite los factores que determinan el porcentaje de fuga que pueda existir en un ensamble (Válvulas y Controles Mexicanos, 2002).



Imagen 2.6. Muestra en corte un cuerpo de válvula direccional donde se observa que entre el carrete y el cuerpo, únicamente está presente el ajuste mecánico.

(Imagen tomada de <https://www.youtube.com/watch?v=O3joII9Jkx4> para fines educativos)

En un corte de una válvula, se muestra como sólo entre la alta y la baja presión que controla el carrete de la misma válvula, existe solamente un sello mecánico. (Imagen 2.6).

- Enfriar o disipar el calor. El fluido hidráulico o aceite, tiene la finalidad de ser el medio para la transferencia del calor que se genera en el sistema, ya sea disipándolo en el tanque y principalmente en el intercambiador.

Existen más consideraciones relevantes que se tienen que observar para seleccionar un aceite como el fluido de un sistema hidráulico, Válvulas y Controles Mexicanos. (2002) hace mención de lo siguiente, el fluido hidráulico debe:

- Evitar la oxidación.
- Evitar la formación de sedimentos, gomas y barnices.
- Inhibir la espuma.
- Mantener su estabilidad y evitar la degradación.
- Mantener una consistencia estable en un amplio porcentaje de temperaturas.
- Separar el agua.
- Mantener una compatibilidad con sellos y empaques. (...)

En las propiedades del fluido hidráulico (aceite), también se tiene en cuenta la viscosidad. Considérese en este punto que (...) si un líquido fluye con facilidad, su viscosidad es baja, en este caso el fluido es delgado o tiene poco cuerpo. Contrariamente, un líquido que fluye con dificultad o que posee una alta viscosidad, se dice que es grueso o tiene mucho cuerpo (...). El índice de viscosidad del aceite (VI del inglés, Viscosity Index) es una medida arbitraria de la resistencia de un fluido al cambio de viscosidad con los cambios de temperatura. Por tanto, se dice que un aceite posee un alto VI, cuando su viscosidad se mantiene relativamente estable a temperaturas altas o bajas (...).

La alta viscosidad del fluido, es deseable para mantener un sellado adecuado en donde se deben trabajar sellos mecánicos, no obstante, una alta viscosidad del fluido en el sistema, presenta una alta fricción del mismo fluido afectando al sistema en los siguientes aspectos:

- Alta resistencia al desplazamiento
- Aumento en el consumo de potencia
- Aumento en la temperatura de trabajo por la fricción
- Aumento de la caída de presión debido a la resistencia
- Posibilidad de una operación lenta
- Dificultad para separar el aire del aceite en el tanque

Mientras que una viscosidad baja tendrá como resultado:

- Fugas internas
- Desgaste excesivo de piezas, pudiendo llegar a un atascamiento al estar sometido a cargas fuertes por el rompimiento de la película lubricante existente entre piezas móviles (p 3.1 - 3.10).

Actualmente, el desarrollo de lubricantes sintéticos, ha avanzado logrando estándares altos, para la lubricación de máquinas modernas que trabajan a altas velocidades y presiones, aunado a menores espacios entre los componentes a lubricar. La lubricación ahora puede ser de capa límite.

En el conocimiento de los aceites adecuados para trabajar en sistemas hidráulicos de maquinaria, es necesario saber que en lo que concierne a la resistencia a la oxidación, que es la unión química de uno o varios elementos con el oxígeno, ésta reduce gravemente la duración en servicio de un fluido. Los aceites derivados del petróleo son particularmente susceptibles a la

oxidación, ya que el oxígeno se combina fácilmente tanto con el carbono como con el hidrógeno que son los elementos de que está constituido el aceite.

La mayor parte de los productos de la oxidación son solubles en el aceite, ocurriendo nuevas reacciones de estos productos, que originan la formación de gomosidades, sedimentos y barnices. Los productos de la primera fase, que permanecen en el aceite, son de naturaleza ácida y pueden cambiar corrosión en todo el sistema, además de aumentar la viscosidad del aceite. Las gomosidades, sedimentos y barnices insolubles obstruyen orificios, aumentan el desgaste y hacen que se atasquen las válvulas. (p. 3.1 - 3.10)

De las situaciones descritas diversos fabricantes de máquinas de inyección, si no es que la gran mayoría, ahora se inclinan por el uso de lubricantes sintéticos debido a su capacidad de lubricación y a un mayor tiempo de vida del aceite.

2.4 El desplazamiento positivo.

La explicación del principio del desplazamiento positivo en el que se basan la gran mayoría de bombas hidráulicas, ya sean de caudal fijo o de caudal variable, se fundamenta en la potencia hidráulica (Imagen 2.7). Mataix, (1982) al respecto nos explica:

En el interior del cilindro en que se mueve un émbolo con movimiento uniforme y velocidad v hay un fluido a presión p . Supóngase que tanto el cilindro como el émbolo son rígidos e indeformables y que el fluido es incompresible. El movimiento del émbolo se debe a la fuerza aplicada F . El émbolo al moverse desplaza al fluido a través del orificio de la figura. Si el émbolo recorre una distancia l hacia la izquierda, el volumen ocupado por el líquido se reducirá en un valor igual a Al (donde A es el área transversal del émbolo). Como el fluido es incompresible el volumen del fluido que sale por el orificio será también Al . El tiempo t empleado en recorrer la distancia l es

$$t=l/v \quad \text{ecuación (1)}$$

El caudal Q , o volumen desplazado en la unidad de tiempo, será, el volumen Al entre el tiempo t . Teniendo en cuenta la ecuación anterior

$$Q= Al/t=Av \quad \text{ecuación (2)}$$

Si no hay rozamiento la potencia P comunicada al fluido será la fuerza F por la velocidad v

$$P=Fv$$

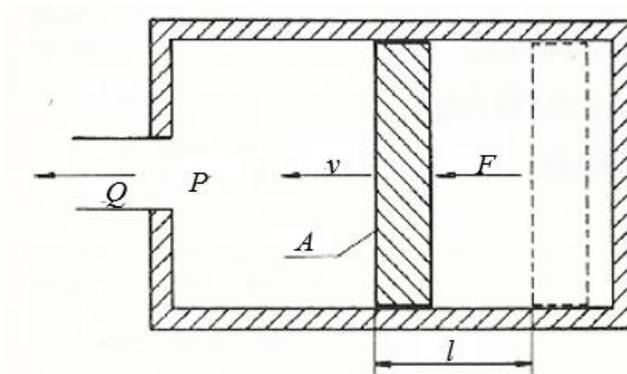
Pero $F=pA$; luego

Considerando la ecuación 2

$$P=Fv=pAv=Qp$$

Del resultado anterior y de la imagen (2.13) se observa que puede haber un funcionamiento como bomba o como motor, es decir, la máquina puede absorber potencia mecánica, Fv y restituir potencia hidráulica Qp (bomba) o viceversa. Tanto en un caso como en otro queda en evidencia que

El principio de desplazamiento positivo consiste en el movimiento de un fluido causado por la disminución del volumen de una cámara. (p. 553, 554).



*Imagen 2.7. Diagrama de desplazamiento explicado mediante el desplazamiento de un émbolo dentro de un cilindro. Al disminuir el volumen a la izquierda del émbolo, el fluido se verá obligado a salir sea cual fuere la presión, siempre que la fuerza F sea suficientemente grande y las paredes del cilindro suficientemente robustas. (Imagen tomada de Mataix, C. (1982). *Mecánica de fluidos y máquinas hidráulicas*. Madrid, España:*

HARLA para fines educativos.)

El principio de desplazamiento positivo, también se aplica a las bombas de fluido que usan las máquinas de inyección de plástico para el accionamiento hidráulico, un tipo de ellas es la bomba de caudal fijo, otro tipo es la bomba de caudal variable y ambas son de desplazamiento positivo.

También conocidas como bombas hidrostáticas y bombas volumétricas, las bombas de desplazamiento positivo son aquellas que suministran la misma cantidad de líquido en cada ciclo o revolución del elemento de bombeo, independientemente de la presión que encuentre el líquido a su salida.

2.5 La presión en los sistemas hidráulicos.

Sobre la explicación del principio de desplazamiento positivo, se entiende que la bomba hidráulica, tiene la finalidad de crear flujo y que este es constante en todo momento de operación de la bomba.

La presión en un sistema, se crea cuando el flujo que genera la bomba, encuentra resistencia. Dicha resistencia, es generada por la carga en los actuadores y por restricciones, ya sea de orificios o de los ajustes de control que se dan a las válvulas y tuberías.

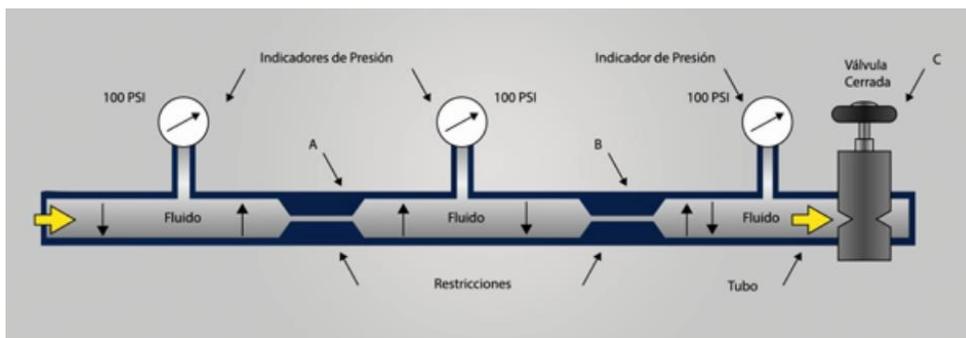


Imagen 2.8. Pérdida de presión a través de una tubería.

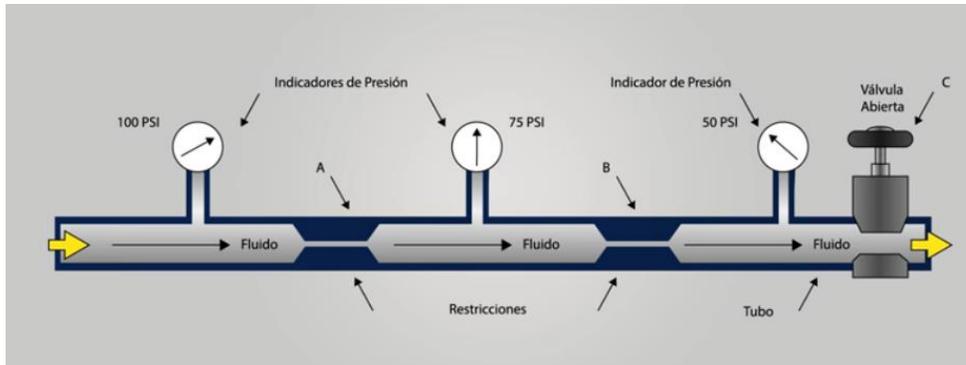


Imagen 2.9. Pérdida de presión a través de una tubería. En la imagen 2.8 se observa que la válvula a la salida de la tubería, se encuentra cerrada por lo que los manómetros indican una lectura de presión de 100 psi. En la imagen 2.9, la válvula a la salida se ha abierto con lo que la presión leída en el manómetro de la derecha ha disminuido a 50 psi, ya que el flujo dentro de la tubería no tiene ya el mayor obstáculo. (Imágenes tomadas de <http://www.ashm.mx/blog/perdida-de-presion-a-traves-de-la-tuberia/> con fines educativos).

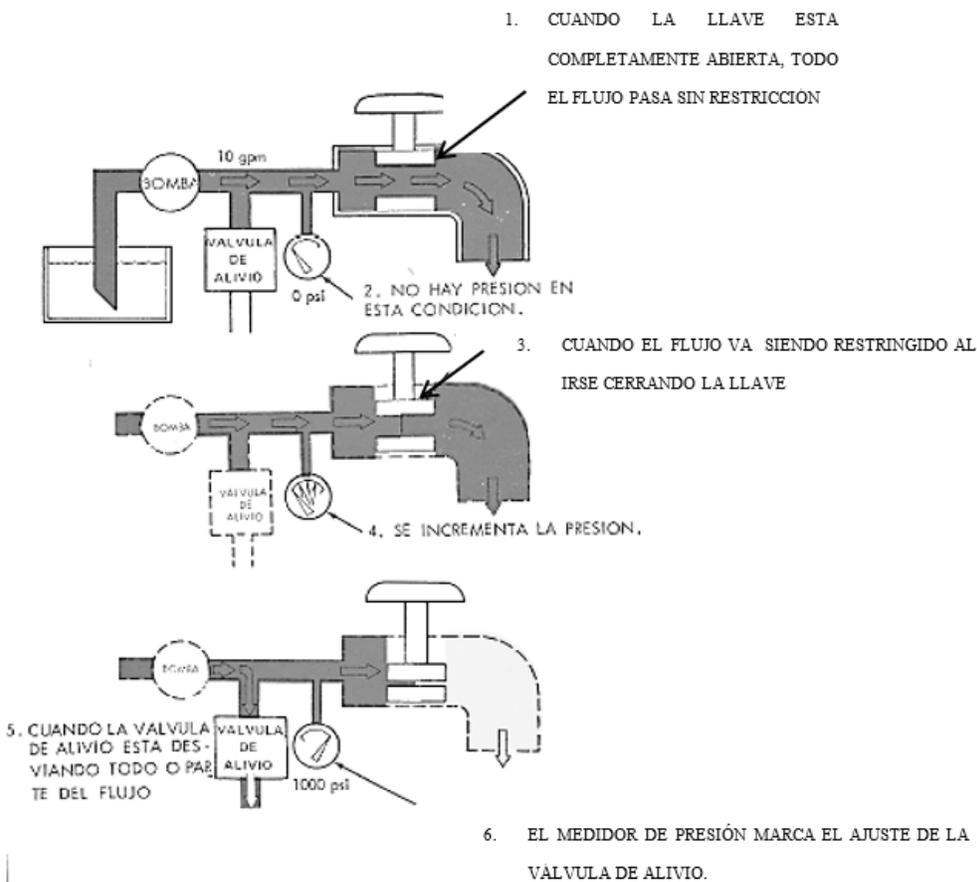


Imagen 2.10. La presión causada por medio de una restricción y limitada por una válvula de control de presión. (Imagen tomada de Válvulas y Controles Mexicanos. (2002). *Manual de hidráulica industrial* para fines educativos).

En la imagen anterior, una bomba que entrega 10 galones por minuto (gpm) tiene su salida conectada a una válvula de alivio ajustada a 1000 psi y a una llave de agua común y corriente. Si la llave está completamente abierta, el abastecimiento de la bomba fluye sin restricción y no marca nada el medidor de presión.

Supongamos que la llave a continuación es gradualmente cerrada. Esta resistirá el flujo y causará presión que se creará en el lado de contracorriente. Así como se vaya restringiendo la salida, ésta tomará gradualmente más presión para empujar los 10 gpm a través de la restricción. Sin la válvula de alivio, ahí teóricamente no habría límite de la presión creada.

2.6 Potencia y trabajo.

En diversas ocasiones, es necesario poder calcular y entender los términos de unidades que se aplican en los sistemas hidráulicos, como por ejemplo la potencia, el trabajo, el caudal que da la bomba. En física, el trabajo se define como el resultado de una fuerza que se ejerce en un objeto al desplazarlo una distancia.

$$\text{Trabajo} = \text{Fuerza} \times \text{distancia.}$$

No obstante, cuando deseamos saber que tan rápido se realiza un trabajo, se llega a la definición de lo que es potencia. El solo hecho de definir el trabajo, no nos garantiza saber la rapidez con que se realiza el mismo. Como ejemplo, veamos que si una persona, sube costales de 10 kilogramos la distancia de una escalera de diez metros, la velocidad con la que suba puede ser diferente, el tiempo en que realice el trabajo será la diferencia y se observará que la potencia de trabajo será diferente.

Para el caso del ejemplo se tendría como el trabajo realizado el producto de

$$\text{Trabajo} = 10\text{kg} \times 10 \text{ m} = 100 \text{ kg. m.} = 100 \text{ Joules.}$$

$$1 \text{ Joule} = 0.1019 \text{ Kg m}$$

En tanto que la potencia estará dada por

$$\text{Potencia} = (\text{Fuerza} \times \text{distancia}) / \text{Tiempo} = \text{Trabajo} / \text{Tiempo}$$

Las unidades son los caballos de fuerza o hp

$$1 \text{ HP} = 745.7 \text{ Joules/segundo.}$$

Dado que aun cuando el sistema internacional de unidades se ha aceptado y se usa en los países donde predominaba el sistema inglés de unidades, muchos técnicos e ingenieros, trabajan con este último sistema, y son aplicados en diversos términos y lecturas de capacidades de la máquina. Ejemplo concreto para referirse a la capacidad de la bomba hidráulica, se usa el término del sistema inglés “galones por minuto” (gpm). Por tal motivo, al hacer referencia a las descripciones de la bomba hidráulica de la máquina de inyección de plástico, usare las unidades de gpm.

En el sistema hidráulico la velocidad y la distancia se indican por medio de los gpm que fluyen y la fuerza por la presión. Así tenemos que podemos expresar la potencia hidráulica con:

$$\text{Potencia} = (\text{galones/min}) \times (\text{libras/pulg}^2)$$

En el sistema inglés la equivalencia del hp es

$$1 \text{ hp} = 33000 \text{ pies libras/minuto} = 550 \text{ pies libra/segundo}$$

Considerando que

$$1 \text{ galón} = 231 \text{ pulgadas}^3$$

$$12 \text{ pulgadas} = 1 \text{ pie}$$

Tenemos que:

La potencia mecánica es

$$\text{Potencia} = 231 \text{ (pies libras)/12 min}$$

Esto nos da el equivalente de la potencia mecánica del fluido de un galón por minuto a un psi de presión. Para expresarlo como caballos de fuerza, dividimos el resultado anterior entre

33000 (pies libras)/minutos

Con lo que se tiene

$$[231 \text{ (pies libras)/12 minuto}] / [(33000 \text{ pies libras)/minuto}] = 0.000583$$

Así que, el fluido de un galón por minuto a un psi (libra por pulgada cuadrada) es igual a 0.000583 hp”

Estos resultados están enfocados a indicar la potencia exacta en hp que se está usando en el sistema. Lógicamente, los hp requeridos, deben de ser más altos ya que en la realidad, ningún sistema es eficiente al 100%.”

Una formula preestablecida para calcular la potencia de entrada requerida en un sistema hidráulico, considerando una eficiencia del 80%, está dada por

$$Hp = \text{gpm} \times \text{psi} \times 0.0007$$

2.7 Caída de presión.

En los sistemas hidráulicos industriales, se aplican diversos principios de control para el flujo y la presión aplicada, en ocasiones se usan resortes calibrados mediante los mecanismos de las válvulas para lograr el mencionado objetivo de control, en otros casos, se usa la caída de presión a través de orificios:

Como explicación, tomemos de referencia un orificio que puede ser un pasaje restringido en una línea o componente hidráulico, usado para controlar el flujo o crear una diferencia de presión.

Para que el aceite pueda fluir a través de un orificio, debe de haber una diferencia de presión. Como situación consecuente, si no hay flujo, no hay diferencia de presión a través del orificio.

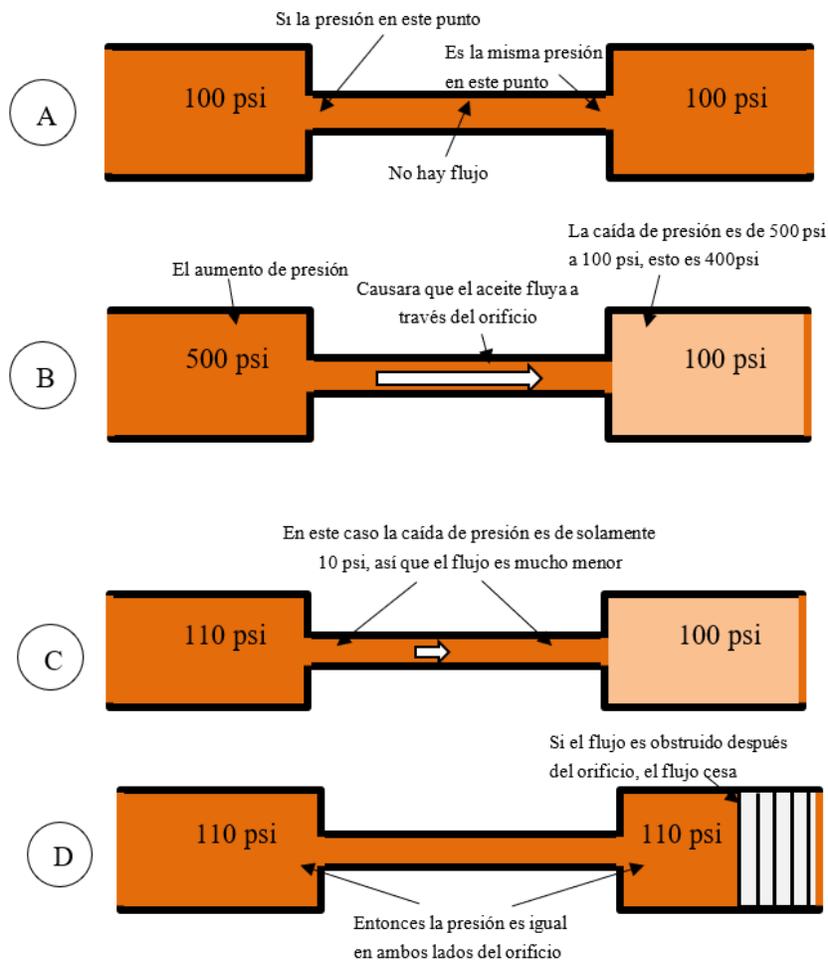


Imagen 2.11. Flujo a través de un orificio debido a la caída de presión y a una obstrucción. (Imagen tomada de Válvulas y Controles Mexicanos. (2002). Manual de hidráulica industrial para fines educativos).

Considerando las condiciones alrededor del orificio, en la imagen 2.11 A. La presión es igual en ambos lados, entonces el aceite está siendo empujado en ambas formas y no hay flujo.

En la imagen 2.11 B, la presión más alta empuja más fuerte hacia la derecha y el aceite fluye a través del orificio. En la imagen 2.11 C también hay una caída de presión, sin embargo, el flujo es menos que en la 2.11 B porque la diferencia de presión es más baja.

Si el flujo es parado detrás de un orificio imagen 2.11 D la presión inmediatamente se igualará en ambos lados del orificio de acuerdo con la Ley de Pascal. Este principio es esencial para el funcionamiento de muchos componentes hidráulicos

3.- La hidráulica industrial en el proceso de inyección de plásticos.

3.1 La inyección de plásticos.

La inyección de plásticos es una tecnología que se basa en una máquina que realiza los movimientos del proceso hidráulicamente. El tipo de plástico adecuado para la pieza que se va a formar, se funde en un cilindro por la transmisión de calor de un arreglo de resistencias y la fricción de un tornillo de carga que gira para suministrar material a una sección del cilindro donde se acumula en cada ciclo para inyectarse al molde mediante una fuerza hidráulica. En el molde, que se debe encontrar a una temperatura fría, la carga de plástico inyectado solidificará rápidamente. Después de un tiempo corto de enfriamiento, al separar las dos secciones que conforman un molde, se obtendrá una pieza terminada.

Hace apenas aproximadamente 150 años, no se conocía la tecnología de inyección de plástico. En 1872 se registró la primera patente de una máquina que producía piezas de plástico a partir de un molde de forma rudimentaria.

En los años 30 del siglo pasado, la compañía Mentmore Manufacturing utilizó una máquina de inyección que funcionaba en una combinación de movimientos neumáticos y manuales. No utilizaba sistemas hidráulicos.

El proceso de moldeo por inyección de plástico en las máquinas que basan su funcionamiento en la hidráulica, ha evolucionado. Además de que es un proceso rápido y eficiente, es la técnica más popular para fabricar piezas de este material. Esto se debe a la enorme variedad de formas en las que el plástico se puede moldear.

Una de las ventajas más importantes es que las piezas moldeadas requieren muy poco trabajo de acabado o nada. Este proceso permite fabricar una infinidad de artículos de una sola pieza, con texturas, colores y otras variables definidas directamente desde la inyección en el molde.

La precisión con la cual trabajan estas máquinas, es fundamental para obtener la calidad y rendimiento adecuados, ya que todas las piezas de la producción deben ser iguales.

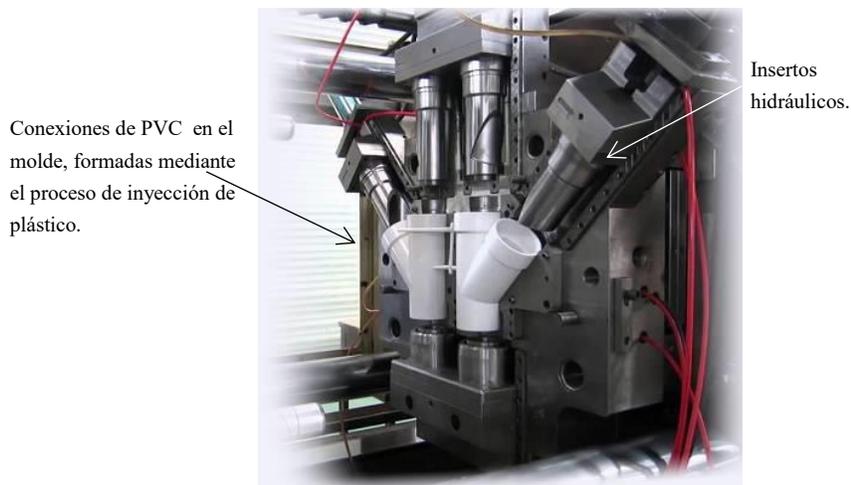


Imagen 3.1. Vista de piezas en molde de inyección de plástico con sistema de insertos. (Imagen tomada de <https://www.interempresas.net/metalmecanica/Productos/Diseno-y-fabricacion-de-moldes.html#!Producto-Moldes-de-inyeccion-para-PVC-142002> para fines educativos.)

3.2 La máquina de inyección.

Diversos fabricantes de máquinas de inyección de plástico y empresas usuarias de las mismas máquinas, se refieren a las unidades que integran una máquina de inyección por diferentes nombres o términos, algunos desglosan la máquina por secciones que integran a otras.



Imagen 3.2 Vista del lado operador de una máquina de inyección. (Imagen tomada de <https://www.machinio.com/listings/32072833-1994-cincinnati-milacron-vt110-10-in-gibsonville-nc> para fines educativos).

Unidad hidráulica de una máquina de inyección de plástico, con la vista de algunos componentes de múltiple de la bomba.



Imagen 3.3. Vista lado contrario a operador de una máquina de inyección. (Imagen tomada de <https://portal-images.azureedge.net/auctions-2016/bscm10278/images/b226c9a9-a3b8-4c57-e4ed-5894f3d209e8.jpg?w=540&h=360> para fines educativos).

Hay una alta posibilidad de que no exista un acuerdo para denotar los sistemas de una máquina de inyección de plásticos, pero se logra el entendimiento al identificar a estos por su función.

De acuerdo a experiencias personales, se puede mencionar que los sistemas integrantes de la máquina de inyección más importantes o relevantes son: El Sistema Hidráulico, La Unidad de Cierre o Prensa, Molde, La Unidad de Inyección y La Unidad de Control, cabe aclarar que el enfoque es a la hidráulica industrial aplicada a este tipo de máquinas.

El sistema hidráulico es el conjunto de todos los elementos hidráulicos. Está separado por secciones que se conocen como múltiples (Imagen 3.4).

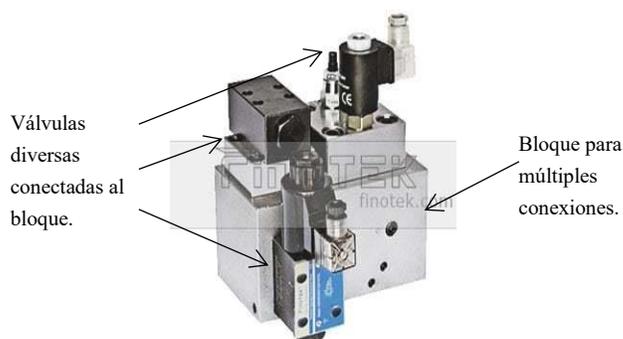


Imagen 3.4. Vista de un múltiple de válvulas sencillo (Imagen tomada de <https://www.finotek.com/hydraulic-control-valve-manifold-150l-800l/> para fines educativos).

El sistema hidráulico está integrado, de forma común por, un múltiple desde donde se controla la unidad de inyección, un múltiple donde se controla el movimiento de la prensa y un múltiple donde está enlazado el control de la bomba. En el sistema hidráulico se incluyen actuadores, el acumulador, el intercambiador de calor, y el tanque.

Unidad de cierre (Imagen 3.8). Esta sección de la máquina realiza, mediante movimientos hidráulicos, las siguientes funciones:

- Abrir y cerrar las mitades del molde, de tal forma que las proteja, haciendo que antes de que se toquen al cierre y antes de abrirse, actúe el sistema a baja presión y baja velocidad.
- Ejercer la fuerza de cierre necesaria durante la inyección y el sostenimiento, para evitar que el molde se abra.
- Activar el sistema de expulsión hidráulico para que la pieza moldeada se separe del molde una vez que se ha solidificado.

Existen diversas formas en que funciona el sistema de la unidad de cierre. Estas formas pueden ser

a) Por sistema hidráulico: son accionados por un actuador hidráulico lineal de alta carrera y diámetro. (Imagen 3.5).

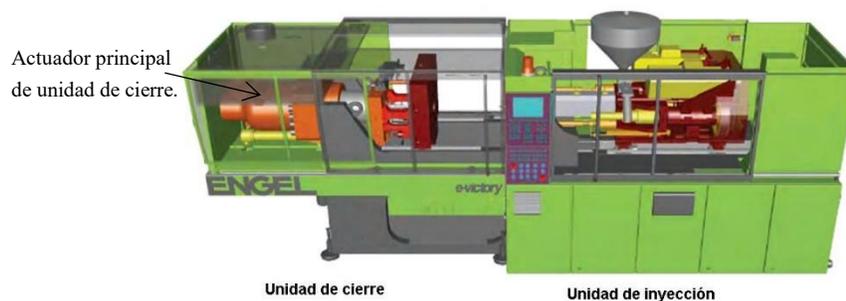


Imagen 3.5. En esta imagen se presenta una máquina de inyección con el sistema de cierre accionado por actuador hidráulico. (Imagen tomada de <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/06/inyeccion-de-materiales-plasticos-i.html> para fines didácticos).

b) Mecánico (Rodillera): Es una operación conjunta de sistemas hidráulicos y mecánicos accionados también por actuadores lineales o rotativos. (Imagen 3.6).

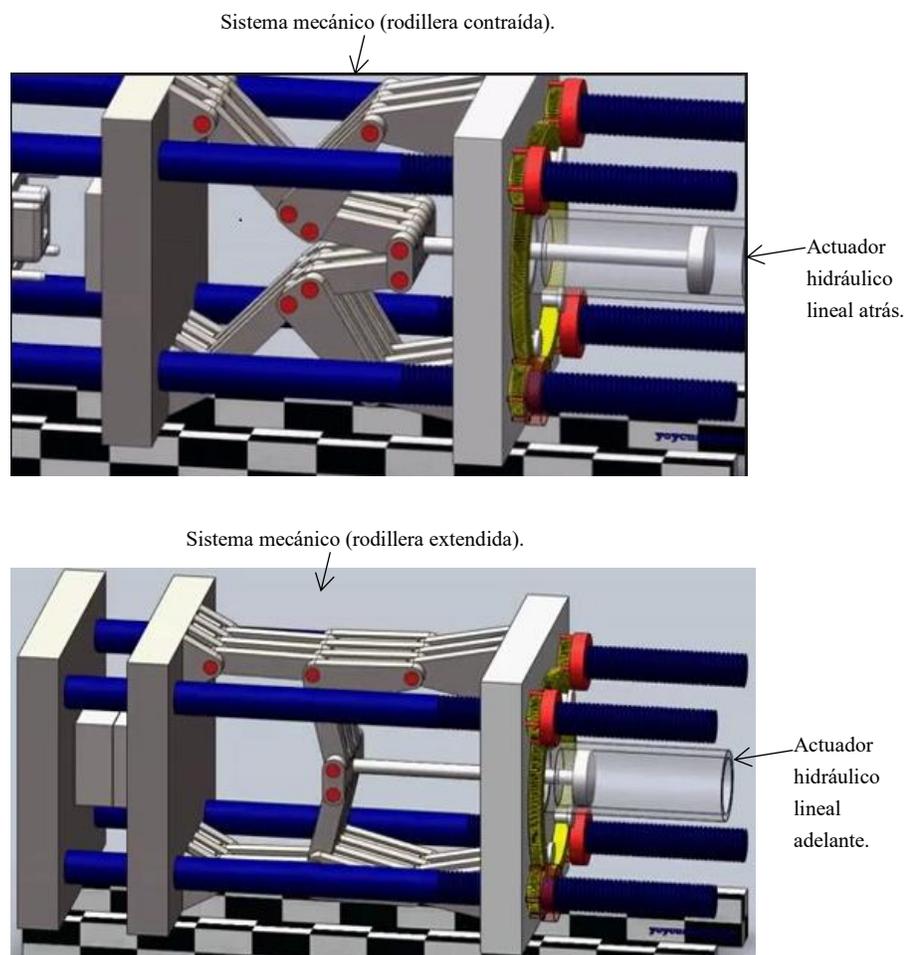


Imagen 3.6. Los gráficos mostrados, corresponden a los sistemas de cierre mecánico, denominado de rodillera. En ellos se observa la relevancia del actuador hidráulico para su funcionamiento. (Imágenes tomadas de G. Alfonso en <https://www.youtube.com/watch?v=iYqJi9joWBI> Para fines educativos).

La unidad de cierre debe de desarrollar una fuerza que se contraponga a la fuerza de inyección cuando está pasando el plástico del cañón en la unidad de inyección al molde, para ello, cuando el cierre de prensa se realiza solo por medios hidráulicos, el sistema debe bloquearse por medio de válvulas diseñadas para tal fin. No obstante los sistemas varían de un fabricante a otro y cuando el diseño de la máquina lo permite, se opta por el sistema de rodillera, el cual usa el

actuador hidráulico para realizar el movimiento de un sistema mecánico y el cierre de la prensa se asegura por medio de un bloqueo mecánico positivo.

Como datos informativos, en la siguiente tabla se muestra la fuerza de cierre que debe lograrse en la unidad de cierre o prensa contra la cantidad de material inyectado.

Tabla 3.1

Fuerza de cierre vs Cantidad de material inyectado.

Fuerza de cierre Toneladas	Peso inyectado Onzas	Fuerza de cierre Toneladas	Peso inyectado Onzas
10 – 25	Hasta 2	450 – 500	30 – 80
25 – 50	1 – 4	500 – 600	40 – 100
50 – 100	2 – 10	600 – 700	50 – 120
100- 150	3 – 15	700 – 800	60 – 140
150 – 200	4 – 25	800 – 900	70 – 180
200 – 250	6 – 30	900 – 1000	80 – 200
250 – 300	8 – 40	1000 – 1200	100 – 300
300 – 350	10 – 50	1200 – 1500	120 – 400
350 – 400	20 – 60	1500 – 2000	150 – 600
400 – 450	25 – 70	2000 – 4000	200 – 900

1 Onza = 28.3 Gramos

Tomado de: ASESORIA Y CAPACITACIÓN PARA LA INDUSTRIA DE PLASTICOS. (1999). *Fundamentos del moldeo por inyección.*

Los dos sistemas de cierre tienen ventajas y desventajas, en la tabla que se presenta a continuación estas se mencionan para cada sistema.

Tabla 3.2

En esta tabla comparativa, se muestran las ventajas y desventajas de los sistemas de cierre hidráulico y de rodillera.

Cierre hidráulico.	Cierre de rodillera.
Costo inicial mayor.	Menor costo inicial.
Mayor cantidad de energía requerida para moverse (HP).	Menor cantidad de energía requerida para moverse (HP).
Cierre no positivo.	Cierre positivo (también denominado enclavamiento).
Potencial de cierre ilimitado.	Potencial de cierre limitado.
La lectura de la fuerza de cierre es directa (la que está aplicándose al molde).	La lectura de la fuerza de cierre no es directa (no se sabe cuánto es la fuerza real aplicada al molde).

Continuación.	
Rápido ajuste de la fuerza.	Difícil ajuste de la fuerza de cierre.
Rápida colocación del molde.	Más tiempo invertido en la colocación del molde.
Se puede variar la carrera de cierre de acuerdo al molde.	La carrera del molde es constante.
Se puede controlar la velocidad de cierre o paro en cualquier punto.	Es difícil controlar la velocidad de cierre y el paro en cualquier punto.
No requiere lubricación.	Mayor costo de mantenimiento por ensambles para articulaciones y lubricación.
No son requeridas líneas de lubricación.	Requiere líneas de lubricación que pueden sufrir deterioro e implicar costo de rehabilitación o de manera crítica dejar de lubricar y provocar desgaste de articulaciones aumentando el gasto de mantenimiento.

Tomado de: ASESORIA Y CAPACITACIÓN PARA LA INDUSTRIA DE PLASTICOS. (1999). *Fundamentos del moldeo por inyección*.

Molde. A éste elemento se hace referencia, dado que diversos usuarios de las máquinas de inyección los consideran como parte integrante de la misma, sin embargo, este punto de vista se puede poner en cuestión, ya que si bien es cierto que lo relevante del molde es que contiene la cavidad donde se formará la pieza a producir en grandes cantidades, éste elemento, no forma parte de la máquina en su diseño.

El molde es en conjunto una pieza intercambiable que se conforma regularmente por dos secciones que se sujetan en la prensa de la máquina de inyección, en cada una de las platinas, una móvil y otra fija. Las dos secciones del molde se unen herméticamente al cerrarse las platinas de la prensa.

Las dos mitades del molde al juntarse, forman una cavidad que se llenará con el fluido del polímero caliente, para tomar la forma y replicar la pieza correspondiente. El material es presionado por la unidad inyectora para llenar la cavidad del molde al 100% antes de enfriarse.

Dado que para cada pieza que se puede fabricar en una máquina de inyección un molde difiere de otro en componentes y funcionamiento, ASESORIA Y CAPACITACIÓN PARA LA INDUSTRIA DE PLASTICOS. (1999), indica las partes componentes que tienen la mayoría de moldes, estas están indicadas en el siguiente diagrama y descritas en la tabla:

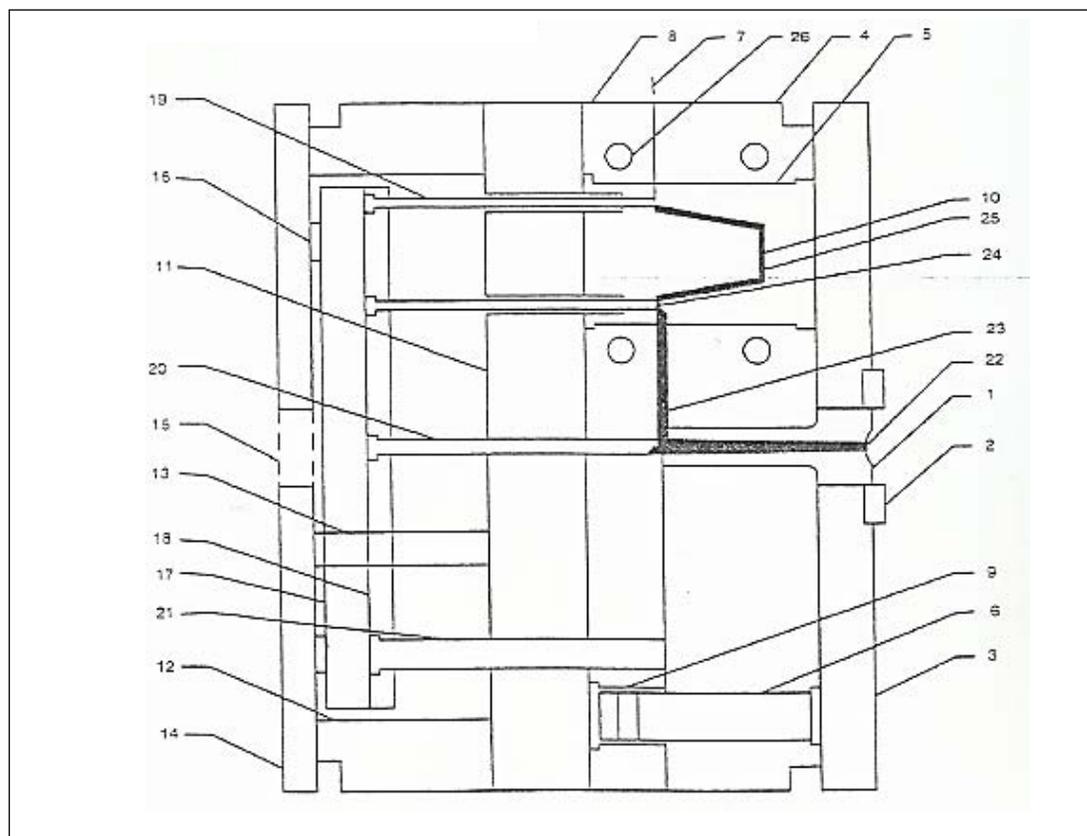


Imagen 3.7. Vista en corte de un molde mostrando sus elementos constitutivos. (Imágenes tomadas de ASESORIA Y CAPACITACIÓN PARA LA INDUSTRIA DE PLASTICOS. (1999). *Fundamentos del moldeo por inyección* para fines educativos).

Tabla 3.3

Nombre y descripción de los elementos del molde de acuerdo a la imagen anterior.

1	Buje de la colada	Conecta el molde con la boquilla de la máquina
2	Anillo ubicador (centrador)	Ubica el molde en la platina estacionaria de la máquina
3	Plato delantero de fijación	Conecta la mitad estacionaria del molde a la platina estacionaria de la máquina.
4	Plato A	Normalmente contiene insertos de la cavidad
5	Insertos de la cavidad	Forma el exterior de la parte
6	Pasador Guía	Asegura alineamiento de las mitades del molde
7	Línea de partición	Línea donde las dos mitades del molde se juntan
8	Plato B	Normalmente contiene los insertos alma
9	Buje para pasador guía	Sirve como guía para el pasador guía
10	Inserto del alma	Forma el interior de la parte

11	Plato soportador	Provisiona soporte para el plato B
12	Carril de soporte	Soporte del plato B y forma el plato expulsor
13	Pilar de soporte	Soporta el plato B y guía el plato expulsor
14	Plato posterior de fijación	Conecta la mitad móvil del molde con la platina móvil de La máquina
15	Agujero para la barra expulsora	Permite entrada al mecanismo expulsor
16	Tope del expulsor	Tope para el regreso del plato expulsor
17	Plato expulsor	Empuja los pasadores de expulsión hacia adelante para quitar las partes
18	Plato retenedor de los expulsores	Contiene los pasadores de expulsión
19	Pasadores de expulsión	Pasadores para expulsar las partes del molde
20	Gancho para la colada	Trae consigo la colada en cuanto abre el molde
21	Pasadores de retorno	Regresa el plato expulsor con el cierre del molde
22	Colada	Canal para hacer llegar el material de la boquilla hasta la corredera del molde
23	Corredera	Permite el flujo de material desde la colada hasta la puerta de la cavidad
24	Puerta de la cavidad	Permite y dirige el flujo de material desde la corredera hacia el interior de la cavidad
25	Parte	Diferencia entre cavidad y alma o corazón
26	Líneas para el agua	Eliminan el calor del plástico y permite que se endurezca

Tomado de: ASESORIA Y CAPACITACIÓN PARA LA INDUSTRIA DE PLASTICOS. (1999). *Fundamentos del moldeo por inyección*.

La unidad de inyección, es un conjunto más de elementos que forman propiamente una unidad integrante de la máquina (Imagen 3.8, 3.9).



Imagen 3.8. Vista de diversas secciones de una máquina de inyección de plástico. (Imagen tomada de https://www.stoneauctioneers.com/auctionpages/imm/Stone_5.17%20Injection%20Mold%20Auction%20Bro-4.pdf para fines educativos).

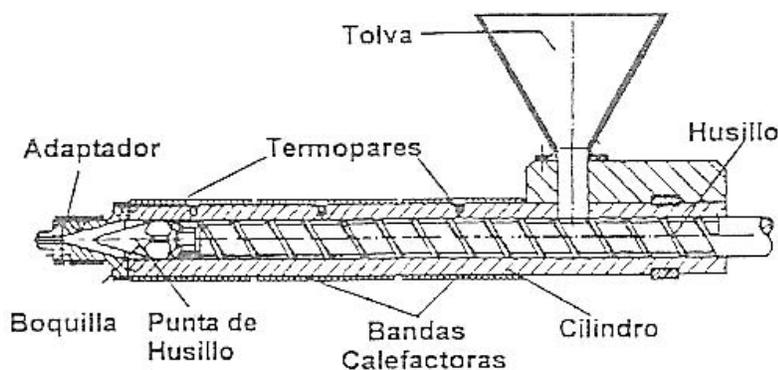


Imagen 3.9. Vista en corte de un molde mostrando sus elementos constitutivos. (Imágenes tomadas de ASESORIA Y CAPACITACIÓN PARA LA INDUSTRIA DE PLASTICOS. (1999). *Fundamentos del moldeo por inyección*. para fines educativos).

En la unidad de inyección se realizan las siguientes funciones,

- Carga de material, introducción por gravedad desde el dispositivo denominado tolva a través de una garganta de admisión el plástico de características adecuadas para el proceso, este puede ser en polvo, o pellets con o sin aditivos.
- Plastificación y homogenización del material hasta que el plástico o material fundido tenga la fluidez necesaria para poder inyectarlo en el molde con la característica de que en el momento de la inyección, el material que está en este proceso tenga una temperatura uniforme.
- Dosificación, esto es medir y suministrar la cantidad de material necesario a inyectar en el molde para que se forme la pieza a trabajar y no existan faltantes que provoquen piezas incompletas o se produzca un atascamiento de material en el molde
- Inyección al molde a través de la boquilla de inyección. Esta función como la acción lo indica, tiene la finalidad de introducir a la cavidad o cavidades del molde el plástico fundido a alta velocidad y presión, por medio de un movimiento axial del husillo y sostener diferentes presiones sobre el material inyectado para evitar regreso del material y compactarlo.

Está compuesta por una tolva de alimentación, un cilindro o cañón, el husillo o sin fin, bandas calefactoras, termopares, adaptador y boquilla.

La unidad de inyección es una de las partes más importantes de la máquina, pues se encuentran en ella la mayor parte de los factores que afectan a la eficiencia del proceso de inyección.

Todo tipo de máquina de inyección, se compone de los elementos descritos. Solo existirán ligeras variantes por la capacidad y tamaño pero todas y cada una de dichas máquinas, utilizan la hidráulica industrial para su funcionamiento.

La unidad de control, es en esta sección de la máquina donde se establecen, monitorean y controlan todos los parámetros del proceso:

- Tiempos
- Temperaturas
- Presiones
- Velocidades.

El control electrónico, nuevos programas y la tecnología informática que se han desarrollado y que se incorporan a las máquinas de nuevas generaciones para obtener diferentes informes aplicaciones, permite obtener estadísticas de los parámetros de moldeo, grabar parámetros que resulten óptimos para la producción con algún material a manera de receta. El sistema también da informes sobre fallas y modificaciones de parámetros, así como advertencias del proceso o alarmas por algún parámetro fuera de especificación.



Imagen 3.10. Tablero de control moderno. (Imagen tomada de <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/06/inyeccion-de-materiales-plasticos-i.html> para fines educativos).

3.3 Ventajas de la hidráulica para el proceso de inyección de plásticos.

La hidráulica industrial en la inyección de plásticos, tiene ventaja sobre otros sistemas debido a que en el diseño siempre se puede ubicar como un sistema centralizado y desde una ubicación, transmitir la energía al actuador que sea necesario mover, comparado con un sistema en el que fueran motores eléctricos los que fueran encargados de mover a los actuadores, cada motor de acuerdo a la potencia requerida, implicaría espacios y ubicaciones que terminarían conformando una máquina más grande y sofisticada para cumplir con su propósito.

El análisis comparativo entre una máquina con sistemas de fuerza eléctricos y una con sistemas de fuerza hidráulicos, derivados de la aplicación de un motor eléctrico para uso y control del husillo de carga, Husky Departamento Técnico, (2003), concluyó lo siguiente:

Con frecuencia cuando se habla de las ventajas de las máquinas eléctricas se comparan con antiguas máquinas de rodillera o máquinas de funcionamiento totalmente hidráulico. Sin embargo, los recientes adelantos en el sector de la tecnología hidráulica y las nuevas máquinas hidromecánicas más eficientes no se consideran. La nueva inyectora híbrida Hylectric de Husky, que combina los conceptos hidráulico y mecánico con un husillo eléctrico, consigue una gran eficacia en el aprovechamiento energético, propio de todas las máquinas de funcionamiento totalmente eléctrico, a la vez que ofrece ventajas como una mayor protección de molde, tiempos de ciclo reducidos y una inyección más rápida.

El uso de unidades de accionamiento eléctrico ha aumentado considerablemente en estos últimos años, desafiando el predominio de las unidades de accionamiento hidráulico. La pregunta que se plantea es la siguiente: ¿Dónde están las ventajas reales?

Un análisis meticuloso revela que las unidades de accionamiento eléctrico son aproximadamente un 10% más eficientes que las unidades de accionamiento hidráulico modernas que utilizan motores y bombas de desplazamiento variable de funcionamiento continuo.

Las unidades de accionamiento eléctrico ofrecen la ventaja de no gastar energía cuando no hay demanda. No obstante, el uso de motores refrigerados por agua más eficientes o unidades de accionamiento de velocidad variable para las aplicaciones de ciclo más largo, hace que los sistemas hidráulicos reduzcan considerablemente el consumo de energía.

Una máquina eléctrica deberá utilizar un motor separado para cada eje. Los sistemas hidráulicos, sin embargo, permiten compartir la potencia producida por un motor-bomba individual. Sin embargo con un sistema de accionamiento eléctrico, la Hylectric utiliza un sistema hidráulico más pequeño ya que no necesita entregar potencia para la fase de plastificado.

También hay que tener en cuenta que las máquinas eléctricas utilizan dispositivos mecánicos como correas de distribución, cadenas de transmisión o husillos de bolas para convertir el movimiento rotatorio de un sistema eléctrico en un movimiento lineal. Para aplicaciones lineales de carga y velocidad elevadas, el tamaño y coste de dichos mecanismos, se vuelven realmente prohibitivos, mientras que un cilindro hidráulico sencillo de bajo coste puede cumplir sobradamente con estas mismas exigencias y además requeriría un mantenimiento mínimo, un coste más bajo y una velocidad más elevada.

Finalmente, como el proyecto de almacenamiento de energía no es un proyecto económicamente factible, una unidad de accionamiento eléctrico deberá ser lo suficientemente potente para como para cumplir con las demandas de valores de cresta para cada función. Frente a esto, el tamaño de un motor bomba hidráulico podrá ser considerablemente reducido gracias al uso de acumuladores”

La exposición de la compañía fabricante de máquinas de inyección Husky en el artículo expuesto, refuerza el punto de vista que se tiene de las ventajas que suministran los sistemas hidráulicos a otros sistemas, para diferentes procesos industriales, entre ellos la inyección de plástico y que algunas de estas ventajas se han mencionado en este trabajo.

3.4 Ciclo de la máquina de inyección de plásticos

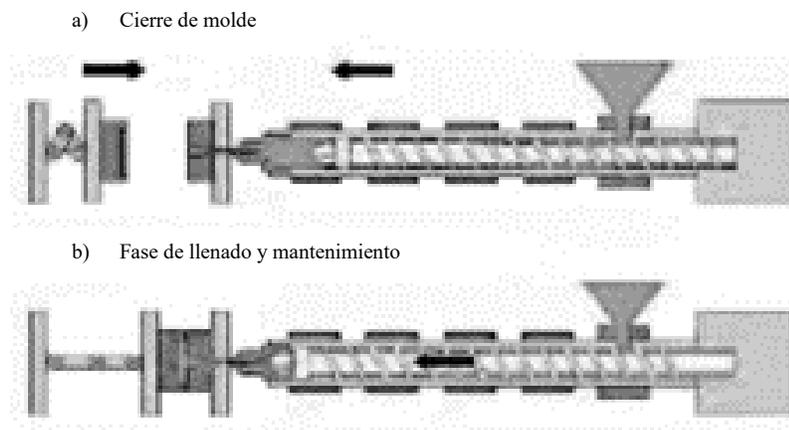
Es necesario comprender el proceso y las etapas de una máquina de inyección para ver cómo se aplican y funcionan los componentes usados en la hidráulica industrial.

Se explicará de manera breve, un ciclo de inyección y algunos movimientos adicionales de la máquina.

El proceso de obtención de una pieza de plástico por inyección, sigue un orden de operaciones que se repite para cada una de las piezas. Este orden, conocido como ciclo de inyección, se puede dividir en las siguientes etapas

- a) Cierre de molde
- b) Inyección
 - 1) Fase de llenado
 - 2) Fase de sostenimiento
- c) Plastificación o dosificación y enfriamiento
- d) Apertura de molde y enfriamiento de la pieza.

La imagen siguiente muestra las diferentes etapas del ciclo.



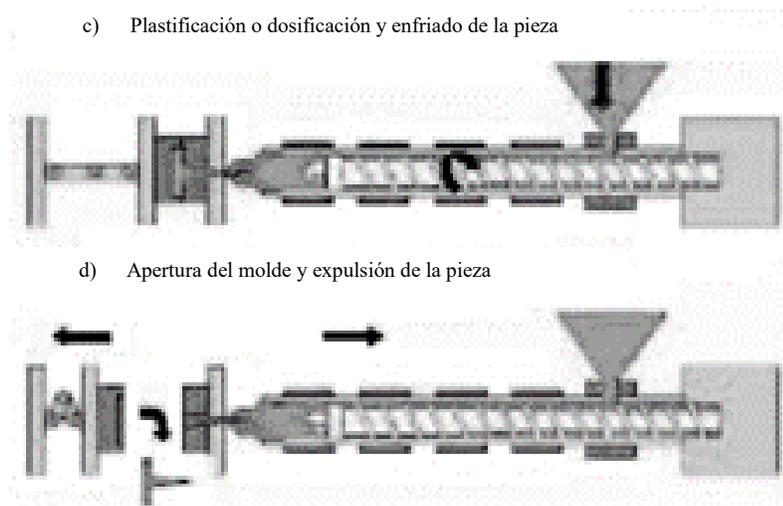


Imagen 3.11. Etapas del proceso de inyección. (Tomado de <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/06/inyeccion-de-materiales-plasticos-ii.html> para fines educativos).

Etapas del proceso de inyección.

a) Cierre de molde.

Con el cierre del molde se inicia el ciclo, preparándolo para recibir la inyección del material fundido. En esta fase se aplica la fuerza de cierre, que es aquella que hace la máquina para mantener cerrado el molde durante la inyección. Si la máquina cierra por medio de un mecanismo de rodillera, el actuador hidráulico intervendrá para realizar esta acción hasta que se realice el cierre positivo o enclavamiento del mecanismo para asegurar el molde cerrado. Si el cierre lo realiza un actuador, la hidráulica intervendrá durante este proceso ejerciendo una fuerza o presión del actuador, de magnitud considerable, sobre la platina móvil hasta que se realice la apertura del molde. El sistema hidráulico sigue interviniendo en el funcionamiento del sistema de cierre durante todo el ciclo, abriendo, cerrando y dando alta presión a la platina móvil.

Depende de la superficie proyectada de la pieza y de la presión real (presión específica), que se tiene en la cavidad del molde.

b) Inyección.

En esta etapa se producen dos fases: fase de llenado y fase de mantenimiento.

Se puede indicar que en las fases mencionadas es donde se requiere el desarrollo de toda la fuerza hidráulica de la máquina.

Una vez cerrado el molde y aplicada la fuerza de cierre, se inicia la fase de llenado de molde (inyección). El husillo de la unidad de inyección inyecta el material fundido dentro del molde a una presión elevada; al inyectar el husillo avanza sin rotación.

La finalidad de esta fase es llenar el molde con una cantidad suficiente de material.

En la inyección son muy importantes las siguientes variables:

- La velocidad de inyección.
- La presión de inyección.
- La temperatura del material.

La unidad de cierre mueve la platina móvil para unir las dos mitades del molde y mantenerlo cerrado herméticamente. La unidad de plastificación o unidad de inyección se mueve hacia el canal en el molde. La boquilla está abierta y el material que se encuentra delante del husillo es inyectado dentro del molde, por el movimiento de avance del mismo. Los sistemas hidráulicos deben ejercer grandes esfuerzos en la fase de inyección. Además de mantener la fuerza de cierre de la prensa, han de ser capaces de inyectar el material dentro de la cavidad, a una presión elevada y precisa. Así el sistema hidráulico debe superar la resistencia ofrecida por la boquilla y por el molde al ingresar la masa fundida a la cavidad.

c) Enfriamiento.

El material fundido solidifica dentro de la cavidad para que la pieza moldeada pueda ser expulsada al enfriarse. El molde lleva una temperatura controlada para permitir la solidificación de las piezas inyectadas en cada ciclo. Por lo tanto, tan pronto como el material que se moldea contacta con el molde en la operación de inyección, comienza a enfriarse y a solidificar. Por este motivo la inyección debe ocurrir rápidamente, con lo que la cavidad se llena mientras que el material se encuentre fundido.

La presión aplicada en la máquina, es muy grande ya que el compuesto es muy viscoso a pesar de las temperaturas elevadas. El material fundido debe superar la resistencia ofrecida por la fricción en la boquilla y la cavidad. Las presiones en el interior del molde son altas a causa de la inyección, por lo que la unidad de cierre debe ser capaz de mantener el molde cerrado en oposición a estas presiones. En esta parte del ciclo, que corresponde la inyección del plástico dentro del molde, la presión dentro de el, puede crecer hasta un valor máximo. Bajo ciertas condiciones, la presión máxima se puede alcanzar en la etapa denominada sostenimiento.

En la etapa de sostenimiento el husillo que actúa como pistón, continúa inyectando plástico al molde por el accionamiento de actuadores hidráulicos lineales. Se le aplica una fuerza hidráulica adicional a los actuadores que desplazan el husillo para ejercer la presión de inyección que debe llenar las contracciones que pueda tener la pieza ya inyectada al enfriarse.

Habiendo concluido el tiempo de sostenimiento la fuerza o presión de inyección se elimina y el husillo empieza a girar por la acción de un motor hidráulico para meter

nuevo material a una cámara que se formará por el efecto mismo de la carga entre el cañón o cilindro de plastificación y el husillo.

Para lograr que se compacte el material que se va alimentando hay una función hidráulica que se denomina contrapresión y debe de oponerse a la fuerza con la que el material va empujando el husillo hacia atrás.

Durante este evento el molde continúa cerrado y la pieza inyectada transfiere el calor al mismo molde hasta enfriarse y estar lista para ser expulsada de la cavidad.

d) Expulsión.

Una vez que la pieza se ha enfriado, la prensa por movimientos de actuadores hidráulicos se abrirá y se accionara un sistema de varillas de expulsión que retiraran la pieza de la cavidad del molde. Este sistema de expulsión, también está accionado por actuadores hidráulicos.

Como se puede analizar en esta descripción, la hidráulica industrial o de potencia, actúa en todos los movimientos de la máquina de inyección, generando grandes fuerzas para mover y en algunos casos, contraponerse a fuerzas similares para lograr los objetivos del proceso, en este caso de la inyección de plástico.

4.- Componentes hidráulicos de la máquina de inyección.

4.1 Diagrama Hidráulico.

En este capítulo y el siguiente, se abordan los elementos hidráulicos de una máquina de inyección de plásticos y se toman algunas referencias de la máquina de moldeo por inyección Cincinnati Milacron modelo VT110 solo con fines educativos. (Imagen 4.1).

Esta máquina tiene el funcionamiento del cierre de prensa por mecanismo de rodillera el cual se activa por medio de un actuador lineal hidráulico.



Imagen 4.1. Máquina de moldeo por inyección de plástico Cincinnati Milacron, modelo VT 110. (Imagen 4.1 tomada de <https://www.bidspotter.com/en-us/auction-catalogues/bscus/catalogue-id-bscus-10011/lot-f68407a5-f3b9-4657-9feb-a50d016cbc01> para fines educativos).

En los sistemas hidráulicos de potencia, lo mismo que en cualquier otra especialidad, es necesario tener un conocimiento de los componentes del sistema que se estudia, dado que es complicado entender las interrelaciones de los componentes de un sistema al simplemente observarlo en operación.

El conocimiento de cómo se relaciona el sistema hidráulico para su funcionamiento, es requerido para solucionar los problemas que aparezcan durante su operación y mantener al sistema de potencia en un funcionamiento adecuado.

Los diagramas son de valiosa ayuda en el entendimiento de la operación del sistema y en el diagnóstico de las causas de un mal funcionamiento.

Un especialista debe conocer el sistema sobre el que trabaja, conocer las funciones de cada componente y tener una imagen mental de su ubicación en relación con otros componentes. Esto puede hacerlo mejor estudiando los diagramas del sistema.

Un diagrama es la representación gráfica de un conjunto de componentes o un sistema que indica las diferentes partes y expresa los métodos o principios de operación. El entendimiento de los diagramas de un sistema, requiere tener un conocimiento de los símbolos usados en el esquemático.

En un diagrama o esquemático hidráulico se cumple lo siguiente:

- Los símbolos muestran conexiones, recorridos de flujo y la función del componente. Pueden indicarse valores de operación y ajuste.
- Los símbolos nos indican la ubicación de los puertos o la posición real del componente.
- Los símbolos pueden estar rotados o invertidos sin alterar su significado.
- Los símbolos pueden ser dibujados a cualquier tamaño.
- Cada símbolo es dibujado en una posición neutral o mostrando su condición normal sin operación.

El diagrama gráfico que se utiliza en la representación de los sistemas hidráulicos utiliza símbolos estándar y muestra las interconexiones entre componentes mostrando las relaciones entre ellos

En una situación de estudio del diagrama hidráulico, se puede partir, para interpretarlo, de la sección de la descarga de las bombas de servicio que es donde se origina el flujo que será distribuido a todos los múltiples, válvulas y actuadores. En algunas ocasiones, las bombas están dentro del tanque.

En la medida en que se domine la interpretación y ubicación de los componentes, se puede llegar directamente al componente donde se dará servicio y/o se considera que existe un problema.

4.2 Estudio de los componentes hidráulicos por sección.

Se presentan 4 secciones básicas en que se puede dividir para su estudio el sistema hidráulico, para una situación de análisis. Estas secciones son:

- Tanque.
- Múltiple de la bomba.
- Múltiple de inyección.
- Múltiple de prensa.

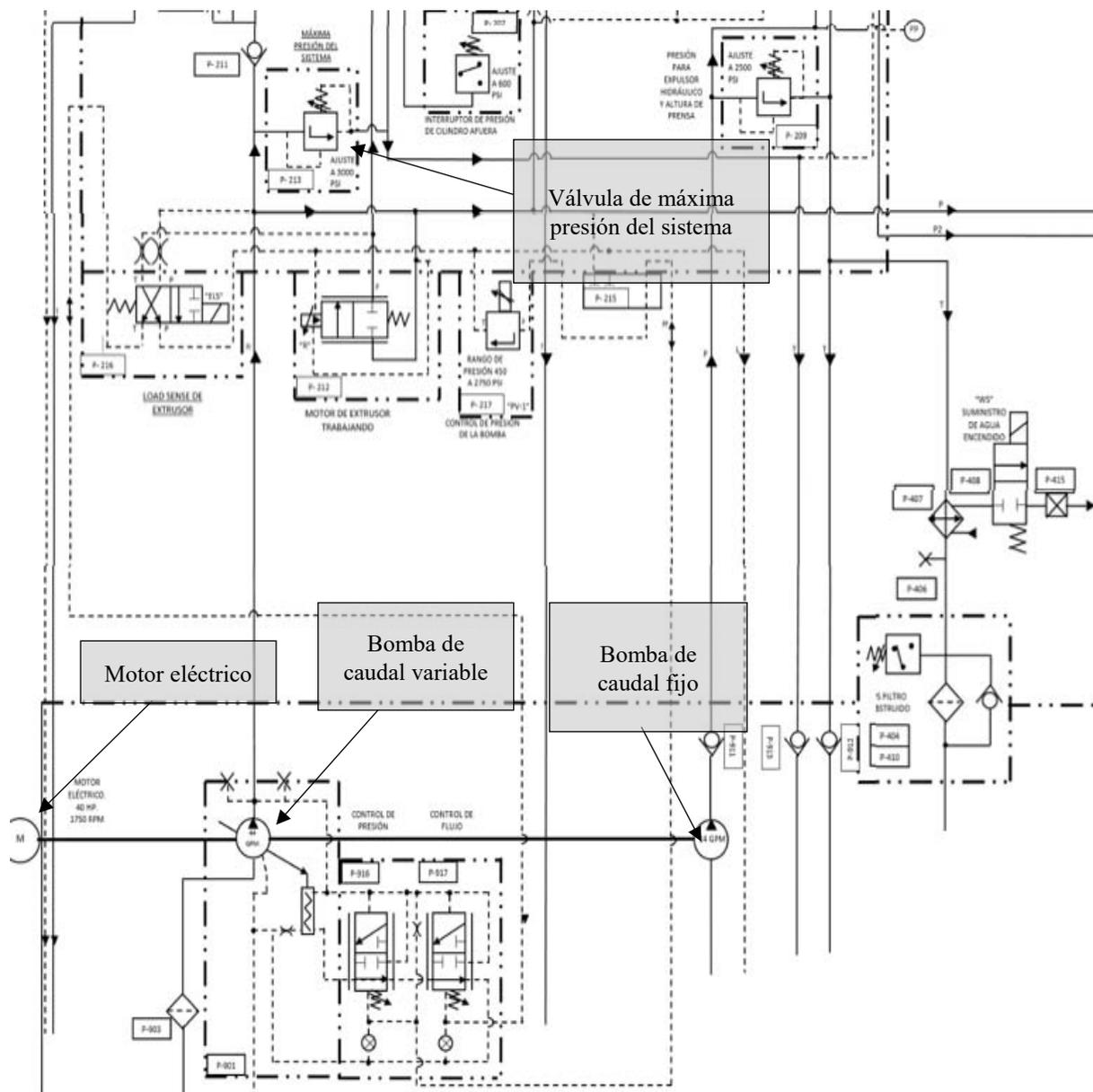


Imagen 4.4. Sección de diagrama del múltiple de bomba y sus componentes. Se observan el motor impulsor y las bombas, así como el conjunto de válvulas de control, incluida la válvula de relevo de máxima presión del sistema. (Imagen tomada de Cincinnati Milacron. (1980). *Manual de operación de máquina de inyección de plástico modelo VT-110*. Ohio, USA: Cincinnati Milacron para fines educativos).

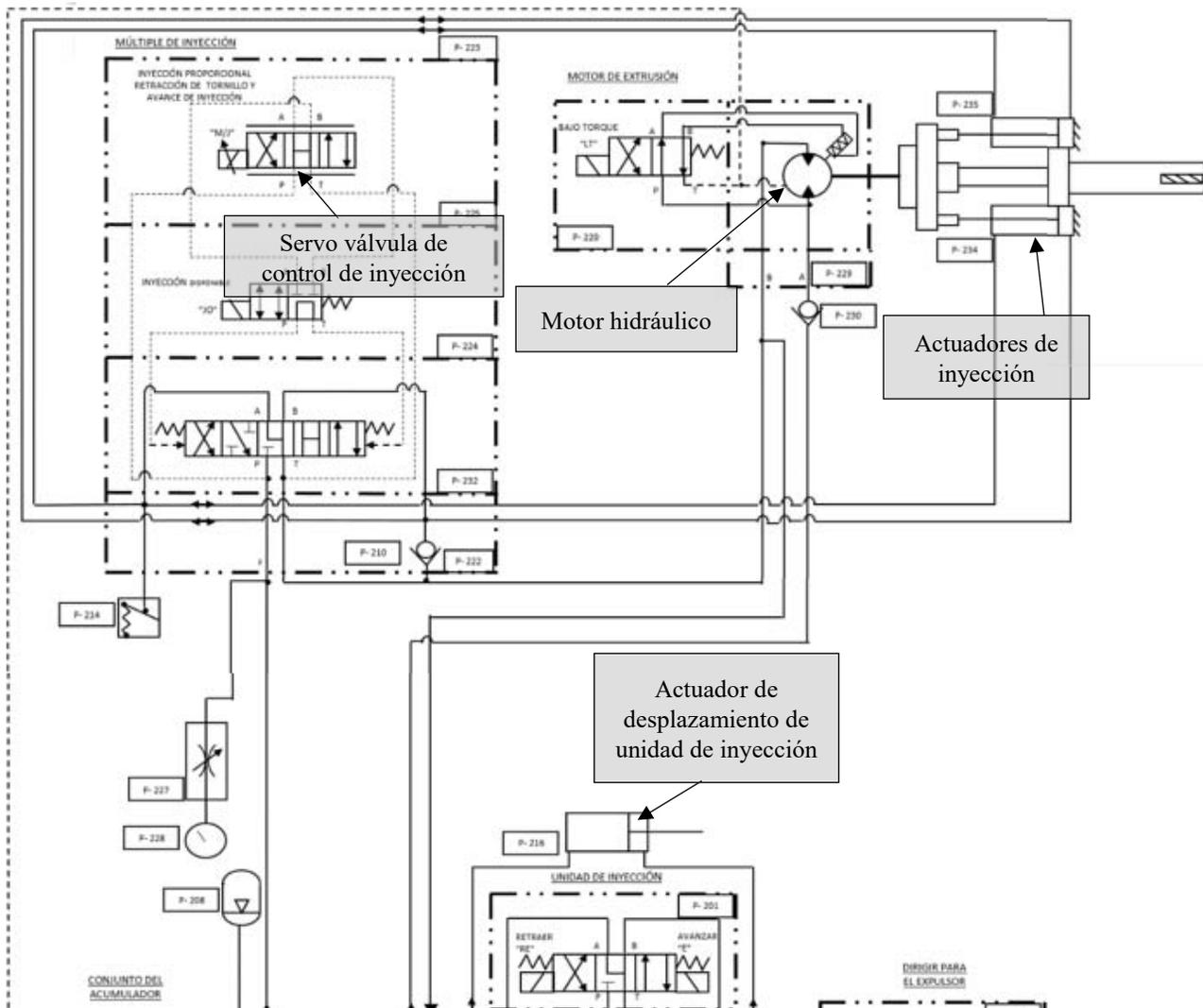


Imagen 4.5. Sección de diagrama del múltiple de inyección y sus componentes. Se pueden observar, entre otros componentes, el motor hidráulico, los actuadores de inyección, la servo válvula de control de inyección, entre otros componentes. (Imagen tomada de Cincinnati Milacron. (1980). *Manual de operación de máquina de inyección de plástico modelo VT-110*. Ohio, USA: Cincinnati Milacron para fines educativos).

A continuación se aborda la aplicación y principio de operación de los componentes hidráulicos que presentan mayor relevancia por su forma de funcionamiento en la máquina de inyección:

El tanque.

En el diagrama hidráulico, se representa con un rectángulo. De él surgen líneas que van hacia la o las bombas y a él llegan líneas que son las descargas del sistema. En el mismo dibujo se puede indicar su capacidad de almacenamiento.

En la siguiente imagen (Imagen 4.7), se presenta un tanque de aceite de una máquina de inyección y algunos aditamentos integrales al mismo.



Imagen 4.7. Imagen física de un tanque hidráulico. Nota. Las bombas no son visibles debido a que están dentro del tanque. (Imagen tomada de http://s3.amazonaws.com/idealm_img/77000/77191/IMG_5686.JPG para fines educativos).

Físicamente, el tanque es un prisma rectangular de placa de acero. Tiene una llave para drenado en la parte inferior. Lleva integrada una tapa que se une lateralmente mediante un ensamble tipo brida. Cuando es retirada, permite el acceso al interior para que este se pueda limpiar en un mantenimiento. Adicionalmente, tiene orificios donde se conectan mediante acoplamientos tipo brida las tuberías de succión para la bomba y las descargas del sistema.

El diagrama nos indica que dentro del tanque van colocados los ensambles de las bombas tanto de caudal variable, como de caudal fijo.

La bomba de caudal variable

Este elemento tiene características que cumplen el requerimiento de minimizar el consumo de energía cuando no existe demanda de presión en el sistema y hacer por si misma ajustes de acuerdo a las demandas de presión y caudal (Imagen 4.8). En otros casos con bombas de caudal fijo, la bomba siempre genera flujo hidráulico, aunque si no es usado, este vaya a tanque por medio de la acción de una válvula de alivio o de relevo de presión.

En el funcionamiento de la máquina de inyección, son pocas las ocasiones durante el proceso continuo de producción, que la bomba de caudal variable no enviará flujo, sin embargo, durante diversas etapas de la operación, en la máquina si estará presente la situación en que la bomba de caudal variable quede en reposo.



Imagen 4.8. Bomba de caudal variable con su sistema de control. (Imagen tomada de <https://www.interempresas.net/FotosArtProductos/P158920.jpg> para fines educativos).

Los controles de flujo y de presión de la bomba de caudal variable, unidos a la bomba, también están dentro del tanque y son parte integral del cuerpo de la bomba.

Estos controles, ayudan a modificar la operación de la bomba, regularmente tienen un ajuste de fábrica para que la bomba controle el flujo entregado y se regule a la presión de ajuste, esto

es, que la bomba detecte la presión que se requiere en el sistema y si no hay requerimiento, la bomba no envíe flujo.

Entrando a la parte descriptiva de la bomba hidráulica, Mecantech (2012), indica, “podemos mencionar que ellas (las bombas) son un dispositivo que convierte energía mecánica la cual es suministrada por el eje de un motor eléctrico, en energía hidráulica disponible en forma de caudal del líquido bombeado”, en la aplicación que estamos analizando, es aceite hidráulico, ya sea mineral o sintético. Por su acción misma, la bomba no genera presión. La presión en un circuito hidráulico solamente se genera cuando el líquido bombeado encuentra una resistencia, ya sea de obstrucción, restricción, o carga como una fuerza a vencer.

Las bombas que utilizan las máquinas modernas, son en su gran mayoría bombas de caudal variable del tipo de pistones axiales. Estas son de tipo volumétrico, reciben esta denominación dado que en cada cámara que tiene la bomba admite y descarga un volumen de fluido en cada rotación.

La bomba de pistones axiales, tiene un principio de funcionamiento sencillo, Mecantech (2012), menciona, “el principio de funcionamiento está basado en un movimiento axial paralelo al eje de la bomba de un conjunto de pistones dentro de su alojamiento o cilindro en cada rotación de la bomba. Este desplazamiento se consigue mediante el deslizamiento de la base del pistón sobre una placa que permanece inclinada mientras el pistón gira, solidario con eje de la bomba, alrededor del centro de la placa. El fluido a bombear llega a la bomba por el lado de baja presión o succión, que no es más que aquel sector en que los pistones realizan la aspiración y es transportado hacia el lado de alta presión”. El rendimiento de este tipo de bomba mejora de acuerdo al diámetro de cada pistón y la cantidad de los mismos pistones que puede tener por diseño.

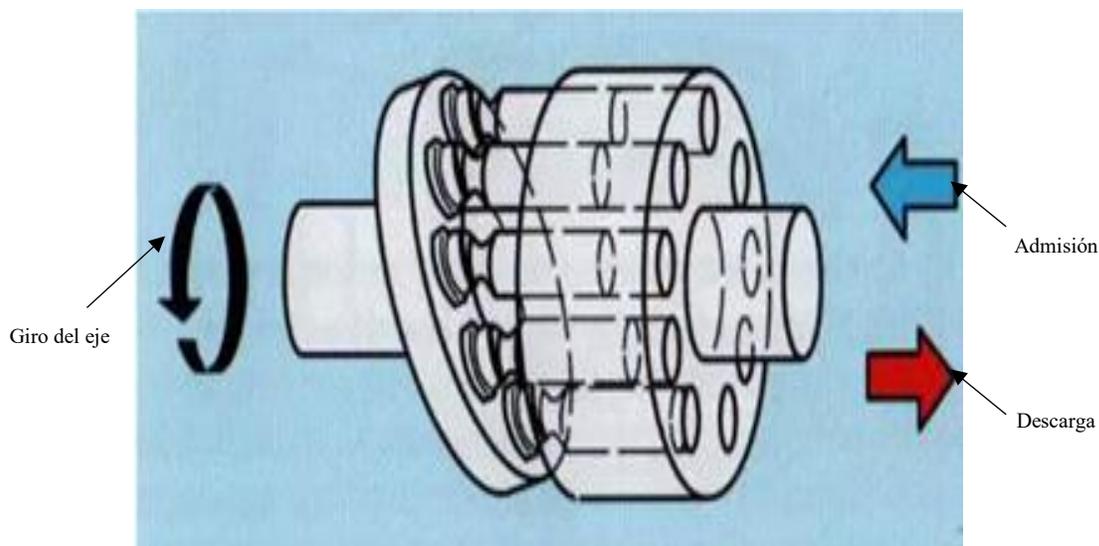


Imagen 4.9. Principio de bomba de caudal variable de pistones axiales cada pistón al hacer su carrera genera un volumen de fluido que será desplazado. Imagen tomada de Mecantech. (2012). K <https://areamecanica.files.wordpress.com/2012/04/bomba-hidraulica-a10vso-0002.jpg?w=300&h=146> Para fines educativos.

Un factor que influye en el volumen aportado por cada cilindro de la bomba en cada vuelta está en función del ángulo α de inclinación de la placa estacionaria. Lógicamente, entre mayor es este, mayor es el desplazamiento del pistón y por consecuencia, el flujo es mayor. Si la placa se coloca totalmente vertical, a un ángulo $\alpha = 0^\circ$, la bomba no aporta caudal. Esta es la función de este tipo de bomba, variar el volumen de fluido que desplaza un pistón al variar el ángulo de la placa estacionaria, dando un volumen de aceite en cada rotación, en función del ángulo de la placa inclinada.

En la siguiente imagen se puede ver un esquema del bloque de cilindros y de la placa oscilante y de la placa de admisión.

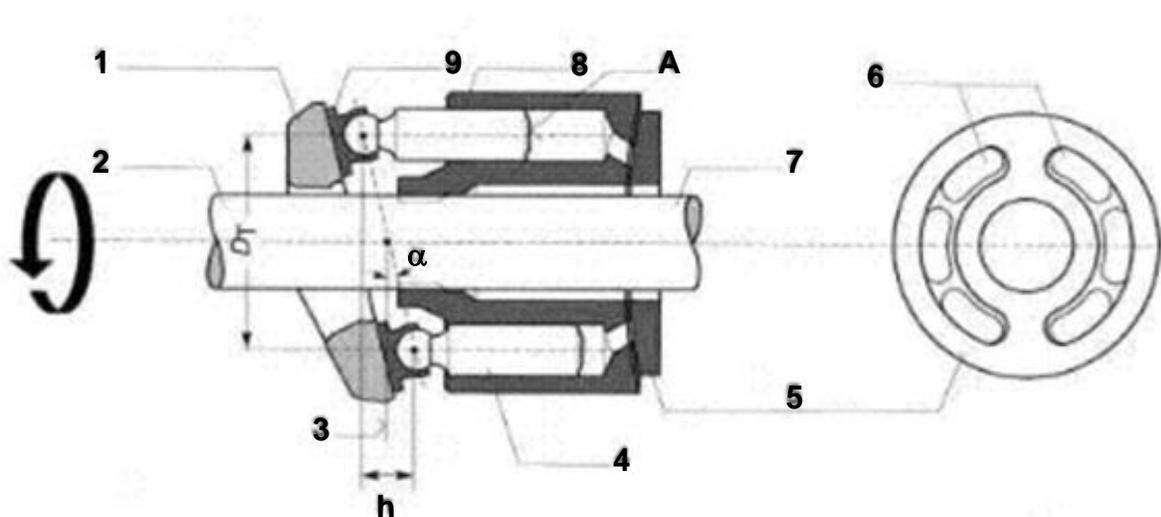


Imagen 4.10. Representación de una construcción de placa inclinada y bloque de cilindros. (Imagen tomada de Mecantech. (2012). Ingeniería mecánica: bomba de caudal variable de pistones axiales. <https://areamecanica.files.wordpress.com/2012/04/bomba-hidraulica-a10vso-0006.jpg?w=300&h=228> para fines educativos).

Tabla 4.1

Elementos del conjunto del bloque de cilindros y placa de la bomba de pistones axiales.

1	Placa inclinada	8	Cilindro
2	Eje motor	9	Patín
3	Posición 0	H	Carrera del pistón
4	Pistón	A	Superficie del pistón
5	Placa de mando	D_T	Diámetro del círculo de referencia para $\alpha=0^\circ$
6	Riñones de mando	α	Ángulo giratorio
7	Arrastre		

Tomado de: Mecantech. (2012). Ingeniería mecánica: bomba de caudal variable de pistones axiales.

La presión alcanzada a la salida de la bomba dependerá del circuito hidráulico al que suministra fluido la bomba y se estará modificando si se presenta una carga o se retira la misma

del circuito. Por ejemplo, cuando los émbolos de los actuadores de inyección están en reposo, la bomba envía un flujo mínimo para compensar las pérdidas, pero si los émbolos se desplazan para realizar la inyección, la bomba se modificará para enviar la cantidad de fluido necesario para el trabajo. En la siguiente imagen (Imagen 4.11) corresponde a la vista en corte de una bomba REXROTH de pistones axiales y caudal variable de tipo A10VSO.

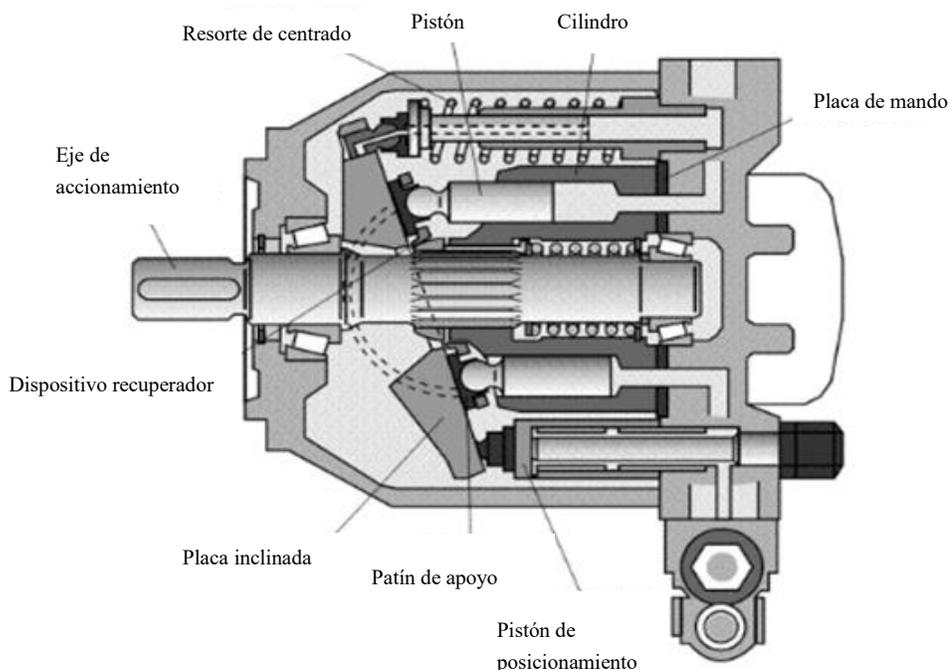


Imagen. 4.11. Sección de una bomba Rexroth A10VSO de caudal variable similar a las usadas en diferentes tipos de maquinaria, entre ellas las máquinas de inyección de plástico. ((Imagen tomada de Mecantech. (2012). <https://areamecanica.files.wordpress.com/2012/04/bomba-de-pistones-axiales-rexroth-etiquetas.jpg?w=300&h=268> para fines educativos).

Sobre la forma de funcionamiento de la placa oscilante y el block de cilindros para desplazar el fluido tenemos la siguiente explicación;

Al transmitir movimiento al eje de la bomba, el eje dentado de accionamiento gira arrastrando a los nueve pistones que monta este tipo de bomba. Los pistones se apoyan mediante los patines sobre la superficie de deslizamiento de la placa inclinada y son mantenidos y conducidos forzosamente sobre esta superficie mediante el llamado dispositivo recuperador. En una vuelta, cada pistón efectúa una carrera completa pasando

por el punto muerto superior momento en el cual comienza la zona de aspiración o baja presión y llegando al punto muerto inferior que es donde comienza la zona de alta presión. El fluido bombeado atraviesa las ranuras de la placa de mando hacia adentro en el lado de aspiración y hacia afuera en el lado de impulsión. La placa inclinada se desliza fácilmente por medio de dos apoyos laterales y es mantenida en la posición cero o posición vertical por medio de un resorte que la mantiene en esta posición hasta que un pistón de posicionamiento comandado hidráulicamente, la inclina en función de la presión medida en el conducto de salida. (Mecantech, 2012).

Un sistema regulador hidráulico de presión y caudal va incorporado a este tipo de bombas y está representado en el siguiente diagrama (Imagen 4.12).

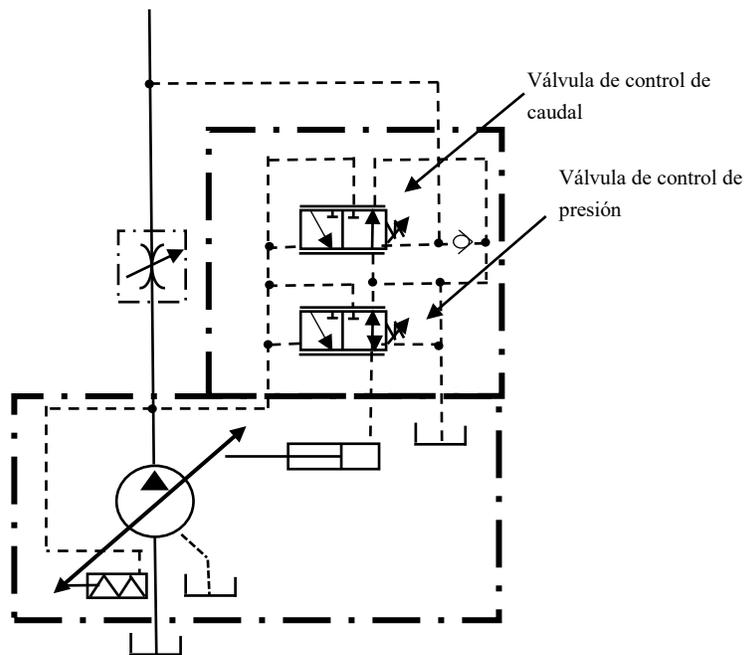


Imagen 4.12. Esquema de bomba de caudal variable y el sistema de control correspondiente de la bomba. (Imagen tomada de Lindo, E.. (2018). Como trabaja un control de load sensing. https://www.youtube.com/watch?v=Uu_PpWCVPHo para fines educativos).

Tiene una gran aplicación para controlar tanto la presión, como el caudal de la bomba para cumplir diversos objetivos como pueden ser suministrar lo que es demandado por el sistema en cuanto a caudal y presión. También se puede lograr reducir el consumo de energía cuando no es requerido el flujo que se convertirá en presión de la bomba.

Independientemente del arreglo para accionar el actuador de control y el montaje del resorte para regresar el mecanismo de control a su posición de reposo, el sistema trabaja de la siguiente manera para diferentes condiciones:

La bomba de caudal variable reduce el caudal cuando el sistema llega a la presión máxima. Supongamos límites de presión mínima y máxima para el sistema que están entre 200 psi (libras por pulgada cuadrada) y 3000 psi respectivamente. Para ello se pueden ajustar las válvulas del conjunto de control de la bomba denominado también load sensing a esos límites.

Una válvula reductora de caudal se encuentra totalmente abierta y en la línea que está a la salida de la bomba, se tiene una carga hipotética en el circuito que provoca la presión máxima del sistema que es de 3000 psi. Después de la válvula reductora, en la línea piloto que va hacia la válvula del control load sensing existe la misma presión de 3000 psi. También entre la bomba y antes de la válvula reductora de caudal, una línea piloto que se deriva de la línea principal, tiene la misma presión de 3000 psi dado que la válvula de control de caudal está totalmente abierta, en cada extremo de la válvula de load sensing, hay 3000 psi presentes. Sin embargo, en un extremo de esta válvula, la fuerza de un resorte se está adicionando a los 3000 psi del sistema, teniendo una presión, que es la del sistema, más la presión del resorte; lo cual provoca que en la válvula superior en el esquema del ejemplo (control de caudal) no exista desplazamiento de su posición original o de reposo (Imagen 4.13 izquierda).

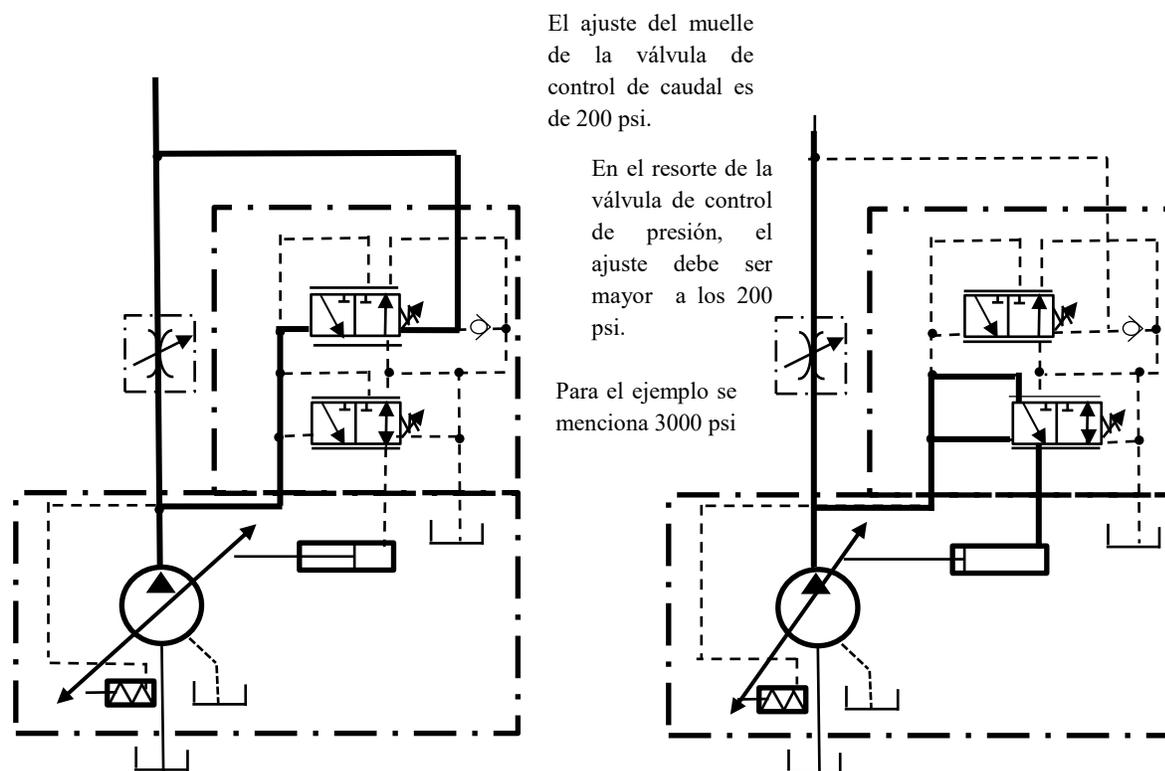


Imagen 4.13. Diagramas donde se representan las trayectorias donde la válvula ajustada a 200 psi no permite el desplazamiento y la que está ajustada a 3000 si tiene desplazamiento para lograr mover el mecanismo a de control a caudal bajo o cero caudal. . (Imagen tomada de Lindo, E.. (2018). Como trabaja un control de load sensing. https://www.youtube.com/watch?v=Uu_PpWCVPHo para fines educativos).

En el diagrama de la derecha en la imagen 4.13, existe una restricción en la línea piloto que comunica a las válvulas de control. La presión de 3000 psi que hay en el sistema después de la válvula reguladora de caudal, solo llega a la válvula de control superior que se observa en la ilustración. La válvula inferior (control de presión) no recibe esta presión y solo trabaja en ella el resorte; en tanto que la presión existente en el pilotaje que llega por el lado izquierdo a las dos válvulas, es suficiente para desplazar a la válvula inferior o de control de presión, con este movimiento de la válvula, la bomba disminuirá el flujo por efecto del desplazamiento del actuador de control.

De esta manera se mantiene la bomba a cero desplazamiento bajo condición de presión máxima en el sistema. Esta condición podría presentarse en una máquina de inyección cuando se

ha concluido la inyección del plástico que se ha dosificado al molde de acuerdo al diseño. No obstante la alta presión sostenida puede regularse por medio de la bomba o por la activación de las válvulas de control de presión de acuerdo a lo que la función de la maquina requiera.

La máquina de inyección, también puede llegar a quedar en la condición de reposo con el sistema hidráulico funcionando, esto nos lleva a la siguiente condición que puede controlar la bomba de caudal variable que es, mantener una baja presión a un régimen de cero desplazamiento.

Es un requisito que la presión que se ejerce después de la válvula reguladora sea baja o que el sistema esté en reposo, y que la única presión que se va creando este controlada por la válvula reguladora a la salida de la bomba. Para ello debe igualarse la presión regulada por la válvula reguladora y el ajuste calibrado en el control de load sensing. Para el ejemplo se consideró 200 psi. Cuando la línea a la salida de la bomba se iguala a los 200 psi, el fluido intentará abrir la primera válvula con el resorte calibrado a 3000 psi. Como es mucho mayor esta calibración la válvula no tendrá desplazamiento y buscará el camino de la segunda válvula, donde únicamente deberá vencer la fuerza de la calibración del resorte, que para el caso de ejemplo es de 200 psi. (Imagen 4.15 izquierda).

Como no hay una carga que eleve la presión a más de 200 psi en la línea después de la válvula reductora, la válvula de load sensing que tiene la calibración a 200 psi no tiene presión de respaldo y comienza su desplazamiento cuando supere la aplicación de la presión de 200 psi, dirigiendo el caudal al actuador de control de la bomba el cual modificará el desplazamiento de la misma hasta llegar a cero, con lo que se tendrá una baja presión en el sistema y un desplazamiento cero (Imagen 4.14 derecha)

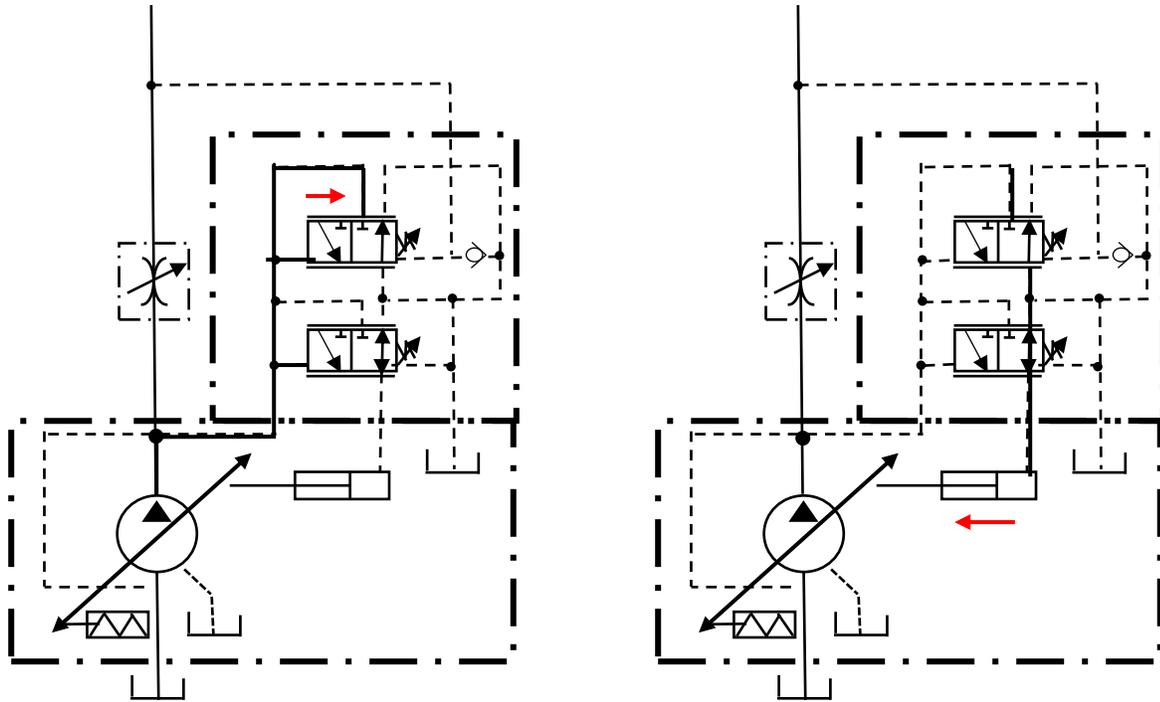


Imagen 4.14. En el diagrama de la izquierda no hay desplazamiento en la válvula inferior, sólo en la de control de caudal. . (Imagen tomada de Lindo, E.. (2018). Como trabaja un control de load sensing. https://www.youtube.com/watch?v=Uu_PpWCVPHo para fines educativos).

Para el ejemplo ilustrativo, se ha usado una válvula reductora de presión en la línea principal después de la bomba. Sin embargo, la válvula puede ser reemplazada por otros elementos funcionales, como válvulas direccionales que controlen el movimiento de actuadores.

Otra aplicación del control de la bomba es su función de regular el caudal a un porcentaje diferente del 100 o 0 por ciento.

Durante la etapa de inyección de una máquina de inyección de plástico, se requiere una gama variable de desplazamiento de caudal de la bomba para lograr las velocidades de inyección necesarias para llenar las cavidades de los moldes, o dar la presión de sostenimiento después de la inyección y llenado de la pieza que se está moldeando, independientemente del requerido en otras funciones de la máquina.

Para lograr controlar ese desplazamiento, intervienen también válvulas proporcionales o servo válvulas que se apoyan en la electrónica para censar posición, y presión durante el accionamiento.

Por ejemplo, consideremos que se requiere un desplazamiento a 50 por ciento de velocidad. Esto se puede hacer cerrando de forma porcentual una válvula proporcional o una servo válvula de caudal que controle el movimiento de un actuador (Imagen 4.15).

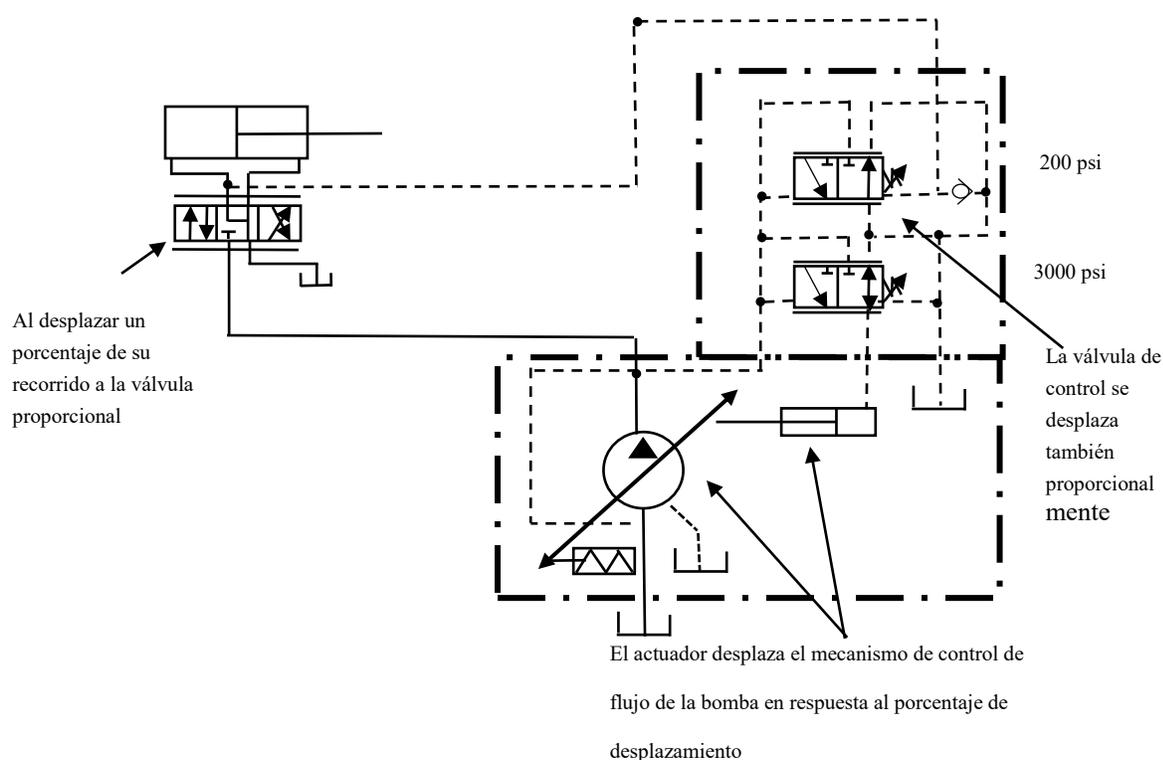


Imagen 4.15. El sistema de control recibe la variación de flujo para el control por el desplazamiento de una válvula proporcional. (Imagen tomada de Lindo, E.. (2018). Como trabaja un control de load sensing. https://www.youtube.com/watch?v=Uu_PpWCVPHo para fines educativos).

Ese porcentaje proporcional de cierre, que es similar a cerrar “un poco” una válvula de control de caudal, generará una presión que desplazará de manera también proporcional la válvula de load sensing o control de la bomba que está ajustada a 200 psi en el ejemplo; permitiendo con

esto que se tenga un desplazamiento del mecanismo de control de caudal de la bomba, el cual puede ser del porcentaje que requerimos.

De esta manera es como puede variar el caudal de la bomba para tener velocidades diferentes en los actuadores, por la modificación del caudal que entrega la bomba y mantener la presión requerida para el trabajo.

Una característica funcional más del control de este tipo de bombas es aplicable cuando una carga sobre la que se está trabajando tiene variación. Como una situación específica en la aplicación en las máquinas de inyección de plásticos, la masa de plástico que se inyecta, al ir solidificando dentro del molde, va aumentando su resistencia al flujo y la fuerza de inyección debe aumentar para que la masa siga penetrando para llenar la cavidad y posteriormente en algunos casos disminuir o volver a aumentar y mantenerse para compactar y compensar las contracciones de la pieza inyectada al enfriar.

El sistema de control de la bomba, en las situaciones descritas, no modifica el mecanismo de control de flujo de la bomba y mantiene el caudal al que fue ajustado para la operación aun cuando la presión aumente por efecto de un incremento a la carga o porque dentro del molde, el material que ha ingresado, comienza a oponerse al ingreso de más material necesario que puede ser necesario para llenar la cavidad.

La condición descrita se mantiene debido a que el aumento de presión por una variación en la carga, no modificará el caudal de la bomba porque la presión que está presente en la línea de referencia que va al conjunto de control de la bomba por efecto del aumento de la carga, es la misma que está antes de la válvula proporcional y con ello, solo el porcentaje que seleccionamos de desplazamiento de la válvula proporcional es el único que influirá en el ajuste del mecanismo

del control de caudal de la bomba, la presión que hay en el sistema, siendo la misma antes y después de la válvula proporcional, evita que haya desplazamiento de la válvula de control.

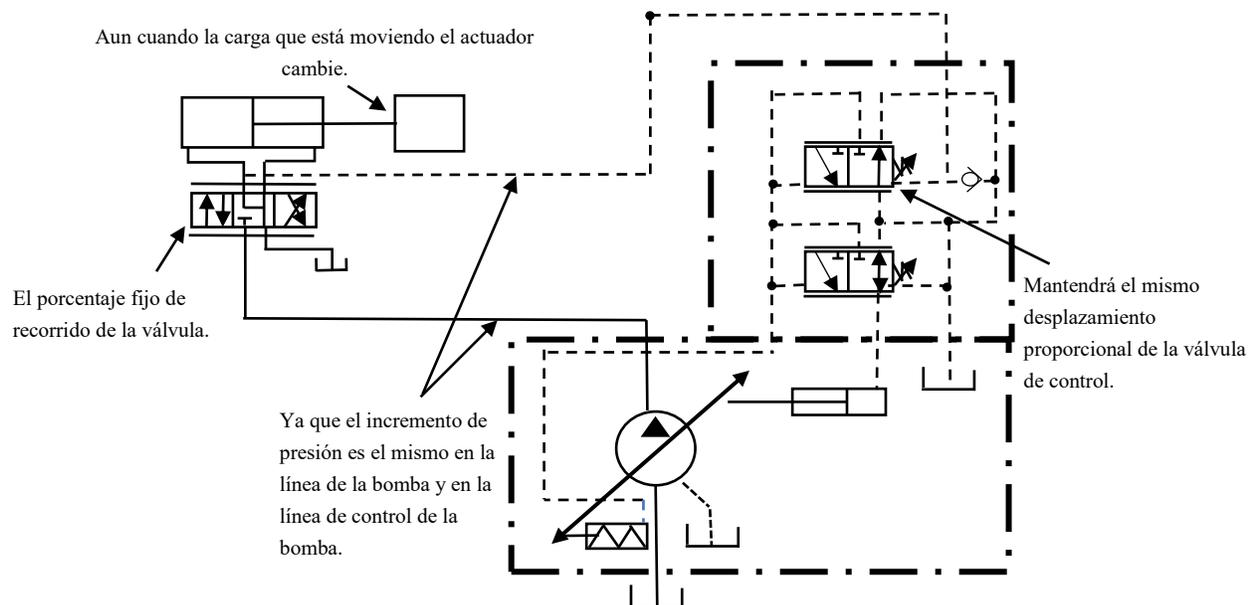


Imagen. 4.16. El control de la bomba, se compensa por sí mismo, si el valor de la carga cambia. (Imagen tomada de Lindo, E.. (2018). Como trabaja un control de load sensing. https://www.youtube.com/watch?v=Uu_PpWCVPHo para fines educativos).

Para concluir lo referente al funcionamiento y características del sistema de control de la bomba de caudal variable, el cual se denomina también load sensing, se menciona, que además de la posibilidad de mantener un caudal fijo con cargas variables, el control puede mantener también un caudal fijo con variación de las revoluciones por minuto (RPM) del motor eléctrico que impulsa la bomba. Esta situación puede ocurrir cuando la bomba está acoplada a un motor en una maquinaria móvil, donde es más probable que la alimentación a un motor eléctrico o impulsor de la bomba tenga variaciones. En el suministro eléctrico industrial para la maquinaria, es más improbable que suceda una variación.

Si un motor eléctrico en un momento está rotando a 1800 rpm y de repente una variación provoca que gire a 2000 rpm. La bomba mantiene el mismo desplazamiento en el mecanismo de control, una consecuencia es que se va a incrementar el caudal.

Como se está aumentando el caudal y la restricción o el porcentaje de desplazamiento en una válvula proporcional que trabaja en conjunto con la bomba, se mantiene fija, lo que hay es un aumento de presión en la línea de control de la bomba que está después de la bomba y antes de la válvula de control proporcional, desplazando proporcionalmente la válvula de control de la bomba, en este caso, la que está ajustada a 200 psi. La acción, enviará mayor flujo al actuador de control del mecanismo de la bomba y ello generará que cierre el mecanismo de desplazamiento de la bomba entregando con ello el mismo caudal programado o requerido para el trabajo. Se puede decir que la bomba se rectifica así misma (imagen 4.17).

Si lo que sucediera es que las RPM disminuyeran, entonces, la presión en la línea de control antes de la válvula proporcional, disminuye con lo que la fuerza del resorte desplazara la válvula de control de la bomba disminuyendo ahora el flujo de la línea de control de presión hacia el actuador. La acción anterior, provocará que se abra nuevamente el mecanismo de control de caudal de la bomba para mantener el mismo caudal y compensar la menor cantidad de RPM a la que está sometido el sistema.

En pocas palabras, una bomba de caudal variable mediante su control, puede mantener caudal fijo con cambios de presión, puede mantener caudal fijo en cambios de RPM, y puede reducir el desplazamiento del caudal bajo condiciones de presiones diferentes.

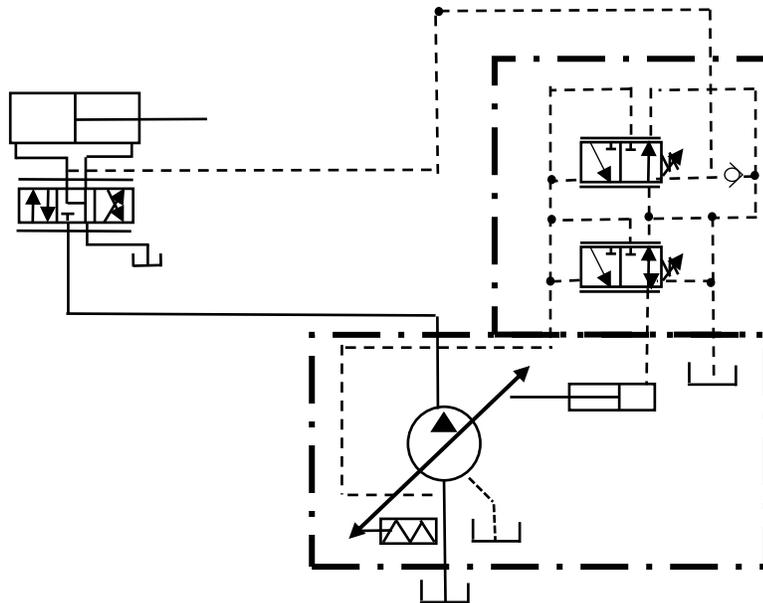


Imagen 4.17. Ajuste del desplazamiento de la bomba por aumento de RPM del impulsor. . (Imagen tomada de Lindo, E.. (2018). Como trabaja un control de load sensing. https://www.youtube.com/watch?v=Uu_PpWCVPHo para fines educativos).



Imagen 4.18. Vista en corte del control hidráulico de la bomba de caudal variable. (Imagen de la izquierda tomada de REXROTH LOAD SENSING DRF DFR PUMP CONTROL EXPLAINED PART 2 <https://youtu.be/Fb8o-9b4Mrc> Imagen de la derecha tomada de REXROTH LOAD SENSING DRF DFR PUMP CONTROL EXPLAINED PART 1 <https://www.youtube.com/watch?v=0LIFzZY1OuU> para fines educativos).

La bomba de caudal fijo

Como su nombre lo indica, esta bomba no varía el caudal entregado durante todo el tiempo de funcionamiento. Cuando no sea requerido el fluido hidráulico generado por ella, dicho flujo al

encontrar vías cerradas y aumentar la presión en el sistema, se desviará hacia el tanque por la función de alguna válvula de relevo.

Existen diferentes tipos de bombas hidráulicas que cumplen la función de suministrar un caudal fijo. Estas pueden ser del tipo de engranes, lóbulos, paletas deslizantes, etc.

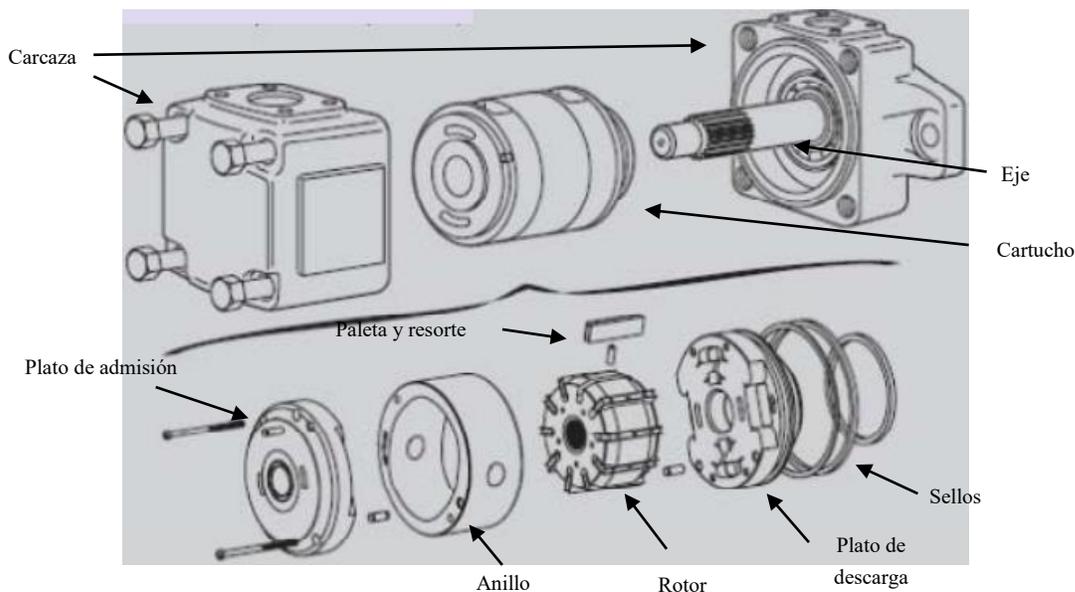


Imagen 4.19. Despiece del sistema impulsor de una bomba de paletas deslizantes de caudal fijo. Del tipo de bomba de caudal fijo y paletas deslizantes, son usados para el suministro de flujo a las líneas de expulsor y ajuste de altura de molde en la máquina de inyección. (Imagen tomada de <https://www.hidranaven.com/pdf/paletas.pdf> para fines educativos).

El filtro de succión.

Este elemento se encuentra dentro del tanque, mientras que el filtro de descarga, se encuentra a la entrada del tanque. El filtro de descarga se coloca en un receptáculo que tiene integrado un microswitch que enviara una señal de que el filtro está obstruido o saturado cuando esté en esa condición y tiene también un sistema denominado bypass para permitir la descarga a tanque mediante una válvula antirretorno en caso de que la obstrucción en el filtro sea crítica.

El elemento filtrante del sistema denominado sencillamente como filtro, es un elemento muy sencillo en su estructura que da un servicio de alta relevancia a las máquinas. Estos elementos filtrantes retienen las partículas dañinas y contaminantes que pudiesen estar en los diferentes

fluidos hidráulicos orgánicos o sintéticos. Están diseñados para soportar altas temperaturas y su capacidad de retención puede ser para partículas muy pequeñas, del orden de 1 micrón (1μ)

Algunos de los materiales de los que se fabrican son los siguientes:

- Interlón tramado.
- Micro fibras sintéticas.
- Papel Celulosa.
- Malla de acero inoxidable.
- Monofilamento de Nylon tramado.



Imagen 4.20. Filtro hidráulico físico. (Imagen tomada de <http://www.hnsa.com.co/filtros-de-succion/> para fines educativos).

En el múltiple de la bomba, se encuentra un grupo de válvulas de control para realizar las siguientes acciones:

Accionar el acumulador. Desplazar la unidad de inyección. Activar el flujo para la válvula que controla el sistema de expulsión, la colocación y extracción de insertos, así como el ajuste hidráulico de la prensa para alcanzar la altura del molde. Flujo y monitoreo de la presión del sistema para el control de la bomba.

Flujo y monitoreo de aceite para el control de la velocidad del extrusor.

Observamos que, en esta sección, además de las válvulas direccionales hay válvulas de relevo de presión y de secuencia operadas por diferentes medios para el accionamiento y control de actuadores lineales y el acumulador hidráulico.



Imagen 4.21. Múltiple hidráulico. Se observan acopladas a él, diversas válvulas y conexiones. (Imagen tomada de <http://iml-robots.com/asian-plastic-machinery-hydraulic-clamping.php> para fines educativos).

Válvula direccional.

Esta válvula tiene la finalidad de cambiar el curso del flujo de aceite para mover algún actuador en dos direcciones, avance y retroceso, extensión y retracción. El flujo que llega regularmente a una de sus lumbreras es la línea de flujo de la bomba y tiene tres lumbreras más, una de las cuales es la conexión que dirigirá fluido hidráulico de regreso a tanque, mientras que las otras dos serán las conexiones que dirijan flujo al actuador y la otra permitirá el paso del fluido de regreso del actuador al tanque. El arreglo o conexión interna de la válvula puede ser diferente de acuerdo a la necesidad u operación de la máquina.



Imagen 4.22. Válvula direccional de carrete 4 vías 3 posiciones con regreso a resorte, típica de la firma Bosch Rexroth. (Imagen tomada de <https://www.amazon.es/Bosch-r900561288-eg24-N9-K4-direccional-hidr%C3%A1ulico-funcionamiento/dp/B0711FH4FL> para fines educativos).

No obstante que existen arreglos de válvulas o diseños para una función específica, que sería demasiado extenso enumerarlas y mencionarlas en este documento; para este trabajo, sí se mencionan diversos tipos de válvulas de la máquina de inyección de plástico a la que hacemos referencia.

Están presentes las válvulas direccionales de una vía y dos posiciones, que, al accionar el solenoide de operación, solamente permiten el paso del flujo de la bomba o las de funcionamiento inverso, esto es, que al activar el solenoide cierran el paso para el fluido hidráulico. Su forma de control actualmente es muy variada. Estas válvulas pueden manipularse por medios de control eléctricos como es la activación de un solenoide, mecánicos por palancas que mueven directamente los carretes de las válvulas y electrónicos como las servo válvulas y las válvulas proporcionales.

Hay un desarrollo tecnológico muy alto para el control y operación de las válvulas hidráulicas, entre estas, las válvulas direccionales. Puedo mencionar que las servo válvulas y las válvulas proporcionales que controlan caudal y dirección son válvulas de alto desempeño y gran precisión, se apoyan en señales de lectura electrónica de presión, longitud o desplazamiento para la precisión de sus movimientos. En las máquinas de inyección de plástico, son aplicadas para controlar el caudal lo cual representa controlar la velocidad de inyección del plástico a la cavidad de los moldes.

Algunos tipos de válvulas direccionales y otros tipos de válvulas, se mueven por presión denominada “piloto” (Imagen 4.23). Esto es que no requieren accionamiento de solenoide. Es el mismo fluido del sistema, el que mueve los carretes al aumentar la presión por alguna condición

cumplida. El fluido hidráulico piloto vence la fuerza de resortes calibrados en el sistema al que estén incorporados y permitirán el flujo.

En las válvulas direccionales, este arreglo para la operación por presión piloto, es principalmente usado para desplazar un alto caudal con válvulas grandes pilotadas por válvulas pequeñas. Es conveniente reiterar que no solo las válvulas direccionales pueden usar este sistema de presión piloto para la operación.

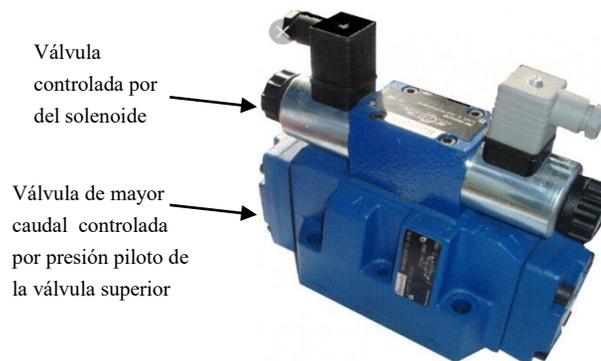


Imagen 4.23. Ensamble de válvula direccional (inferior) accionada por presión de pilotaje de una segunda válvula la cual es operada por solenoides. (Imagen tomada de <http://www.hicompsp.com.br/valvula-hidraulica-rexroth> para fines educativos).

Actuador

Actuador tipo lineal: Los actuadores lineales en un sistema hidráulico son los elementos de salida. “El actuador, es por donde comienza realmente el diseño del sistema. El tipo de trabajo a realizar y los requisitos de potencia son los factores que determinan el tipo y tamaño de motor o cilindro que deberá utilizarse. Sólo después de haberse escogido el actuador y luego de determinar su tamaño, se puede seleccionar el resto de los componentes del circuito, a fin de completar el sistema” (Válvulas y Controles Mexicanos, 2002, p. 6.1). Esta afirmación es lógica desde mi punto de vista, ya que no se podría saber de qué capacidad y tamaño se requieren las válvulas de control, el motor y la bomba si no se sabe que cargas se deben de mover. Por otro

lado, se requiere el tipo de actuador que soporte la presión que se generará para mover la carga que se planea mover al diseñar la maquinaria.

Los cilindros o actuadores lineales, se denominan de esta manera porque su salida, es sencillamente un movimiento en línea recta.

Al igual que las válvulas, existen una gran cantidad de arreglos y sistemas de montaje de actuadores para diferentes aplicaciones, conservando únicamente el resultado de movimiento lineal. Por mencionar algunos, se puede uno referir a cilindros del tipo de embolo, cilindros telescópicos, cilindros estándar de doble acción, cilindros de doble vástago, etc. Por otro lado, como indique, están los tipos de montajes que pueden ser alguno de los que a continuación se mencionan. De igual manera, es posible diseñar otros sistemas de montaje para aplicaciones específicas.

En la máquina que tenemos de referencia, la fijación es por medio de una placa posterior para el sistema de inyección y una placa frontal para el sistema de cierre y de expulsión (Imagen 4.24).

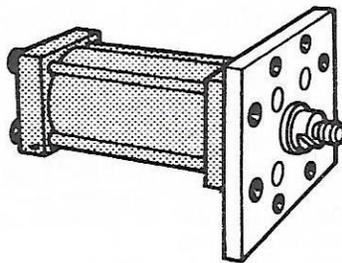


Imagen 4.24. Actuador lineal con placa cuadrada para fijación frontal. (Imagen tomada de Válvulas y Controles Mexicanos. (2002). Manual de hidráulica industrial para fines educativos).

En lo referente a la construcción de un cilindro, existen partes que son esenciales del mismo. Estas son: la camisa o tubo; el vástago y el émbolo; las tapas de los extremos y los sellos adecuados. Las camisas son generalmente un tubo de acero sin costura, bruñido a espejo en su

parte interior. El embolo que normalmente es de hierro o acero fundido, cuenta con sellos que reducen la fuga entre él y las paredes de la camisa. Para soportar grandes cargas, una técnica es usar anillos O, denominados también como o'rings con respaldos planos de teflón o el sello tipo V, el cual, en su tendencia a abrirse con la presión, sella aún más las tolerancias.

Las entradas de aceite al cilindro se encuentran en las tapas de los extremos, que pueden ir directamente fijadas al final de la camisa, o afianzadas mediante tirantes y tuercas.

El empaque del vástago es del tipo cartucho, en el que se encuentran tanto el sello propiamente dicho, como el empaque limpiador, a fin de facilitar su sustitución.

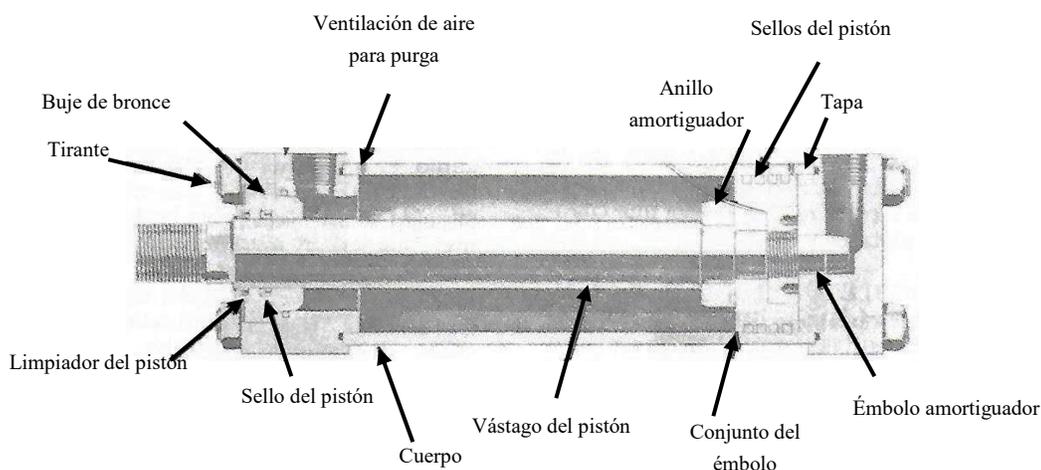


Imagen 4.25. Vista en corte de un actuador lineal (Imagen tomada de Válvulas y Controles Mexicanos. (2002). Manual de hidráulica industrial para fines educativos).

Válvulas de relevo de presión

Las válvulas de relevo de presión, son igual de relevantes que cualquier otro componente en un sistema hidráulico, pero estas entre otras funciones, se enfocan a la seguridad tanto de la máquina, como de los usuarios del sistema.

Este tipo de válvulas también se identifican con otros nombres de acuerdo a la aplicación. Pueden ser llamadas válvulas de secuencia, reguladoras de presión, de contra balance entre otros.

Aplicada como válvula de seguridad, esta válvula de regulación de presión es del tipo “normalmente cerrada” y no permite el paso del fluido en condiciones normales. Las válvulas de este tipo, tienen la característica de “infinitas posiciones de movimiento” a diferencia de las válvulas on/off o todo o nada.

La calibración está dada regularmente por resortes cargados y regulados por tornillos, dicha calibración se va a vencer poco a poco abriendo lo necesario para desfogar la presión cuando esta se ubique cerca del límite de resistencia del resorte.

Martínez, C. (2016) indica que: “las válvulas de control de presión, están diseñadas para abrir, cerrar y restringir una sola vía de flujo en respuesta a la presión del líquido. Estas funciones dentro de los sistemas hidráulicos incluyen proteger el sistema hidráulico de la presión generada, descargar la bomba cuando no se requiere transferencia de líquido, controlar la secuencia de operación de dos o más actuadores, contrabalancear cargas pesadas, frenar las bombas hidráulicas y mantener una presión reducida en parte de un sistema.

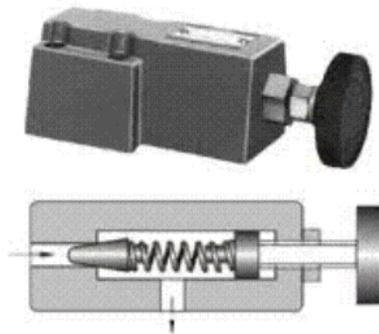


Imagen 4.26. Válvula de control de presión y dibujo en corte. (Imagen tomada de <http://www.chhydraulics.com/hydraulic-valves/hydraulic-pressure-control-valve/> con fines educativos).

La operación de toda válvula de control de presión se basa en principios hidráulicos. El diseño de ellas varía para cumplir con los requisitos de cada aplicación”.

Las válvulas de control de presión se diseñan como normalmente cerradas (no permiten el paso del fluido hasta que actúan) o normalmente abiertas (al actuar, restringen el flujo).

Físicamente, como toda válvula hidráulica, su diseño es un cuerpo sólido con pasajes, la del tipo normalmente cerrada, presenta lumbreras o puertos para drenaje, entrada y salida del fluido, un carrete o émbolo, un resorte contra el que se carga el émbolo para resistir la presión hidráulica y un tornillo de ajuste que aumentará o disminuirá la compresión del resorte con lo que se logrará aumentar o disminuir la presión hidráulica necesaria para mover el émbolo de la válvula.

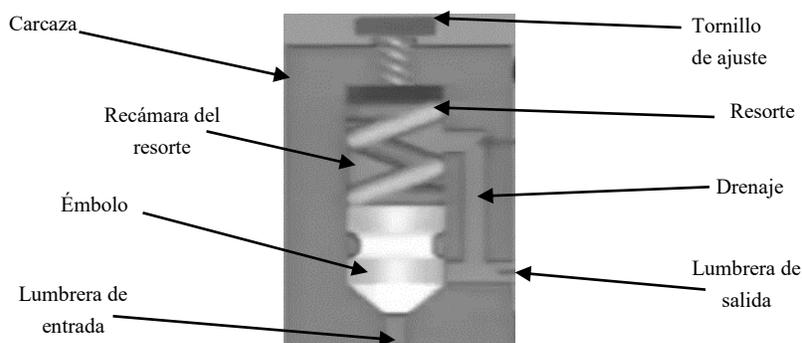


Imagen 4.27. Elementos de válvula de control de presión normalmente cerrada sencilla. (Imagen tomada de Serie Energía Hidráulica Título Válvulas Hidráulicas, Martínez C., https://www.youtube.com/watch?v=XwGxZRkap_s&t=213s para fines educativos).

La fuerza del resorte mantiene normalmente al émbolo pegado a la lumbrera de entrada, así el flujo es bloqueado y el aceite hidráulico no podrá cruzar los pasajes de la válvula. El drenaje sirve para desalojar el aceite que llega a alojarse en la cámara del resorte detrás del émbolo evitando que el aceite acumulado genere un obstáculo que pueda bloquear el desplazamiento del émbolo de la válvula y alterar el buen funcionamiento de apertura cuando la válvula deba abrir.

Este tipo de válvula tiene la función de liberar la presión acumulada en el sistema cuando la presión en el puerto de entrada sobrepase la fuerza que ejerce el resorte sobre el émbolo, entonces el émbolo se separa del asiento y permitirá que el líquido pase a través de la válvula para descargarse a tanque.

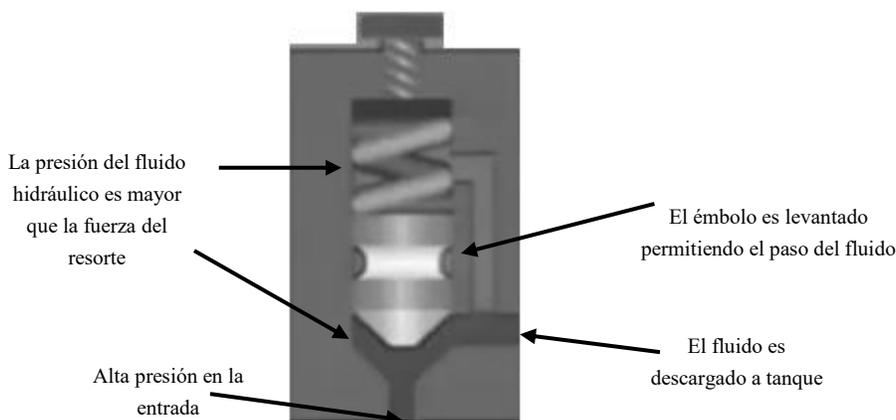


Imagen 4.28. Válvula de control de presión normalmente cerrada . (Imagen tomada de Serie Energía Hidráulica Titulo Válvulas Hidráulicas, Martínez C., https://www.youtube.com/watch?v=XwGxZRkap_s&t=213s para fines educativos).

La misma válvula de control de presión normalmente cerrada tiene una variante que es, la del movimiento del émbolo por una presión piloto. Esta válvula tiene un pasaje que conduce una línea de aceite con una presión determinada que se denomina presión piloto. El fluido de la línea a presión llega a la válvula y una parte de él toma un camino alternativo, que es el pasaje piloto e intentará desplazar el émbolo, el cual, por el otro extremo, está recibiendo presión por el resorte. Si la presión del líquido piloto excede la presión ejercida por el resorte, el émbolo es apartado del asiento abriendo la vía principal del aceite para que fluya a través de la válvula.

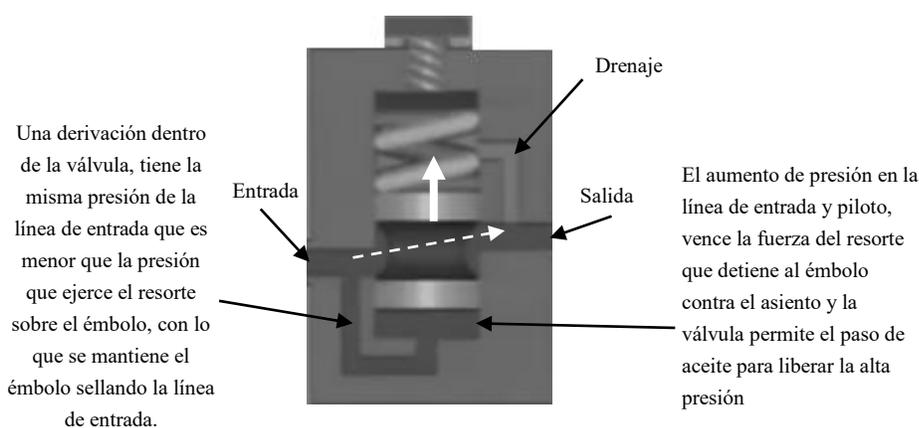


Imagen 4.29. En una válvula pilotada, al incrementarse la presión en el fluido, la presión piloto aumenta y desplaza el émbolo que es mantenido por el resorte contra el asiento. (Imagen tomada de Serie Energía Hidráulica Titulo Válvulas Hidráulicas, Martínez C., https://www.youtube.com/watch?v=XwGxZRkap_s&t=213s para fines educativos).

Las válvulas de control de presión, tienen aplicaciones en los diversos sistemas hidráulicos de las máquinas que usan esta fuerza en su diseño. La variante que corresponde a la válvula de control normalmente abierta difiere de la normalmente cerrada por que en su posición de reposo se permite el paso del fluido y para su operación de cierre, la presión piloto se toma de la línea que está a la salida de la válvula.

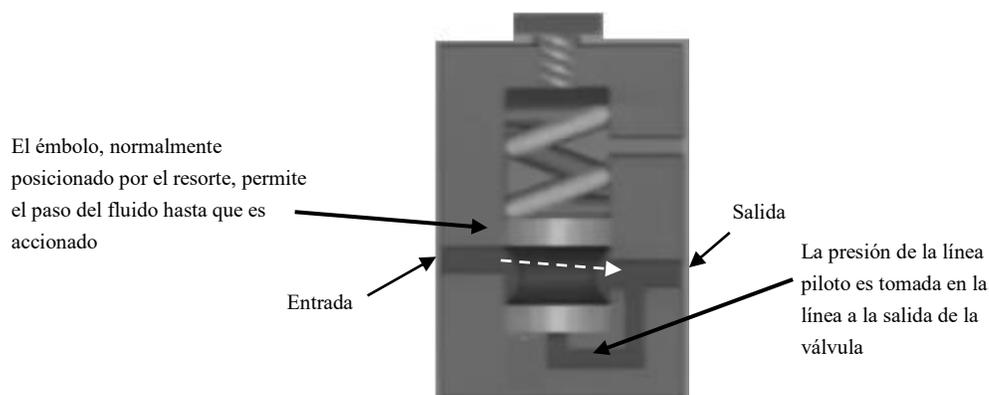


Imagen 4.30. Arreglo para el funcionamiento de una válvula normalmente abierta operada directamente. (Imagen tomada de Serie Energía Hidráulica Título Válvulas Hidráulicas, Martínez C., https://www.youtube.com/watch?v=XwGxZRkap_s&t=213s para fines educativos).

Al aumentar la presión del fluido en la lumbrera de salida, también aumenta en la línea piloto, el émbolo se desplazará hasta cerrar la trayectoria principal del fluido.

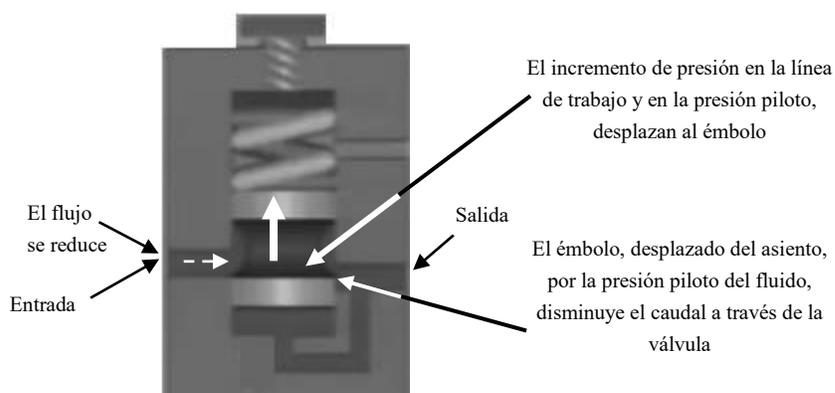


Imagen 4.31. Válvula pilotada normalmente abierta accionada por el aumento de presión. (Imagen tomada de Serie Energía Hidráulica Título Válvulas Hidráulicas, Martínez C., https://www.youtube.com/watch?v=XwGxZRkap_s&t=213s para fines educativos).

Las válvulas descritas para el control de presión, esto es, la válvula normalmente cerrada y normalmente abierta, operadas por presión piloto, son operadas directamente. En ellas la presión

del líquido, resiste únicamente la fuerza aplicada por el resorte. Estas válvulas son de operación y mantenimiento sencillo.

Un inconveniente que llegan a presentar estas válvulas, es que el resorte que mantiene al émbolo contra el asiento, está diseñado para ejercer una alta presión, esto fuerza a una respuesta lenta de la válvula cuando la presión del fluido se va aproximando a la presión que ejerce el muelle. La acción del resorte también, implica que el émbolo puede desplazarse de su posición de reposo prematuramente y permanecer fuera de su posición normal más tiempo de lo necesario hasta que la presión ejercida por el líquido, disminuya a un valor superior al del resorte. Una situación más que sucede en este tipo de válvulas y que debe ser tomada en consideración, es que si la presión del líquido cambia frecuentemente debido a la forma de trabajo del sistema hidráulico en el diseño de la máquina, el émbolo de la válvula de seguridad puede moverse constantemente para abrir, cerrar o restringir las vías de flujo, lo cual provocaría movimientos erráticos y generar un mal funcionamiento o fuera de lo esperado. Para contrarrestar estas situaciones, los diseñadores recomiendan el uso de un control de válvula piloto, el cual puede ser interno o externo.

Las válvulas de control de presión normalmente cerrada y la normalmente abierta operadas por válvula piloto se conocen como válvula compuesta. Esta válvula, tiene un orificio a través del embolo principal, el cual permite que pase aceite desde la línea de entrada de la válvula principal, hacia la recámara donde se aloja el resorte que ejerce presión en el émbolo, llegando hasta donde el émbolo de la válvula piloto, por efecto del resorte que le ejerce presión, limitará el paso del fluido. Con ello, el émbolo principal, estará sometido, en sus dos extremos, a la misma presión que existe en la línea de entrada. La única presión adicional que mantiene el émbolo principal en su posición normal es aplicada por el resorte que ejerce presión contra él, por lo que

ahora este resorte puede responder solo a un aumento significativo de presión en el fluido y los picos de presión serán descargados por el embolo de la válvula piloto, evitando así las activaciones innecesarias o con poco control de la válvula, antes descritas (Imagen 4.32).

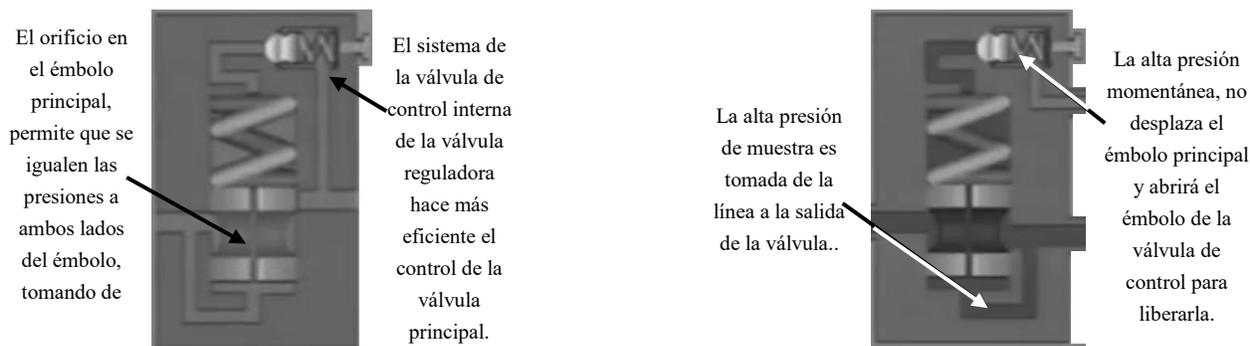


Imagen 4.32. A la izquierda una válvula de control de presión normalmente cerrada, a la derecha una normalmente abierta, El tornillo para el ajuste del resorte principal no existe en esta válvula. El control del émbolo principal, está en función del control a través de la válvula piloto.

(Imagen tomada de Serie Energía Hidráulica Titulo Válvulas Hidráulicas, Martínez C., https://www.youtube.com/watch?v=XwGxZRkap_s&t=213s para fines educativos).

La regulación será ejercida por el ajuste de la presión del resorte en la válvula piloto. Al desplazarse el émbolo piloto, cuando es vencida la fuerza del resorte piloto por el aumento significativo de la presión del fluido a la entrada de la válvula, se genera un camino para el fluido hidráulico disminuyendo la presión del lado de la recámara donde está el resorte principal y permitiendo el desplazamiento del émbolo principal para abrir la válvula (Imagen 4.33).

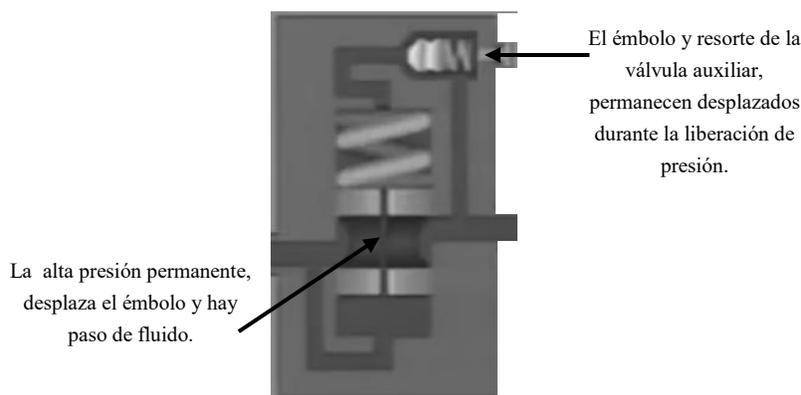


Imagen 4.33. Si la alta presión es permanente en la entrada de la válvula, el resorte principal será vencido y la válvula permitirá el paso del fluido a través de ella por el desplazamiento del émbolo. (Imagen tomada de Serie Energía Hidráulica Titulo Válvulas Hidráulicas, Martínez C., https://www.youtube.com/watch?v=XwGxZRkap_s&t=213s para fines educativos).

Cabe señalar que el drenaje de las válvulas de control de presión, puede ser interno o externo. En los drenajes internos, una vía interna dirige el aceite drenado a la salida principal de la válvula (Imagen 4.34). En los drenajes externos, la descarga se dirige por un ducto específico directamente a tanque (Imagen 4.35). Lo anterior es debido a que, si existe una presión alta en la línea de descarga, puede influir en el funcionamiento de la válvula al aumentar la presión en la recámara del resorte.

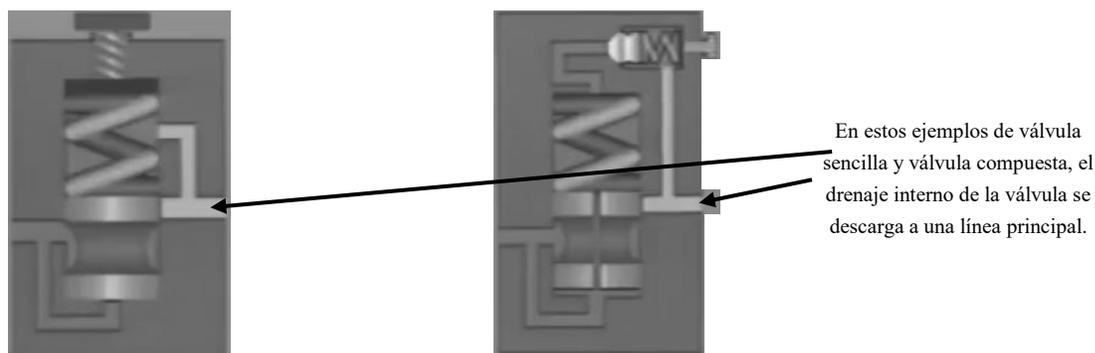


Imagen 4.34. Válvulas de control de presión normalmente cerradas drenadas internamente. (Imagen tomada de Serie Energía Hidráulica Título Válvulas Hidráulicas, Martínez C., https://www.youtube.com/watch?v=XwGxZRkap_s&t=213s para fines educativos).

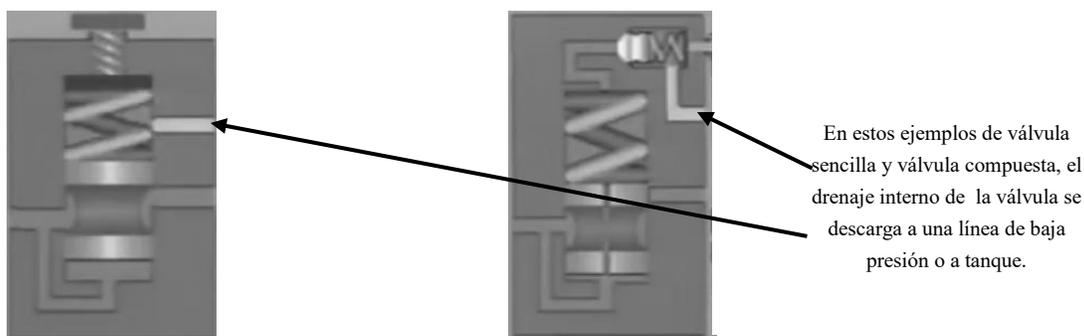


Imagen 4.35. Válvulas de control de presión normalmente cerradas drenadas externamente. (Imagen tomada de Serie Energía Hidráulica Título Válvulas Hidráulicas, Martínez C., https://www.youtube.com/watch?v=XwGxZRkap_s&t=213s para fines educativos).

En los sistemas hidráulicos, los componentes pueden tener una gran cantidad de configuraciones los cuales se diseñan acorde a la función que deben realizar y todavía más, pueden tener una función adicional o diferente cuando se combinan con otros elementos de

control para lograr otra aplicación, la cual, también tendrá una variante de la original, pero que se basa en sus principios de funcionamiento.

En un sistema hidráulico, las válvulas de control de presión, tienen como función principal, desfogar el fluido hidráulico cuando hay un aumento de presión del mismo.

Cuando la válvula de control de presión tiene la función de proteger al sistema de la presión alta, se denomina válvula de relevo o de escape. En esta condición la válvula se instala en la línea que sale de la bomba. Cuando la presión del sistema excede el límite preestablecido, la válvula se abre y desvía el líquido hacia el tanque. La válvula que se requiere para hacer esta función es del tipo normalmente cerrada. La válvula puede accionar directamente o por la acción de una válvula piloto. El control lo mismo que el drenaje interno son una característica de la mayoría de las válvulas que hacen la función de relevo de presión.

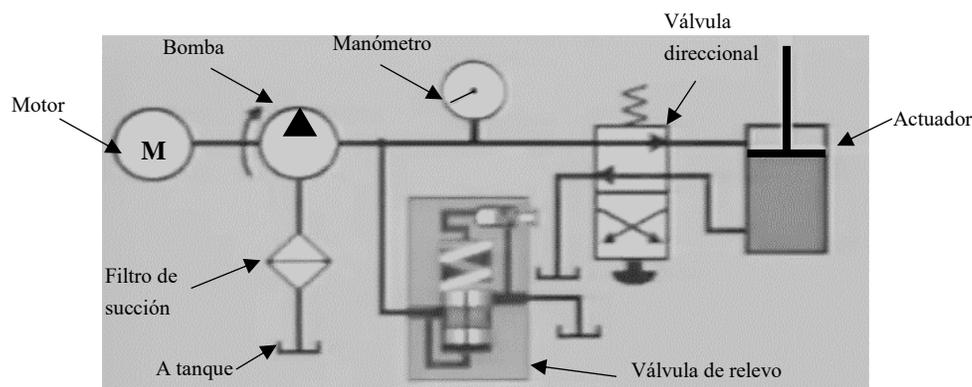


Imagen 4.36. En este diagrama hidráulico se ha sustituido el símbolo de la válvula de relevo por un gráfico del funcionamiento de la válvula. (Imagen tomada de Serie Energía Hidráulica Título Válvulas Hidráulicas, Martínez C., https://www.youtube.com/watch?v=XwGxZRkap_s&t=213s para fines educativos).

Algunas aplicaciones adicionales de las válvulas de relevo de acuerdo a lo que menciona Martínez, C. (2016), son:

“Cuando un actuador opera de manera intermitente el flujo de la bomba debe ser desviado hacia el tanque entre cada ciclo. El usar una válvula de relevo para cumplir con esta función fuerza al sistema, ya que la presión debe llegar a su nivel máximo antes de que la válvula se

active. Es más eficiente usar una válvula que puede descargar la bomba a un nivel bajo de presión.

En este caso las válvulas de control de presión son instaladas en el sistema para ser empleadas como válvula de descarga.

Estas son instaladas en la línea que sale de la bomba, pero son ajustadas para detectar cambios de presión en otras partes del sistema usualmente cerca del actuador o de la válvula de control direccional. Cuando la presión remota comienza a aumentar al final del ciclo del actuador la válvula de descarga se activa y desvía el líquido transferido por la bomba hacia el tanque.

Las válvulas de descarga son normalmente cerradas y pueden ser operadas directamente o con una válvula piloto pero su control debe ser externo, esto es, fuera de la válvula. Regularmente son drenadas internamente”.

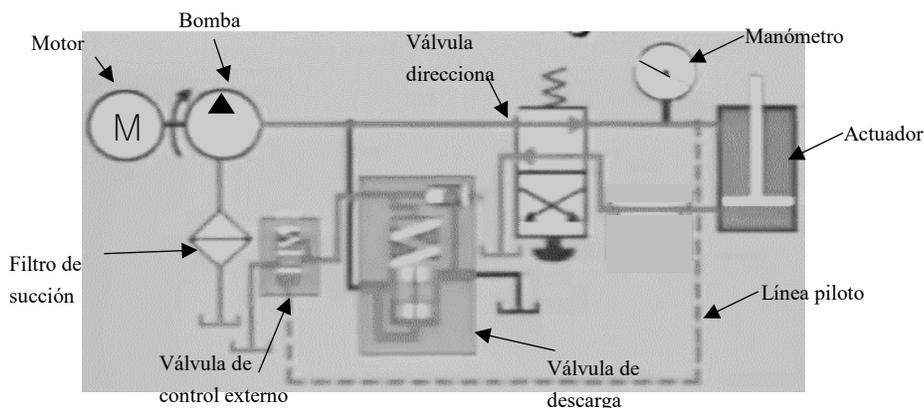


Imagen 4.37. La válvula de control de presión actuando como válvula de descarga, controlada externamente. (Imagen tomada de Serie Energía Hidráulica Título Válvulas Hidráulicas, Martínez C., https://www.youtube.com/watch?v=XwGxZRkap_s&t=213s para fines educativos).

Las válvulas de control de presión, tienen más aplicaciones. Una de ellas es evitar que, en un actuador con una carga, pueda llegar a dejar caer la carga. En algunos tipos de máquinas de inyección, donde la prensa o el sistema de cierre es por actuador lineal y este sistema tiene el movimiento vertical tiene aplicación la válvula de control de presión en un tipo de función que se denomina contrabalance. Esta válvula puede estar instalada en el sistema hidráulico en la línea

que conecta el lado cerrado del actuador, contrario al vástago, con la válvula de control direccional. La válvula evita que el peso de la carga saque el líquido del lado cerrado del actuador. Durante la carrera de retorno, cuando el fluido es dirigido hacia el lado del actuador con el émbolo, la presión total aplicada al pistón aumenta. A medida que la presión total ejercida en el lado cerrado del actuador también aumenta, el émbolo dentro de la válvula de contrabalance se aparta del asiento y el líquido sale del actuador (Imagen 4.39).

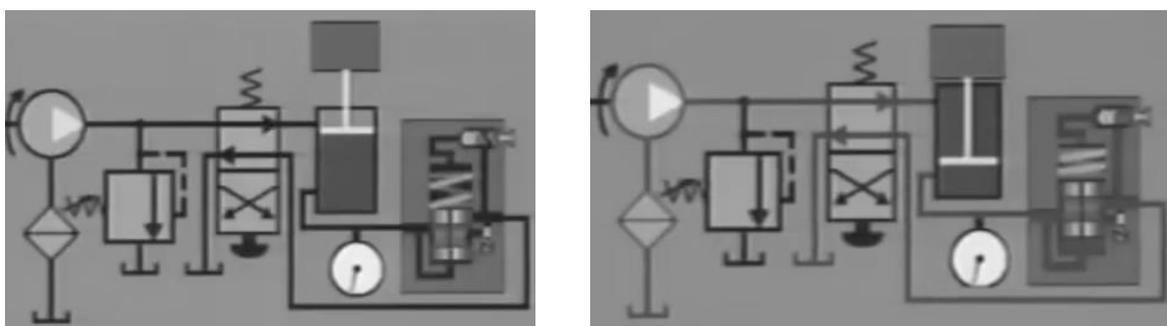


Imagen 4.38. Disposición de la válvula de control de presión para ser usada como válvula de contrabalance. Su ubicación es en el punto donde se desea bloquear la salida del fluido hidráulico. (Imagen tomada de Serie Energía Hidráulica Título Válvulas Hidráulicas, Martínez C., https://www.youtube.com/watch?v=XwGxZRkap_s&t=213s para fines educativos).

Válvulas de control de flujo o de control de caudal.

Este tipo de válvulas, tienen la finalidad de controlar la cantidad de fluido hidráulico que pasa por ellas para controlar, en primer lugar, la velocidad de un actuador.



Imagen 4.39. Gráfico de válvula de control de caudal regulable. (Imagen tomada de <http://www.pneumak-parker.com/colorflow.htm> para fines educativos).

Las válvulas de control de caudal pueden ser ajustadas manualmente, o electrónicamente, como es el caso de las válvulas que se integran al sistema hidráulico de una máquina de inyección, para calibrar el tamaño de la vía a través de la válvula. Una válvula sencilla de control de flujo, limita en sus dos direcciones posibles al fluido, pero si se adapta una válvula check, el flujo es restringido en una sola dirección y en dirección opuesta, el fluido pasará libremente.

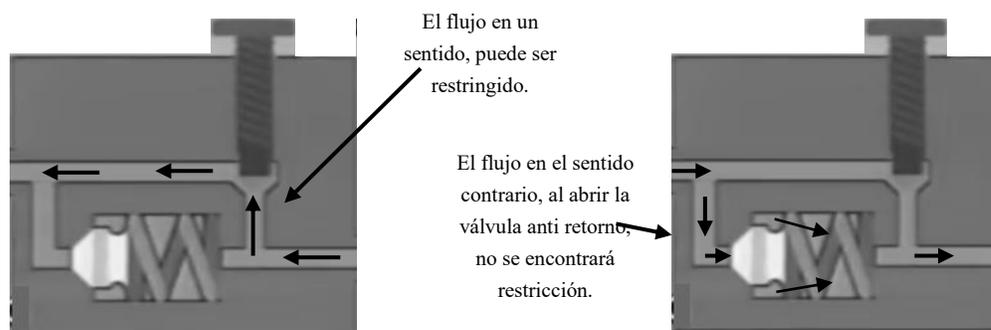


Imagen 4.40. Válvula de control de caudal con check integrada. (Imagen tomada de Serie Energía Hidráulica Título Válvulas Hidráulicas, Martínez C., https://www.youtube.com/watch?v=XwGxZRkap_s&t=213s para fines educativos).



Imagen 4.41. Válvula de control de flujo de presión compensada y con antirretorno respectivamente. (Imagen tomada de <https://www.boschrexroth.com/en/xc/products/product-groups/industrial-hydraulics/on-off-valves/flow-control-valves/flow-control-valves> para fines educativos).

Estas válvulas por si solas, no pueden asegurar una velocidad constante de un actuador en su desplazamiento debido a algunos factores como son: la variación de la tasa de flujo por los cambios en el tamaño de las vías (ductos) y por las diferencias de presión que puedan existir a ambos lados de la restricción. Recordemos que hay flujo cuando el fluido se dirige de un punto

de alta presión a uno de baja presión. Entre mayor sea la presión diferencial (Imagen 4.62), mayor será la tasa de flujo, pero los cambios en la presión diferencial a la entrada de la válvula y a la salida, provocaran cambios en la tasa de flujo y esto a su vez, provocará cambios en la velocidad de un actuador, no siendo esta situación la más deseable.

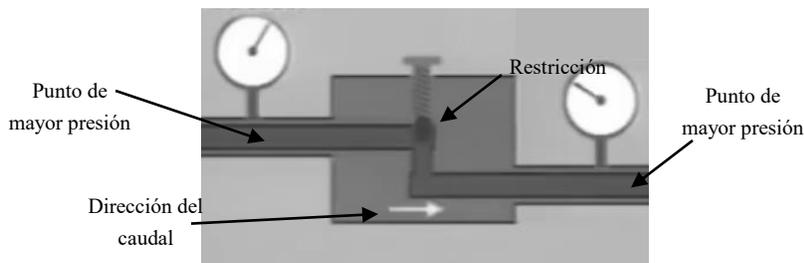


Imagen 4.42. El caudal siempre va de un punto de presión superior a uno de presión inferior. (Imagen tomada de Serie Energía Hidráulica Título Válvulas Hidráulicas, Martínez C., https://www.youtube.com/watch?v=XwGxZRkap_s&t=213s para fines educativos).

Para contrarrestar los efectos de los cambios de presión diferencial, es adecuado usar las válvulas de control de flujo compensadas por presión. Estas válvulas están diseñadas para mantener una presión diferencial constante sobre la restricción de la válvula de control de flujo, trabajando de una manera similar a la válvula de control de presión (Imagen 4.43).

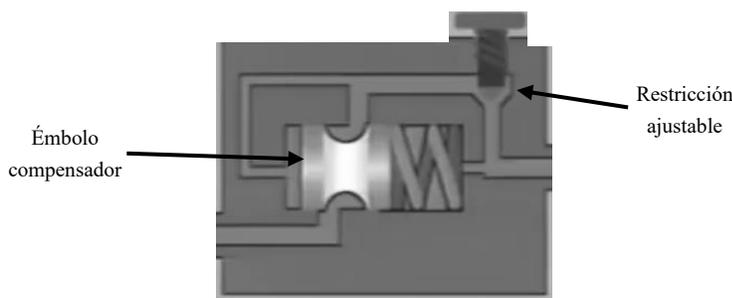


Imagen 4.43. Válvula de control de caudal de presión compensada para un control más preciso de la velocidad de un actuador (Imagen tomada de Serie Energía Hidráulica Título Válvulas Hidráulicas, Martínez C., https://www.youtube.com/watch?v=XwGxZRkap_s&t=213s para fines educativos).

Las válvulas de cartucho.

Haciendo una descripción sencilla, una válvula de cartucho, es un ensamble de cilindros maquinados con alta precisión que se desplazan por la acción de la presión hidráulica para abrir canales de flujo que permiten el paso de un caudal de aceite mayor y que con diferentes

configuraciones o arreglos de las mismas válvulas de cartucho, se pueden lograr aplicaciones tales como la función antirretorno en un sistema hidráulico, y lógicamente pueden controlar la presión, el caudal y la dirección de los fluido hidráulico.

Una de las aplicaciones de estas válvulas es ser usadas para mover rápidamente los émbolos de los actuadores al suministrar gran caudal de fluido, como es el caso de su aplicación en las máquinas de inyección de plástico.



Imagen 4.44. Válvulas de cartucho insertables y roscables (Imagen tomada de <http://www.kompasspain.com/htm/Valvulas%20Cartucho%20-%20Valvulas%20Logicas.htm> y de <http://es.eatonpowersource.com/products/configure/screw-in-cartridge-valves/> para fines educativos).

Las válvulas de cartucho tienen la intención de mejorar lo referente a espacios, conexiones, y funcionalidad.

Existen varias condiciones para su clasificación, esta se puede realizar de acuerdo a su funcionamiento, manera de ensamble, tipo de tapa, capacidad; entre otros, incluyéndose una clasificación de acuerdo a su tipo de ensamble que puede ser de dos tipos esenciales, las válvulas de cartucho para insertar y las válvulas de cartucho para roscar.

Las válvulas de cartucho son utilizadas en las máquinas de inyección principalmente en el control de apertura y cierre de prensa. Estas válvulas son de alguna manera, parecidas a la válvula 99ntirretorno o check, con obturador. Están formadas por un conjunto deslizante insertado en una cavidad de un bloque.

La válvula, cuenta con dos orificios principales para la entrada del fluido y un orificio para un control piloto. Dicho control, tiene la función de controlar la velocidad de apertura del obturador.

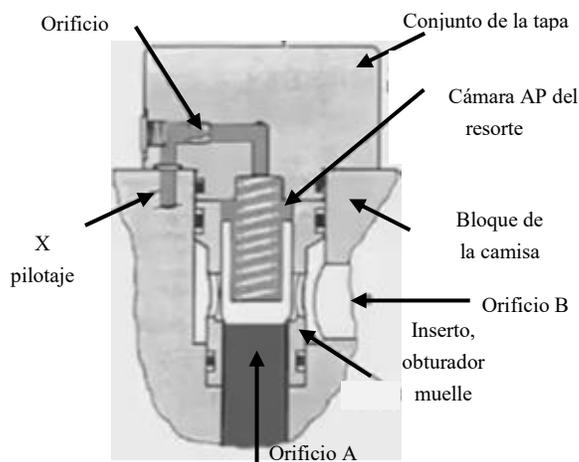


Imagen 4.45. Vista en corte de una cámara de cartucho insertable. (Imagen tomada de Sarmiento J. Válvulas de cartucho parte 1 <https://www.youtube.com/watch?v=Dmm5vErVXpo> para fines educativos).

En este tipo de válvulas, para su operación, Sarmiento J. (2017), nos indica los datos de áreas, relaciones y nomenclatura de los orificios de entrada y salida.

Áreas y relaciones

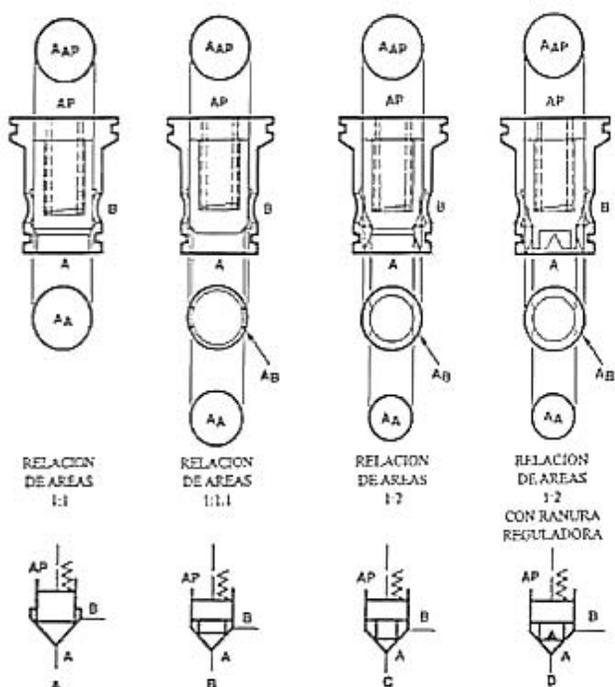


Tabla 4.2. Descripción de la nomenclatura

Áreas	
A_A	Área efectiva del obturador expuesta a A
A_B	Área efectiva de obturador expuesta a B
A_{AP}	Área efectiva del obturador expuesta al muelle
A_{AP}	$A_A + A_B$
Relaciones	
1:1	Cuando $A_{AP} = A_A$
1:1.1	Cuando $A_{AP} = 1.1^a A_A$
1:2	Cuando $A_{AP} = 2^a A_A$
Tipo de obturador	
A	Obturador con extremo cilíndrico y camisa biselada
B	Obturador biselado y asiento de mayor diámetro
C	Obturador biselado y asiento de menor diámetro
D	Ranura reguladora en el obturador

Imagen 4.46. Áreas y relaciones de las válvulas de cartucho. (Imagen tomada de Sarmiento J. Válvulas de cartucho parte 1 <https://www.youtube.com/watch?v=Dmm5vErVXpo> para fines educativos).

Relación de fuerzas de apertura y cierre

Para saber cómo la válvula abre y cierra, se deben calcular las presiones de apertura y cierre, considerando las presiones que se aplican en las tres áreas, esto es, en el área AP, en el área A y en el área B.

Las fuerzas que mantienen la válvula cerrada son la presión que actúa en el área AP más la fuerza del resorte, mientras que las fuerzas que intentan abrir la válvula son las que actúan en A y B. De este modo las fuerzas que actúan para cerrar la válvula son la presión en el puerto A_{AP} por el área AP más la fuerza del resorte y las fuerzas que intentan abrir la válvula son la presión en el puerto A por el área A, más la presión aplicada en el puerto B por el área B. Si la suma de las fuerzas en AP más la fuerza del resorte es mayor que la suma de las fuerzas en A y en B entonces el obturador tiende a permanecer cerrado. Por el contrario, si la suma de las fuerzas en A y B es mayor que la suma de las fuerzas en AP y el resorte, entonces el obturador se abre.

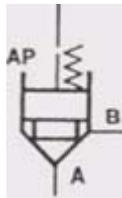


Imagen 4.47. En la válvula de cartucho, la presión del fluido actúa en las tres áreas. Las fuerzas que mantienen la válvula cerrada son la presión que actúa en AP más la fuerza del resorte y las fuerzas que intentan abrir la válvula son las que actúan en A y en B (Imagen tomada de Sarmiento J. *Válvulas de cartucho parte 2* <https://www.youtube.com/watch?v=udDIG1Gg0zM&t=300s> para fines educativos).

Se expone un ejemplo sencillo de Sarmiento J. (2017), para ver cómo funciona la relación de áreas en este tipo de válvulas.

“En este ejemplo se tiene un actuador diferencial que es alimentado con el caudal de la bomba a través de una válvula de cartucho insertable.

La válvula de cartucho posee una relación de áreas 1:2. El área AP es de 2 pulgadas². El resorte de esta válvula es de 40 libras. El área AP está drenada a tanque por medio de la válvula direccional (Imagen 4.48).

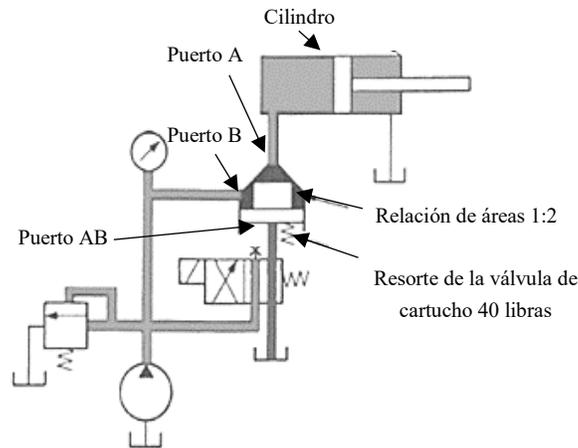


Imagen 4.48. Diagrama con válvula de cartucho para movimiento del actuador. (Imagen tomada de Sarmiento J. *Válvulas de cartucho parte 2* <https://www.youtube.com/watch?v=udDIG1Gg0zM&t=300s> para fines educativos).

Para el ejemplo, considerar también que la presión en la línea de descarga de la bomba y entre la válvula de cartucho y el actuador es de 1000 psi. Dado que la relación de áreas del cartucho es de 1:2 y el área AP es de 2 pulgadas², el área A es la mitad del área AP, por tanto, el área A es de 1 pulgada².

Como el área AP es de 2 pulgadas², el área A es de 1 pulgada², y dado que

el área AP es la suma del área A más el área B, se deduce que el área B es de 1 pulgada².

$$A_{AP} = A_A + A_B; \quad 2 \text{ pulgadas}^2 = 1 \text{ pulgada}^2 + A_B; \quad \rightarrow A_B = 1 \text{ pulgada}^2$$

Haciendo el análisis de fuerzas de cierre y apertura de la válvula de cartucho, se tiene lo siguiente:

Las fuerzas que mantienen la válvula cerrada, las cuales son la fuerza en AP más la fuerza del resorte son la presión que se aplica en AP por el área AP. Debido a que este puerto está drenado tanque, la presión que se ejerce en AP es cero. Dado que la presión de cero por el área de 2 pulgadas² continua siendo cero, la única fuerza que mantiene a la válvula cerrada es la fuerza del resorte la cual es de 40 libras.

Las fuerzas de apertura son la fuerza en el puerto A más la fuerza en el puerto B. La fuerza en el puerto A es la presión en A por el área A. La presión A es de 1000 libras por pulgada² y el área A es 1 pulgada², Entonces la fuerza A es de 1000 libras. La fuerza B es la presión B por el área B, como la presión B es 1000 libras por pulgada² y el área B es 1 pulgada² Entonces la fuerza B es 1000 libras.

Como la suma de las fuerzas en A y en B que son las fuerzas que intentan abrir la válvula, tienen como resultado en su suma 2000 libras, es una fuerza superior a la suma de las fuerzas que mantienen cerrada la válvula que es la fuerza del resorte más la fuerza en AP (un total de 40 libras), la válvula se abrirá permitiendo el paso del fluido de la bomba hacia el lado cerrado del cilindro”.

Motor hidráulico.

El motor hidráulico, que en la máquina de inyección a la que se hace referencia, tiene la función de hacer girar el husillo o tornillo de carga para suministrar materia prima al cilindro plastificador, es el nombre que generalmente toma un actuador hidráulico rotatorio. En cuanto a su construcción, los motores hidráulicos se parecen mucho a las bombas hidráulicas con la diferencia de que, en vez de empujar el fluido como es la función de la bomba, a éste lo hace trabajar el fluido impulsado, desarrollando un movimiento rotatorio mientras exista flujo.

En un momento dado, los motores hidráulicos, pueden estar cargados a presión en sus puntos de admisión y descarga por lo cual deben tener un dren externo para liberar la presión.

“El desplazamiento, la torsión y la presión, los parámetros que influyen en el porcentaje de un motor hidráulico.

El desplazamiento es la cantidad de fluido que acepta el motor en cada revolución. En otras palabras, es la capacidad de una cámara, multiplicada por el número de cámaras que contenga el mecanismo. El desplazamiento del motor se expresa en pulgadas cúbicas por revolución.

La torsión es el componente de fuerza de la salida del motor. Se define como un esfuerzo torsional o de giro. Para que exista una torsión, no necesariamente se requiere de movimiento, pero si la torsión es de la magnitud suficiente como para vencer la fricción y la resistencia de la carga, habrá movimiento. Una carga determinada impondrá una menor torsión en el eje; si se disminuye el radio. Sin embargo, el radio de mayor tamaño moverá más rápidamente a la carga para una velocidad determinada del eje. La torsión se expresa generalmente en libras pulgada.

La presión que se requiera en un motor hidráulico, depende de la carga de la torsión y del desplazamiento. Un motor de gran desplazamiento desarrollará una torsión determinada con menor presión que otra unidad más pequeña. El tamaño y el porcentaje de la torsión de un motor se expresa en libras pulgada de torsión por cada 100 libras por pulgada cuadrada de presión (psi)” Válvulas y Controles Mexicanos. (2002), (p. 6-6)

Los motores de pistones radiales se aplican principalmente donde se requieren altos pares de torsión a baja velocidad, por ejemplo, el extrusor de la máquina de inyección.

Las bielas de los cinco pistones montados radialmente “empujan” de la misma forma, la parte excéntrica del eje central. Una válvula de manguito giratorio, que es accionada por el eje central está “cuidando” el suministro de aceite adecuado hacia/desde los cilindros.

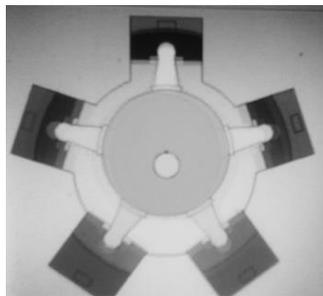


Imagen 4.49. El grafico se muestra el ensamble de un motor hidráulico, en el se puede observar un eje que gira excéntrico para mover las bielas de cada pistón y generar la carga y descarga correspondiente en cada giro (Imágenes tomadas de http://home.kpn.nl/RBrink1955/radpm_esp.htm para fines educativos).

El motor descrito se tiene en la máquina de inyección, como se indica, en la unidad de inyección. También se cuenta con un motor hidráulico de menor porcentaje que puede ser orbital o de paletas para desplazar la platina del sistema de cierre y ajustar la prensa a la altura del molde que se requiere montar para trabajo.

Acumulador.

Los fluidos usados en los sistemas hidráulicos, no pueden ser comprimidos como los gases para almacenarse y posteriormente ser usados en diferentes lugares o a tiempos distintos. El acumulador en un sistema hidráulico presenta la ventaja de proveer un medio de almacenar estos fluidos incompresibles bajo presión.

El acumulador usado en las máquinas de inyección es del tipo de gas en este tipo de acumulador, el fluido hidráulico entra a la cámara y comprime un gas que se encuentra dentro de una bolsa de hule o vejiga, (de ahí su nombre) posteriormente cualquier caída de presión en el sistema provoca que el elemento reaccioné y forcé al fluido hacia afuera otra vez.

Estos tipos de acumuladores, son útiles porque son más compactos que los acumuladores de pesos muertos o cargados a resorte. Sin embargo, tienen la desventaja de que la fluctuación constante del hule que contiene al gas, afecte su durabilidad.



Imagen 4.50. Vista en corte de un acumulador de botella o de vejiga. Imagen tomada de <http://oleohidraulica.hydrindustry.com/recomendaciones-y-parametros-de-trabajo-para-acumuladores-oleohidraulicos/> para fines educativos,

Sobre el acumulador hidráulico, Hidráulica y Neumática (2019) menciona, “en muchos de los sistemas hidráulicos se requiere de un gran volumen de aceite para efectuar el trabajo; pero el trabajo se efectúa solo intermitentemente durante el ciclo de la máquina. Por ejemplo, en la

inyección de plástico, los actuadores de inyección deben moverse a una buena velocidad por efecto del desplazamiento del fluido hidráulico cuando se está inyectando plástico a las cavidades de un molde, pero hay etapas de la máquina donde no tendrán movimiento, como por ejemplo durante la extracción de la pieza o durante el cierre del molde o apertura del mismo. Para evitar el uso de una bomba intermitente de gran volumen, el sistema almacena fluido de una bomba de volumen relativamente bajo en un acumulador y lo descarga en la parte del ciclo que corresponde a la actuación de los cilindros de inyección.

Otras aplicaciones, es cuando se desea mantener una presión durante largos periodos de tiempo. En lugar de hacer uso de la bomba trabajando y que sea la válvula de alivio la que descargue el exceso de presión, se usa la carga del acumulador para sostener la presión necesaria. Entonces la bomba puede ser descargada libremente a tanque, mientras el acumulador mantiene la presión.

Una aplicación más del acumulador en un sistema hidráulico es absorber los golpes o un aumento de presión debido al frenado repentino o a la inversión del flujo de aceite. En esta situación, la presión de precarga está cerca o un poco más arriba de la presión operante permitiéndole así el recoger picos de presión sin que sea constante o prolongado el trabajo de la bolsa contenedora de gas”.

Válvula check o anti retorno.

Este tipo de válvulas son clasificadas como una válvula direccional, no obstante su nombre nos indica que es una válvula unidireccional. Su aplicación es variada, y al igual que en los elementos de control hidráulico ya mencionados, al asociarse con otros, su funcionamiento va más allá de la función para la que fue diseñada inicialmente.

Tienen diferentes tipos de clasificación.

- Por tamaño se clasifican de acuerdo a alguna de las normas siguientes:

- a) ISO: International standardsdising Organization
- b) VDMA: Verein Deutscher Maschineb au Anstalten.
- c) CETOP: Comité Europeo de Transmisiones Oleodinámicas y Neumáticas.

Las cuales tienen muchas similitudes, pero también son aplicables a las siguientes normas:

- a) JIC: Joint industry conference
- b) ASA: American standardising association

Y se refieren al tamaño de la lumbrera, y a los tipos de conexión.

- El tipo de elemento interno de la válvula, que puede ser un cabezal móvil (pistón o balín).
- Los métodos de accionamiento entre los que se encuentran principalmente los accionamientos del tipo solenoide eléctrico, por operación hidráulica que es la presión piloto.
- El número de vías que tiene la válvula.

La válvula check o anti retorno sencilla, es sencillamente una válvula direccional de un paso.

Esta permite el flujo libre en una dirección y obstruye el paso en la otra

Físicamente, algunos ejemplos de estas válvulas son como las de la imagen 4.51

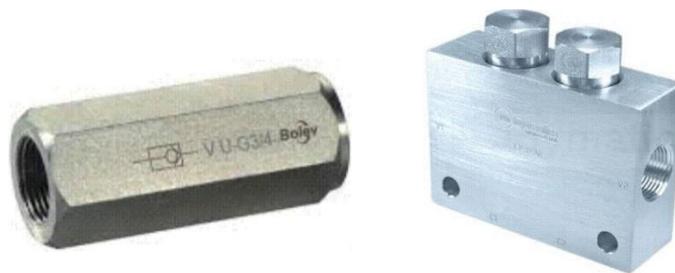


Imagen 4.51. A la izquierda, válvula check sencilla (Imagen tomada de <https://spanish.alibaba.com/f/valvula-check-hidraulica.html>) a la derecha, válvula check pilotada imagen tomada de <https://joymatic.com/valvula-hidraulica-de-contrabalace-tipo-cartucho-presion-piloto-3-1-montaje-en-sandwich-cetop-3-10-gpm-con-rango-de-presion-ajustable-de-1000-3000-psi-y-check-de-25-psi-2925.html> para fines educativos).

Las válvulas check pueden conectarse en línea pueden propiamente estar en la línea de trabajo principal, y el fluido se desplaza a través de ellas. Puede ser un cabezal móvil o un balín que son

cargados a la presión de un resorte para que con cierta presión se venza y permita el paso del aceite, sin embargo, en la dirección contraria el mismo flujo del aceite adicionado a la presión del resorte asienten el elemento restrictivo e impidan el flujo del aceite hidráulico.

Los resortes no son ajustables, pero hay varios tamaños que generan la fuerza necesaria para cada aplicación, tales como la presión piloto para accionamiento. En algunos casos se usan en arreglos de válvulas de alivio y también de válvulas de secuencia.

Las válvulas check de función piloto se diseñan para que permitan libremente el fluido en una dirección y que obstruyan el flujo de regreso, hasta que se abran por medio de una señal por presión piloto y permitan el flujo del fluido en forma inversa. Se usan en las prensas hidráulicas como válvulas prellenadoras para permitir que el actuador hidráulico principal se llene por gravedad durante el acercamiento rápido de la carrera. Son usadas también, para detener pistones verticales, los cuales de otro modo resbalarían hacia abajo por el paso de fuga que tiene el carrete de una válvula direccional (Imagen 4.52).

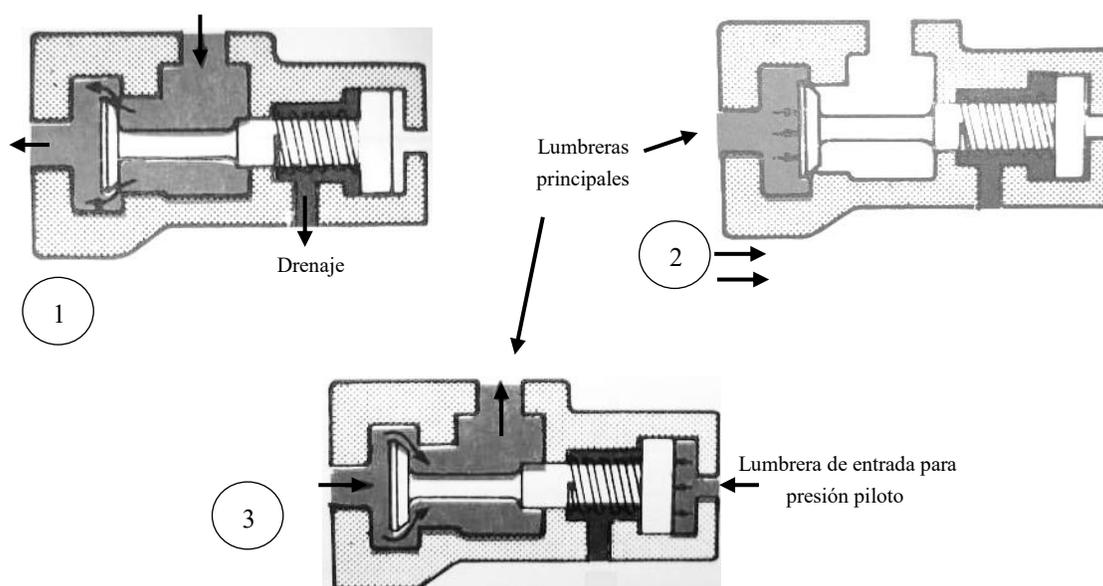


Imagen 4.52. Una forma de operación de la válvula check pilotada con disposición en ángulo recto. En 1 El flujo en un sentido, abre la válvula y permite el paso del fluido sin restricción. En 2, la válvula se cierra e impide el paso del fluido en sentido inverso a la dirección inicial. En 3 la presión piloto, abre el émbolo de la válvula y ahora permite el paso del fluido hidráulico en el sentido inverso a la dirección inicial. (Imagen tomada de Válvulas y Controles Mexicanos. (2002). *Manual de hidráulica industrial* para fines educativos).

La válvula check en la máquina de inyección la podemos ubicar funcionando en la descarga de la bomba de caudal fijo, en descargas a tanque y en las funciones de colocación y extracción de insertos, actuación de expulsores funcionando con válvulas reguladoras de caudal en un solo sentido.

Válvulas proporcionales

Las válvulas proporcionales, son un tipo de válvulas que han sido diseñadas para controlar de forma precisa, por ejemplo, las velocidades de inyección propiamente en la máquina de inyección de plástico. Estas válvulas proporcionales, cubren una característica requerida de economía comparadas con las servo válvulas, que hacen la misma función de desplazamientos de precisión del fluido en el control hidráulico para el que son diseñadas.

Observamos que en el diagrama hay válvulas del tipo proporcional y de posiciones infinitas.

Para iniciar a tratar este tema conviene aclarar que las válvulas proporcionales y de posiciones infinitas presentan diferencias con la operación de otras válvulas que son las denominadas todo o nada o también llamadas on/off.

Por ejemplo, el carrete de una válvula on/off, presenta un desplazamiento instantáneo a cualquiera de sus posiciones definidas en su operación. Una válvula de 3 posiciones, asumirá una de esas tres posiciones para las que ha sido diseñada instantáneamente y no posiciones intermedias del carrete.

La denominación control proporcional, es aplicable al tipo de válvulas que en hidráulica de potencia tienen el movimiento del elemento de función de la válvula, por ejemplo, el carrete, en función de una señal eléctrica que controla dicho movimiento. Sin embargo, el movimiento de posiciones infinitas, lo tenemos incluso en una válvula de agua común de casa. La tecnología que se desarrolló para controlar las válvulas de sistemas hidráulicos, para una respuesta rápida,

precisa y constante, es la parte donde no se puede comparar la válvula “de casa” con la aplicación industrial.

En la misma máquina de inyección de plástico, se tiene un sistema de válvulas de desplazamiento de posiciones infinitas, ejemplo de ellas son las válvulas del sistema load sensing de la bomba de caudal variable, que es controlado por la presión y el caudal del sistema.

El funcionamiento de las válvulas proporcionales es usado en el sistema hidráulico para controlar las variables presión, caudal y dirección. Las válvulas proporcionales típicamente son válvulas de corredera deslizante y el carrete es centrado por resortes, aunque hay algunas variantes de ellas.

La principal diferencia de estas válvulas con las válvulas on/off es que en las válvulas todo/nada, un solenoide tradicional, al recibir una señal eléctrica que es constante, se energiza y a falta de esta señal, la bobina se desenergiza, moviendo el carrete a su desplazamiento total al ser energizada y regresando en su totalidad al ser desenergizado. En una válvula proporcional el carrete se mueve proporcionalmente a la señal eléctrica aplicada a su solenoide; de esta forma, la señal eléctrica se convierte en un movimiento mecánico del carrete.

Se puede decir que el caudal de salida en estas válvulas es proporcional a la señal de entrada. Variando la señal de entrada, el solenoide ajusta el movimiento del carrete para variar el caudal que atraviesa la válvula.

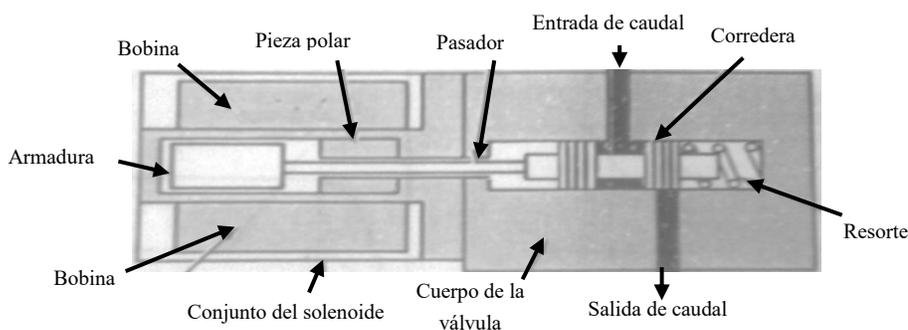


Imagen 4.53. Ejemplo de una válvula proporcional básica. (Imagen tomada de Válvulas y controles mexicanos. (2002). Válvulas Proporcionales. Manual Vickers de Control)

En la configuración de este tipo de válvulas, está presente la de un solenoide de fuerza constante.

En un solenoide se crea una fuerza magnética cuando pasa una corriente por su bobina. Esta fuerza empuja al núcleo del solenoide hacia la pieza polar. Entonces un pasador unido a la armadura transmite la fuerza al carrete de la válvula. El diseño de la armadura, la pieza polar y el conjunto del tubo central son la diferencia entre un solenoide proporcional y uno convencional on/off (Imagen 4.53). El solenoide proporcional se construye de forma que de una fuerza más constante dentro de toda la carrera de trabajo (Imagen 4.54).

La corriente del solenoide es la que determina la magnitud de la fuerza transmitida al carrete de la válvula. La fuerza del solenoide mueve la corredera hasta que se llega a un equilibrio entre esta fuerza y la del resorte de la válvula. (Válvulas y Controles Mexicanos, 2002, p.14.2)

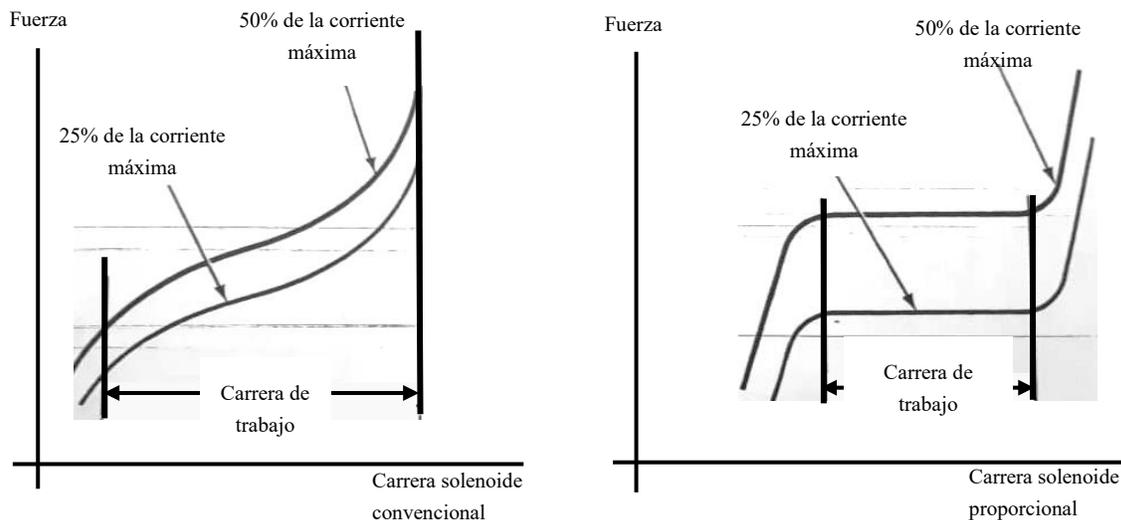


Imagen 4.54. En estas graficas se puede comparar la fuerza de los solenoides convencional y proporcional. (Imagen tomada de Válvulas y controles mexicanos. (2002). Válvulas Proporcionalas. *Manual Vickers de Control*)

Al modificar la corriente que se suministra, el solenoide tiene la posibilidad de desplazar y ubicar el carrete en cualquier posición requerida para realizar la acción requerida a la válvula. El hecho de que solamente sea el resorte de la válvula el que regresa el carrete a su posición de origen cuando la corriente es interrumpida o disminuye, se considera que la realimentación es por resorte, porque solamente esta acción se considera como la realimentación para la fuerza del solenoide. Se debe considerar que este tipo de válvulas, dado que son las más sencillas para funcionar, no son adecuadas para operaciones hidráulicas de precisión o de un nivel elevado de funcionamiento.

Estas válvulas se basan en aplicaciones electrónicas que suministran la potencia necesaria para funcionamiento y otras funciones adicionales, pero requieren de amplificadores electrónicos para trabajar la información recibida y entregar una salida correcta.

Las señales de alimentación o de entrada a los amplificadores de las válvulas proporcionales provienen de:

- Potenciómetros
- Sensores de temperatura
- Transductores de presión
- Tacogeneradores
- Microprocesadores

Estas señales son de baja potencia en términos de corriente y voltaje. Esta potencia debe amplificarse para que una vez aumentada, pueda ser transmitida al solenoide y accionar el carrete de la válvula proporcional.

El amplificador, suministra 3 funciones básicas para la operación de la válvula:

La compensación de la zona inactiva. Esto se refiere a un desplazamiento que el carrete debe hacer necesariamente para que este pueda llegar al punto donde abre efectivamente la comunicación entre los diferentes puertos. En las servo válvulas, los maquinados se diseñan de tal manera que tiende a cero el desplazamiento necesario y también la compensación de la zona inactiva, tiende a cero (Imagen 4.55).

El desarrollo de la electrónica de la válvula, ha dado los ajustes en el amplificador para que cuando el desplazamiento del carrete llega a la zona inactiva, el amplificador aumente electrónicamente su salida y de un salto en esta zona, produciendo resultados casi ideales (Imagen 4.56).

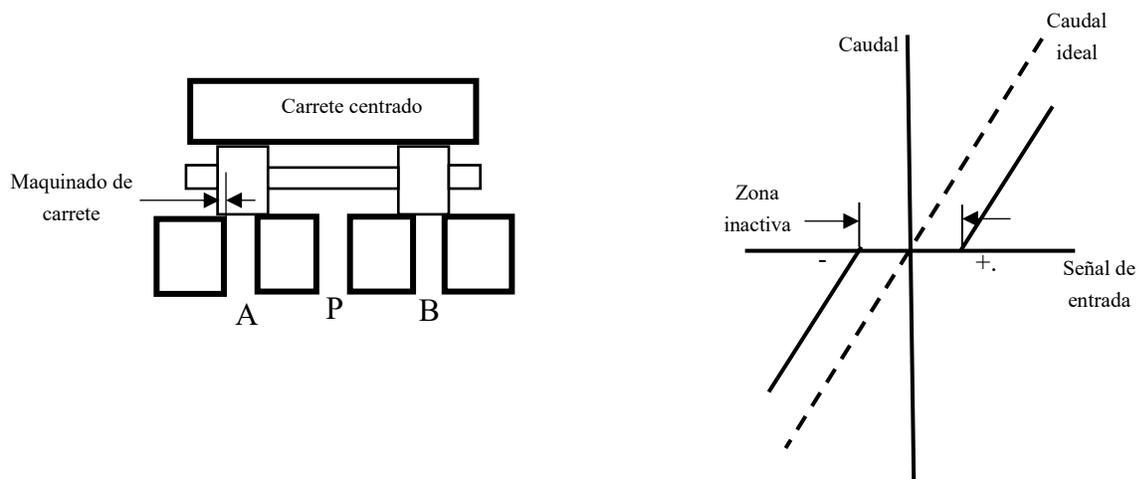


Imagen 4.55. A la izquierda se observa el carrete centrado y la zona que debe desplazar antes de empezar a permitir el paso del fluido hidráulico debido al maquinado. A la derecha la gráfica de la señal de entrada contra la cantidad de caudal. La línea punteada es la respuesta ideal. El desplazamiento real requiere .3 volts para iniciar el paso de flujo o el cierre del flujo y dejar centrado el carrete. (Imagen tomada de Válvulas y controles mexicanos. (2002). Válvulas Proporzionales. *Manual Vickers de Control*)

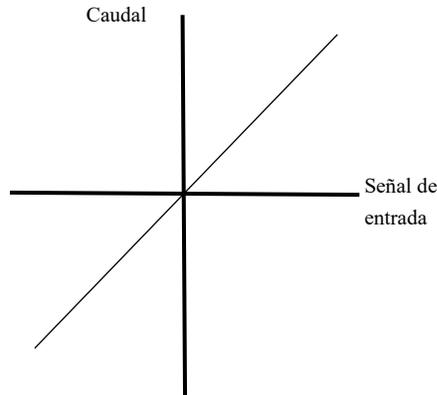


Imagen 4.56. El desplazamiento que se consigue con el ajuste electrónico en el amplificador para compensar la zona inactiva, da una gráfica ideal donde el flujo hidráulico inicia con la mínima señal. (Imagen tomada de Válvulas y controles mexicanos. (2002). Válvulas Proporzionales. *Manual Vickers de Control*)

La ganancia es otra función. Esta es la relación entre la señal de entrada al amplificador que es muy pequeña y el mayor caudal de salida de la válvula. La tensión de salida es proporcional a la tensión de entrada.

El Dither es la tercer función que suministra el amplificador. Esta es una señal de corriente alterna de frecuencia elevada y baja amplitud que se utiliza para compensar los efectos de una condición conocida como histéresis, la cual es una condición de incertidumbre del desplazamiento del carrete como respuesta a la señal que se suministra al solenoide y se origina por la fricción entre el carrete de la válvula proporcional y su alojamiento, así como por la inercia del propio carrete (Imagen 4.57). Válvulas y Controles Mexicanos, 2002 comenta: “La fricción puede venir afectada por las tolerancias de fabricación, la expansión térmica, el desgaste, la viscosidad del fluido, la contaminación y otros factores” (p.14-5). La señal de CA descrita, se sobrepone a la señal de CC para un mejor desplazamiento del carrete al ser aplicada la señal al solenoide (Imagen 4.58).

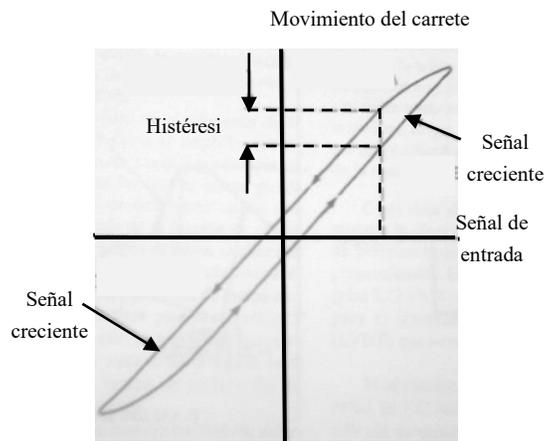


Imagen 4.57. La histéresis hace que la misma señal de entrada origine distintos movimientos del carrete cuando la señal aumenta que cuando disminuye. (Imagen tomada de Válvulas y controles mexicanos. (2002). Válvulas Proporzionales. *Manual Vickers de Control*)

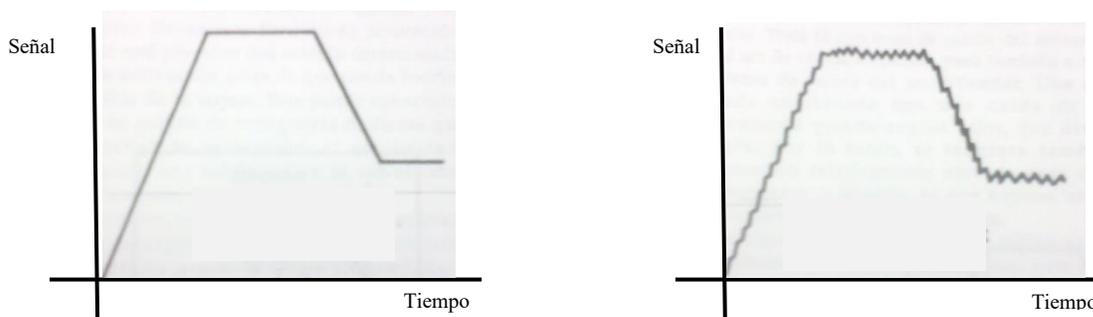


Imagen 4.58. El dither se sobrepone a la señal del solenoide para reducir la histéresis. A la izquierda se observa la gráfica de la señal típica al solenoide sin dither. A la derecha se observa la señal al solenoide con dither. (Imagen tomada de Válvulas y controles mexicanos. (2002). Válvulas Proporzionales. *Manual Vickers de Control*)

Cada fabricante suministra a su propio sistema electrónico de amplificador las funciones necesarias que considere para el control de la válvula de su marca.

Las siguientes son algunas de las funciones que se implementan en el control electrónico de las servo válvulas *Vickers*

Limitador + y -. Función que impide el daño al solenoide por una aplicación accidental de demasiada potencia.

Funciones de rampa. Función que ayuda a controlar la velocidad, aceleración y desaceleración del elemento final de control tal como el cilindro, a través de una señal gradualmente creciente o decreciente enviada del amplificador al solenoide.

Función de activación. Función similar a una señal de presencia para que el amplificador funcione.

Realimentación por corriente. Función que ayuda a mantener el buen funcionamiento del solenoide independientemente de la temperatura a la que pueda quedar sometido el mismo por su funcionamiento.

Modulación por impulsos. Función usada para impedir la creación de calor causada por grandes voltajes.

Las válvulas con solenoides proporcionales pueden ser usadas en sistemas sin realimentación para aplicaciones con un control moderadamente preciso del caudal, en este caso no hay el envío de regreso de una señal electrónica de realimentación para comparar con la señal de mando ni hay un sensor de posición para medir el movimiento actual del carrete. En este caso, la fuerza del resorte que indica el desplazamiento del carrete es la única señal de realimentación que se suministra (Imagen 4.60 diagrama superior).

En el caso de las válvulas con solenoides proporcionales que tienen control con realimentación, son usadas para un control más preciso y a estas se les puede unir un sensor de posición al carrete. El sensor envía una señal a una conexión sumadora que se compara con la señal original de mando.

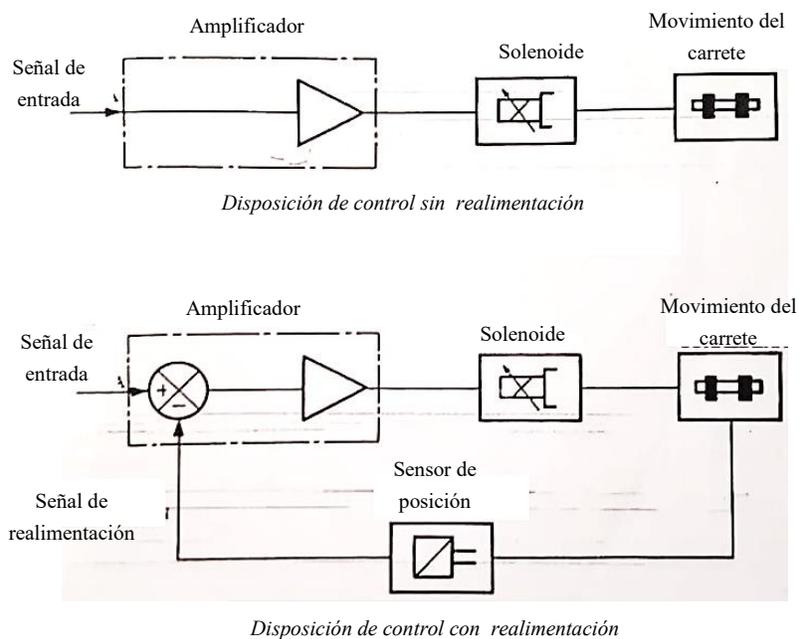


Imagen 4.59. Disposición de los controles de válvulas proporcionales con y sin realimentación. (Imagen tomada de Válvulas y controles mexicanos. (2002). Válvulas Proporcionales. *Manual Vickers de Control*)

El control con realimentación, en una descripción breve, trabaja de la siguiente manera.

La señal de entrada se envía primero al amplificador, a continuación, el amplificador envía una señal de salida al solenoide que transmite una fuerza al carrete de la válvula proporcional, haciendo que se mueva. Un sensor de posición, regularmente un Transductor Inductivo Variable Lineal también conocido por sus iniciales en inglés como LVDT, mide el desplazamiento actual del carrete. La señal de realimentación (voltaje) se envía a la conexión sumadora del amplificador (Imagen 4.59 diagrama inferior).

En esta conexión, la señal de realimentación se compara con la señal de entrada. La diferencia entre las dos señales origina una señal de error que sale de la conexión sumadora y llega al amplificador de voltaje. La salida amplificada al solenoide también

varía para reflejar la nueva señal de error. Este lazo continúa hasta que la señal de realimentación se equilibra con la de entrada y el carrete alcanza la posición especificada.

(Válvulas y Controles Mexicanos, 2002. P14-11)

5.- Funciones hidráulicas de la máquina de inyección.

5.1 Aplicación e interpretación del diagrama de barras de operación y diagrama hidráulico.

Este capítulo está dirigido a los estados de la máquina y la relación de la secuencia de operación con los elementos hidráulicos que entran en función para que la máquina realice la acción requerida en el proceso. Para ello es necesario tomar en consideración, tanto el diagrama de barras de una máquina, como su diagrama hidráulico. En ellos podemos ver la secuencia de accionamiento de las válvulas cuando actúan para realizar una función específica de la máquina.

Cada fabricante diseña su diagrama de barras y éste es empleado para obtener información relativa a la secuencia de funcionamiento de la máquina. En él se observan los solenoides que deben de estar energizados cuando la máquina está desarrollando cierta función del proceso.

En el diagrama de barras en estudio, se hace mención de 14 zonas. Estas representan 11 estados de la máquina más la condición del expulsor hidráulico. Estas zonas y estados son diferentes para cada máquina de acuerdo al fabricante y opciones adicionales de funcionamiento.

Tabla 5.1

Los 11 estados de la máquina y 14 zonas del diagrama de barras.

Estados de la máquina.	Zonas del diagrama de barras.
1. Cierre rápido de prensa.	1. Cierre rápido de prensa.
2. Protección de molde.	2. Protección de molde.
3. Levantar tonelaje.	3. Levantar tonelaje.
4. Desarrollo de los perfiles de inyección. (5 puntos o velocidades de inyección).	4. Desarrollo de los perfiles de inyección.

5. Empaque de inyección.	5. Empaque de inyección.
6. Sostenimiento de inyección.	6. Sostenimiento de inyección.
7. Extrusor trabajando.	7. Extrusor trabajando.
8. Descompresión de masa fundida.	8. Descompresión de masa fundida.
9. Separación de prensa.	9. Descompresión de masa fundida.
10. Apertura de prensa rápida.	10. Extrusor trabajando.
11. Apertura de prensa lenta.	11. Separación de prensa.
	12. Apertura de prensa rápida.
	13. Apertura de prensa lenta.
	14. Expulsor hidráulico.

En el diagrama de barras la zona correspondiente a extrusor trabajando y descompresión de la masa fundida aparece en dos ocasiones, esto es porque pertenecen a diferentes secuencias. En este mismo diagrama, se observa que cada área se extiende hacia arriba y se intersecta con barras horizontales, las cuales indican el solenoide que está activo en la secuencia de operación que corresponde al estado de la máquina.

Como ejemplo, la condición número 1 de la máquina, que es cierre rápido de prensa, ocupa la primer columna. Desplazándose hacia arriba en esa columna, se pueden localizar las barras horizontales correspondientes a los solenoides A, ASP, E, JO, O y PV1. Lo cual indica que los solenoides mencionados están energizados en esta condición número 1.

De manera similar, las 14 zonas que indican una acción de la máquina, se pueden analizar para encontrar que válvulas deben estar activas en cada estado y con ello, deducir donde puede radicar algún problema para darle solución en la situación de un mal funcionamiento.

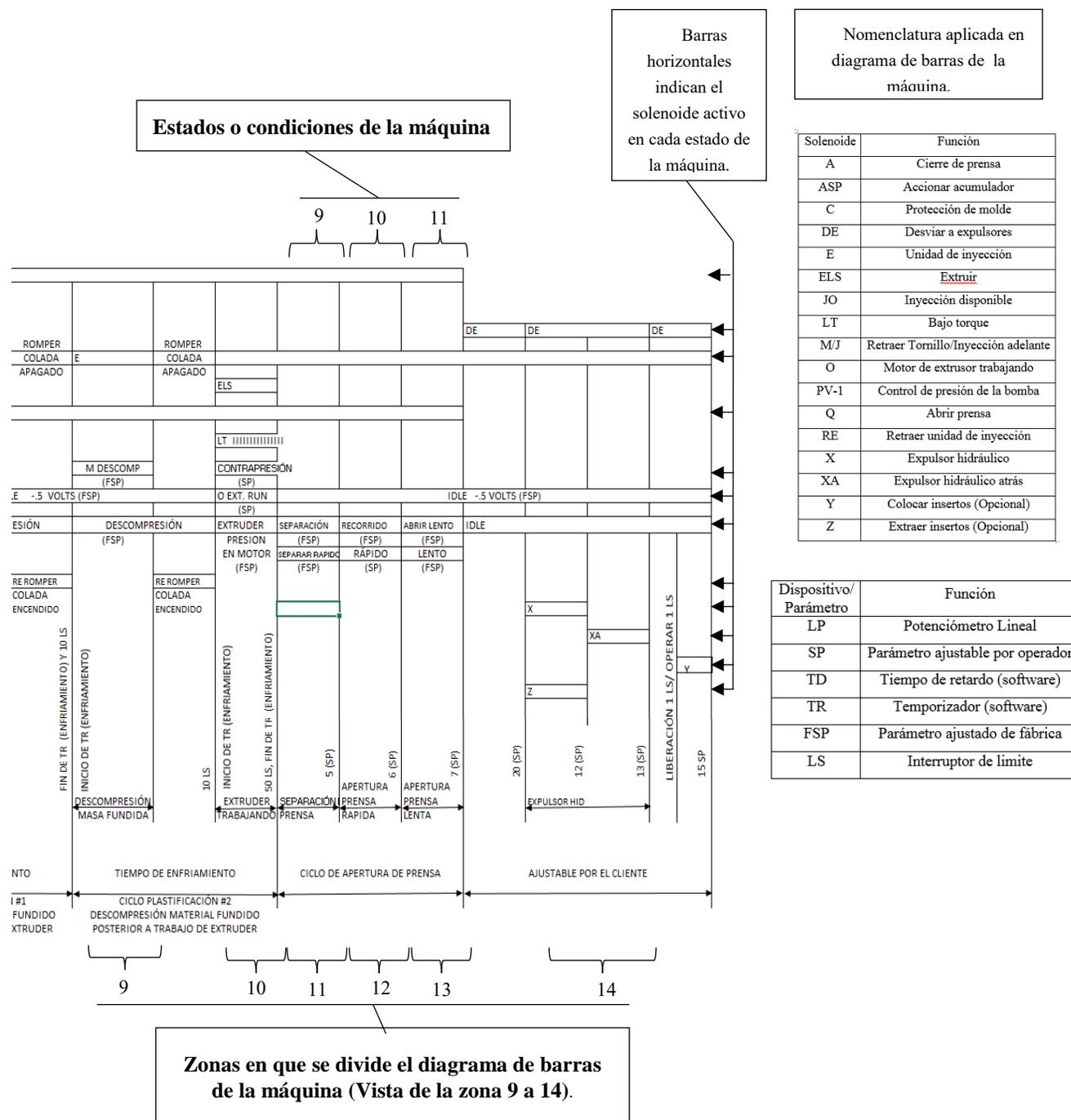


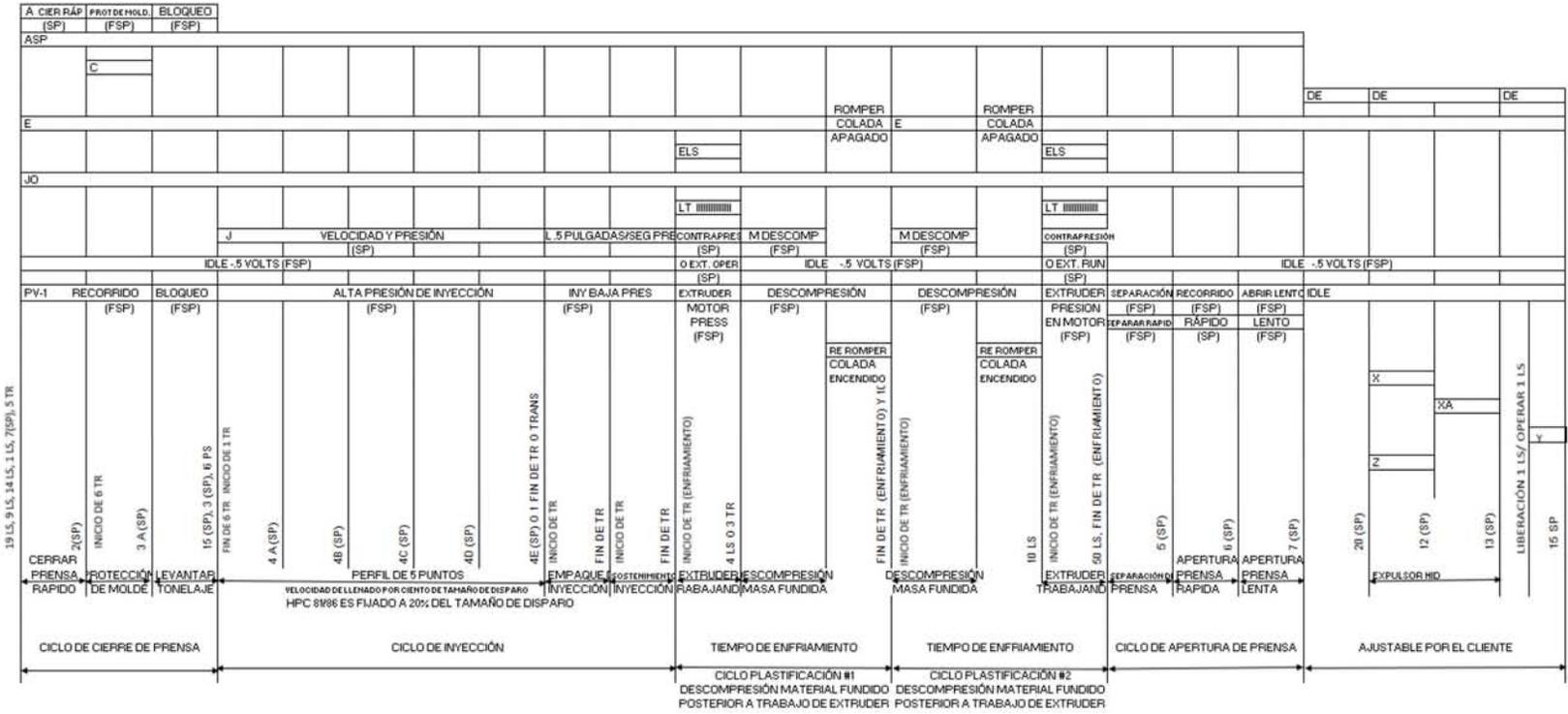
Imagen 5.1 B. Diagrama de barras de la máquina. (Continuación).

La línea vertical que separa cada condición de la máquina indica también una correspondencia a los temporizadores, interruptores de límite y las posiciones de ajuste que definen los límites que cada condición ejerce en la máquina. (Imagen 5.1 A y 5.1B).

En el diagrama se observa, por ejemplo, que la condición número 1 termina y la condición 2 comienza cuando se ha alcanzado 2(SP) que es la posición de ajuste de cierre lento. (Esta información puede ser indicada por la lectura del potenciómetro transmitida al PLC y programada de fábrica o por modificación al programa de variables de la máquina)

En conjunto con el diagrama hidráulico, el diagrama de barras, son dos herramientas muy importantes que son utilizadas para solucionar problemas de índole hidráulico en la máquina de inyección o para adaptar una secuencia adicional.

Imagen 5.2 Vista completa del diagrama de barras de la máquina Milacron modelo VT110 (Imagen tomada de Cincinnati Milacron, (1980). *Manual de operación de máquina de inyección de plástico modelo VT-110*. Ohio, USA: Cincinnati Milacron para fines educativos)



5.2 Condiciones y actuación del sistema hidráulico.

Conociendo el diagrama de barras que nos da la secuencia de estados o acciones de la máquina, se puede hacer la consulta al diagrama hidráulico para cerrar un círculo de conocimiento de las funciones de la máquina.

Se ha mencionado que el diagrama hidráulico muestra los componentes de la máquina como estarían en la condición inactiva. Cuando el motor está en funcionamiento, transmite movimiento, en el caso de esta máquina a las dos bombas. En este estado, la bomba de caudal variable está funcionando de una manera que no bombea el aceite. Por eso la bomba está trabajando sin carga a una presión baja, sin flujo. Esta condición produce muy poco calor y consume poca energía eléctrica.

Está indicado que para el suministro del fluido hidráulico, hay instaladas dos bombas, la de caudal variable y la de caudal fijo.

La de caudal variable, suministra aceite para la función de cierre y apertura de prensa así como para la función de inyección, extrusión y colocación de insertos. En tanto que la bomba de desplazamiento fijo, hace el suministro para la eyección hidráulica y el ajuste de la altura de molde.

La bomba de desplazamiento fijo mueve aceite el cual fluye por la válvula direccional P-205, desde su puerto P al A (puesto que el solenoide DE no está energizado). Una parte de este aceite fluirá entonces directamente al depósito. El resto del aceite será dirigido por el intercambiador (P-907), por el filtro (P-909), y finalmente dirigido al depósito. Lo anterior permite que el aceite sea filtrado y enfriado mientras que la máquina este en marcha mínima.

La ubicación de los tres múltiples hidráulicos de la máquina en el diagrama son:

El múltiple de la bomba está ubicado arriba de y hacia la izquierda del depósito principal de aceite.

El múltiple de inyección se encuentra encima del múltiple de la bomba.

Finalmente, ubicado a la derecha del múltiple de la bomba se encuentra el múltiple de la prensa.

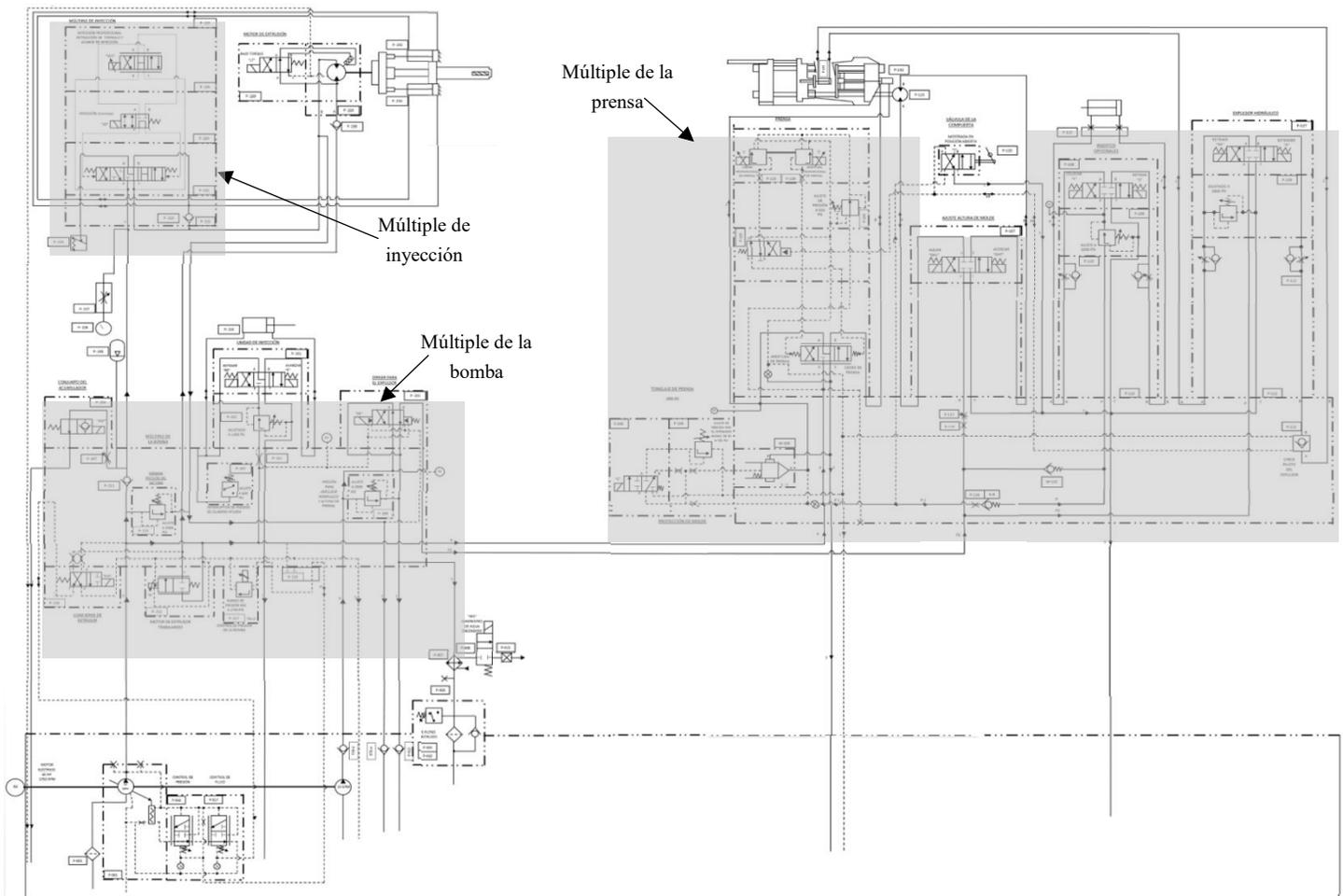


Imagen 5.4. Para identificar la ubicación de los elementos de control en el diagrama hidráulico, estos se pueden agrupar por múltiples, los cuales en la disposición física, también están agrupados en uno o varios bloques sólidos intercomunicados, que reciben propiamente el nombre de múltiple.

En cada múltiple están montadas varias válvulas direccionales: Estas válvulas se emplean para dirigir el flujo de aceite a los diferentes componentes de la máquina. Muchas válvulas están controladas por solenoides que determinan la posición de la válvula en un determinado instante.

En este punto, recordemos cómo funciona el control por solenoide. Como ejemplo, tomemos a la válvula P-201 (en el múltiple de la bomba debajo del cilindro de empujar hacia adentro) (Imagen 5.5). Hay dos solenoides montados en esta válvula, el E y el RE. Si ninguno de los dos solenoides está energizado, está válvula queda en la posición del centro (o neutro). En el dibujo, esta es la manera en que la válvula está ilustrada. En esta condición, el flujo de aceite de la bomba de caudal variable está bloqueado de pasar por la válvula. Ambas lumbreras A y B están conectadas a la lumbrera T, la cual es la línea del depósito. (Imagen 5.6).

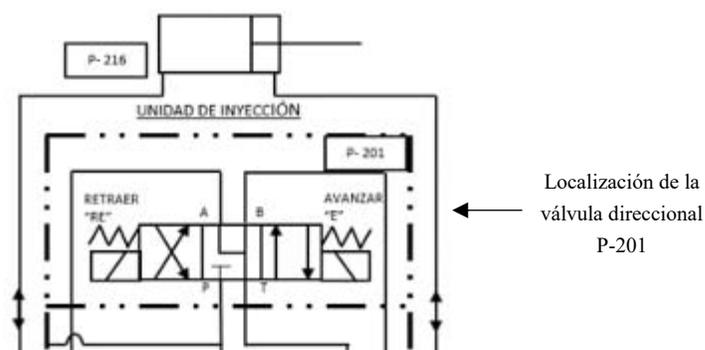


Imagen 5.5. Localización de la válvula direccional P201

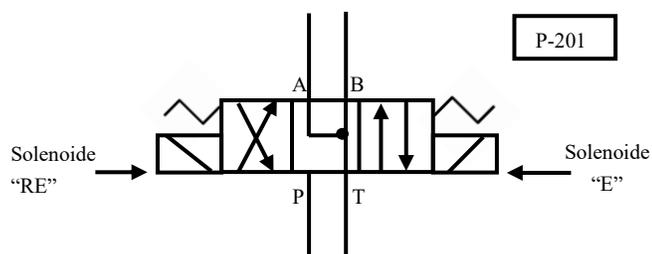


Imagen 5.6. Posición de centro neutro de la válvula debido a que no está energizado ningún solenoide.

Cuando el solenoide E está energizado, se puede visualizar que el solenoide empuja la válvula hacia la izquierda. Cuando ocurre esto, la ruta para el flujo de aceite cambia a las rutas de la

flecha recta. Esto quiere decir que la lumbrera P, que es la línea de presión, es conectada a la lumbrera A, y la Lumbrera B es conectada al depósito. (Imagen 5.7).

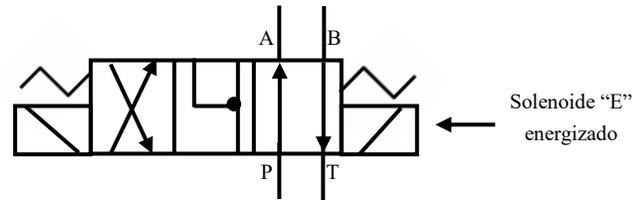


Imagen 5.7. Posición de trayectoria recta de la válvula debido a que está energizado el solenoide "E".

Si el solenoide E no está energizado, y el solenoide RE está energizado, la válvula ahora se traslada hacia la derecha. La ruta para el flujo del aceite ahora llega a ser la ruta de las flechas cruzadas. La lumbrera P ahora es conectada a la lumbrera B y la lumbrera A es conectada a la lumbrera T. (Imagen 5.8).

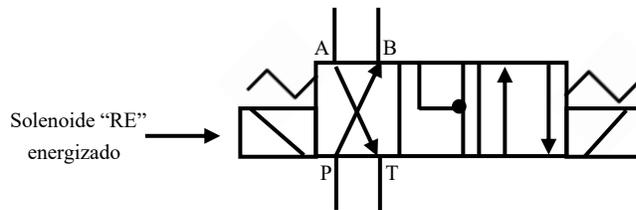


Imagen 5.8. Posición de trayectoria cruzada de la válvula debido a que está energizado el solenoide "RE".

En el desarrollo de un ciclo de proceso en la máquina de inyección se aplican las siguientes condiciones del sistema hidráulico:

Condiciones de la máquina

Podemos analizar, apoyándonos en los diagramas de hidráulico y de barras, las condiciones de la máquina para ver qué pasa hidráulicamente durante un ciclo típico de trabajo.

Cada ciclo de máquina comienza con la condición del cierre de la prensa que se puede denominar como "Cerrar prensa rápido". Si la máquina está funcionando en ciclo continuo, "Cerrar prensa rápido" comenzará cuando el temporizador de prensa abierta llega al fin de su ciclo. Si la máquina está funcionando en ciclo simple, "Cerrar prensa rápido" comenzará cuando el operador abre y cierra la compuerta frontal.

válvula P-105 lado ahora fluirá por las rutas de flechas cruzadas de P-103, y será dirigida al derecho de la válvula proporcional P-131, causando que esta válvula se traslade a la izquierda.

Ahora, el fluido hidráulico se dirige desde la lumbrera P a la lumbrera A por las rutas de las flechas rectas de P-131, y hacia al extremo cerrado del actuador de la prensa, esto ocasiona que la prensa se cierre. El aceite se descarga del extremo donde se encuentra el vástago del actuador de la prensa y fluye al depósito por la lumbrera B a la conexión de lumbrera T con la válvula P-131. El solenoide A está energizado por una señal procedente del PLC. (Imagen 5.9 Derecha).

Al energizarse el solenoide ASP, ubicado en el múltiple de la bomba, hará que la válvula P-206 se mueva a la izquierda. Con ello se activa la válvula de cierre y bloquea el flujo de aceite de la bomba de caudal variable al depósito. La acción anterior permite que el acumulador se cargue y también deja disponible el aceite para las funciones de la prensa, la inyección, el extrusor y los insertos. El acumulador se utiliza para asistir en las funciones de inyección. El solenoide ASP está energizado siempre que el motor eléctrico esté funcionando. (Imagen 5.10).

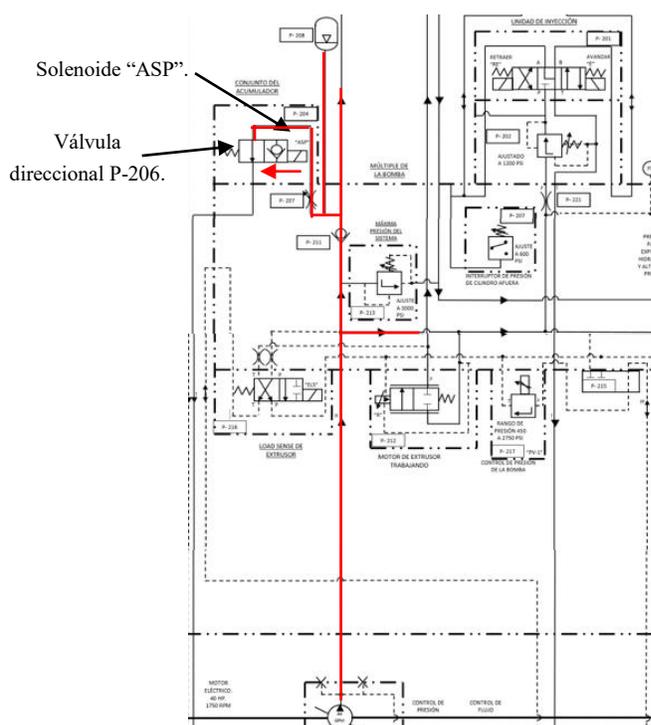


Imagen 5.10. Ruta de aceite al activarse el solenoide "ASP"

La activación del solenoide E, en el múltiple de la bomba, hace que la válvula direccional P-201 se mueva a la izquierda (Imagen 5.11). Esto dirige al fluido adentro del extremo de la parte cerrada del cilindro para empujar hacia adentro el trineo de inyección, con esto, la unidad de inyección se desplaza hacia adelante en preparación para la secuencia de inyección. El solenoide E está energizado por una señal de programa en PLC.

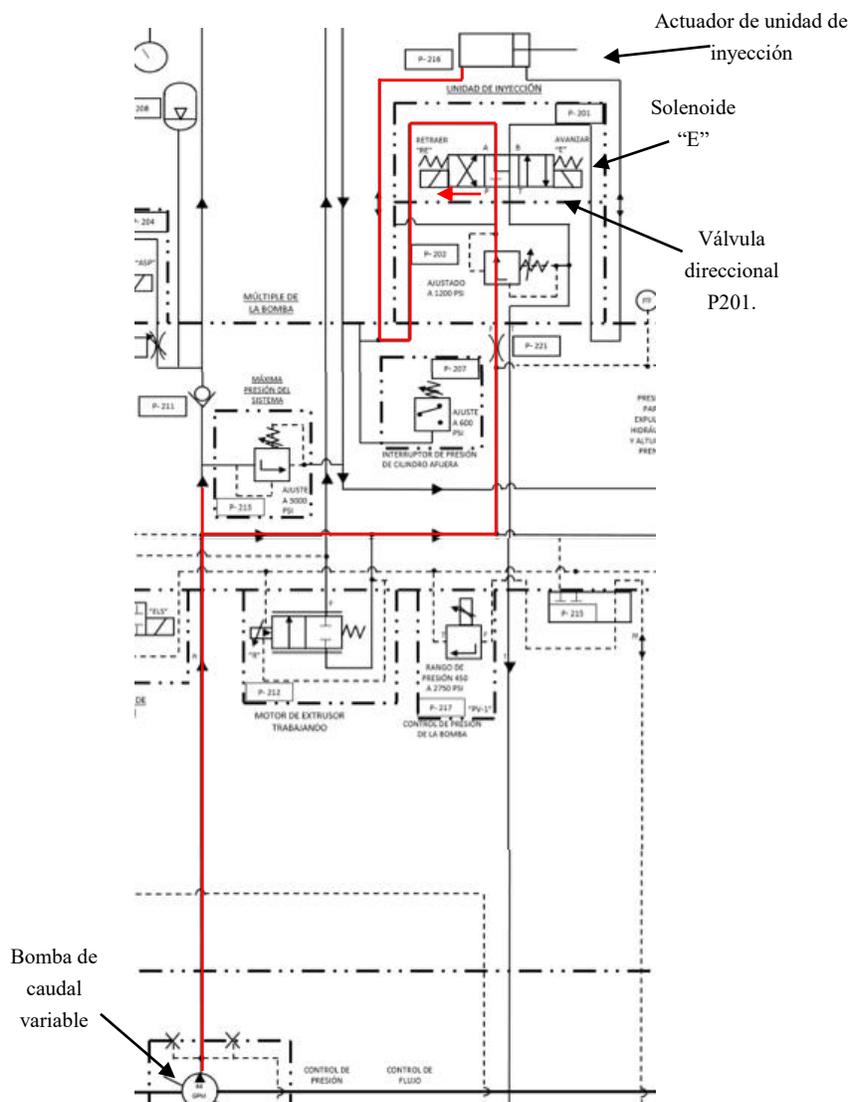


Imagen 5.11. Desplazamiento del cilindro por acción de válvula direccional P 201.

Con el solenoide PV-1 energizado (Imagen 5.13), en el múltiple de la bomba, se establece una presión de funcionamiento para la válvula de seguridad proporcional P-217. La presión de funcionamiento de P-217, establece la presión piloto que se aplica a la cámara de la válvula de control de la presión P-916, ubicada en el conjunto de la bomba de caudal variable (load sensing). La válvula P-916 controla la carrera de la bomba de caudal variable P-901. Si la presión en la línea de salida de la bomba de caudal variable es demasiado baja, la carrera de la bomba se aumenta. Si la presión es demasiado alta, la carrera de la bomba se disminuye. Por consiguiente, la señal aplicada al solenoide PV-1 determina la presión de funcionamiento de la bomba de caudal variable. Este tipo de control es necesario porque se utiliza la bomba para administrar aceite para varias funciones de la máquina, el cual requiere una amplia gama de presiones de funcionamiento. El solenoide PV-1 se activa por una señal del PLC.

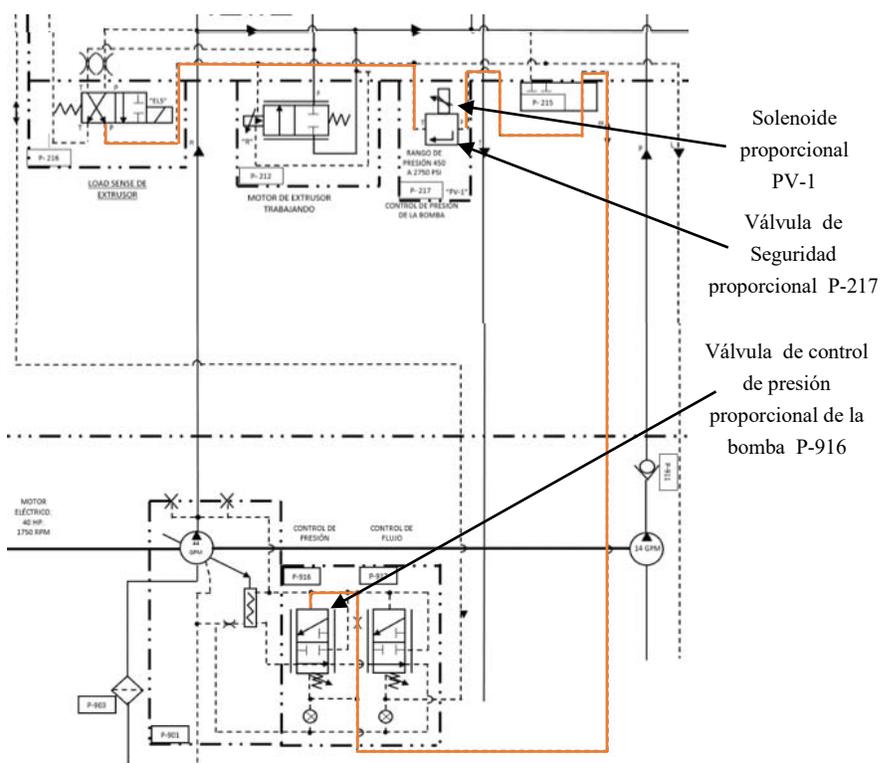


Imagen 5.13. Accionamiento de solenoide PV-1 para control de la bomba de caudal variable.

La segunda condición de la máquina, es cuando la prensa al cerrar, cambia la velocidad para evitar llegar con fuerza excesiva al punto donde las dos secciones del molde deben de hacer contacto para formar la cavidad. Esta condición se denomina “Protección de Molde”.

Esta condición comienza cuando la platina móvil alcanza la posición de ajuste de cierre lento. Los solenoides energizados durante esta condición de máquina son: el A, el ASP, el C, el E, el JO y el PV-1 (Imagen 5.14).

Esta condición de la máquina, es básicamente la misma que la condición que se denomina condición N° 1, sólo que la prensa está cerrando a presión y velocidad diferente.

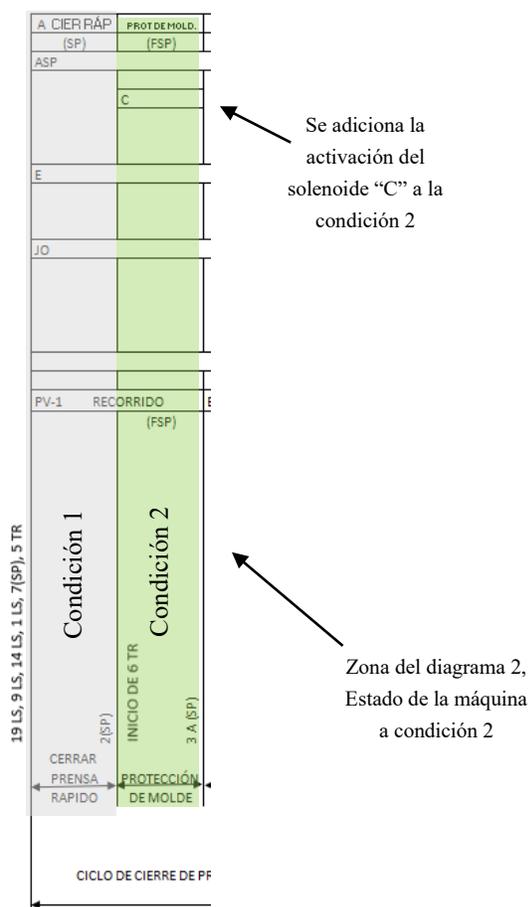


Imagen 5.14. Vista de la condición de máquina y sección de diagrama de barras 1 y 2.

La velocidad es un ajuste establecido por cada fabricante. Ésta, no es posible que pueda ser modificada por el operador. La presión es controlada por una válvula reductora de presión C-106 ajustable por el usuario. Esta presión debe estar puesta suficientemente baja para permitir una protección adecuada para el molde en caso de que algún obstáculo quede atorado entre las mitades del molde.

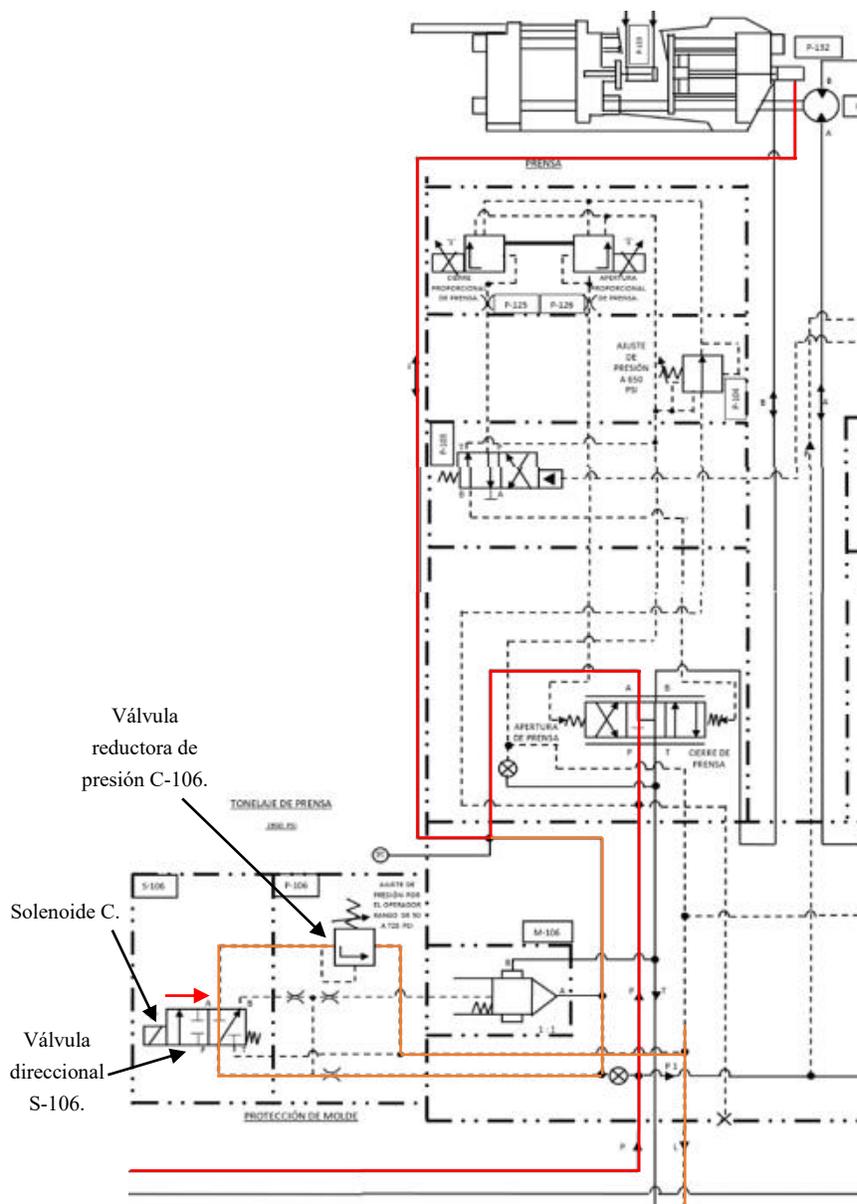


Imagen 5.15. Control para ajustar la presión de protección del cierre de prensa.

La activación del solenoide C, que está ubicado en el múltiple de la prensa, provoca que el carrito de la válvula direccional S-106 se mueva a la derecha. Esto permite que la presión en el circuito de cierre de la prensa sea comparada en el lado de entrada de la válvula de seguridad C-106. Así, esta válvula de seguridad controla la presión máxima en el circuito de cierre de la prensa durante esta condición de la máquina (Imagen 5.15).

La condición N°3, es “Levantar tonelaje”. Esta condición de la máquina comienza al alcanzar la posición de ajuste cerrado. Los solenoides activados en ese momento son: el A, el ASP, el E, el JO, y el PV-1.

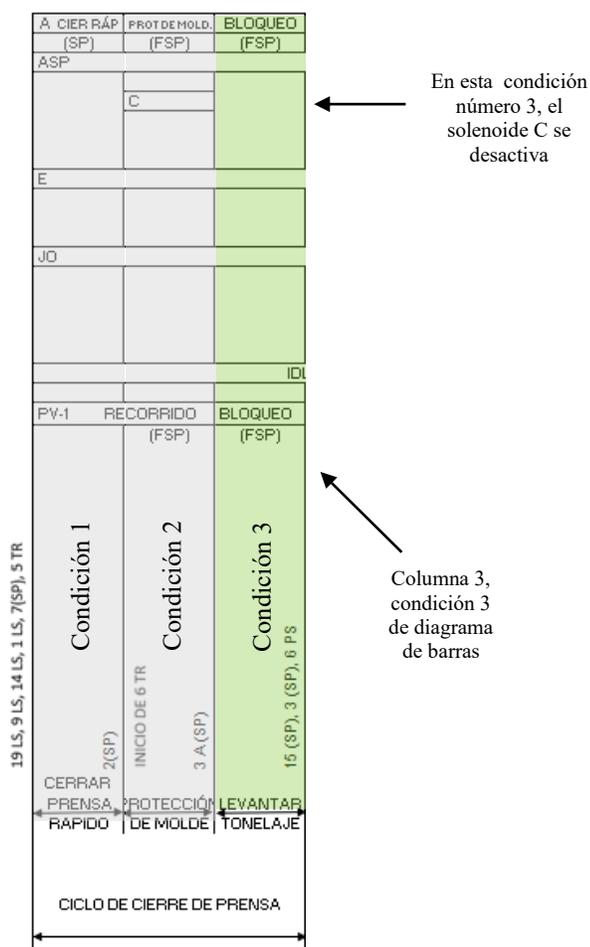


Imagen 5.16. Vista de la condición de máquina y sección de diagrama de barras 1, 2 y 3

El estado inactivo del solenoide C, aísla la válvula de seguridad de presión C-106 del circuito de cierre de la prensa. Esto quiere decir que C-106 ya no controla la presión máxima de cierre para la prensa. Por eso se permite cerrar la prensa a alta presión hasta que el sistema articulado de la rodillera se trava. En este punto, el tonelaje comienza a desarrollarse.

La condición N°4 es la “desarrollo de los perfiles de inyección o inyección alta”, comienza cuando se llega a la posición de ajuste del bloqueo mecánico de la rodillera. Los solenoides energizados durante esta condición de la máquina son: El ASP, el E, el JO, y el PV-1 y el J (El solenoide J se denomina de esta manera para identificarlo cuando la válvula a la que está asociado realiza los movimientos de la función de inyección. Es un solo solenoide de una servo válvula. Cuando cambia su recorrido para que la misma servo válvula realice la función de dosificación, se le denomina solenoide M. Solenoide J y M son un solo solenoide proporcional de una servo válvula).

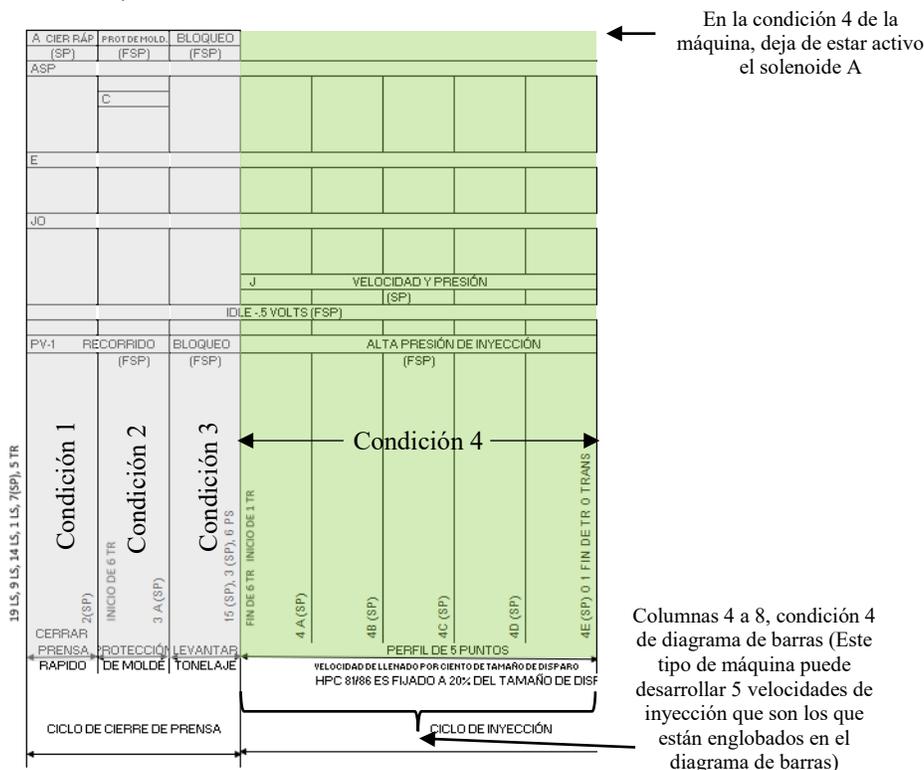


Imagen 5.17. Vista de la condición de máquina y sección de diagrama de barras 1, 2, 3 y 4.

Cuando el solenoide A no está energizado se elimina la ruta del aceite al actuador de la prensa. La prensa se mantiene cerrada por la traba mecánica de la rodillera (Imagen 5.18).

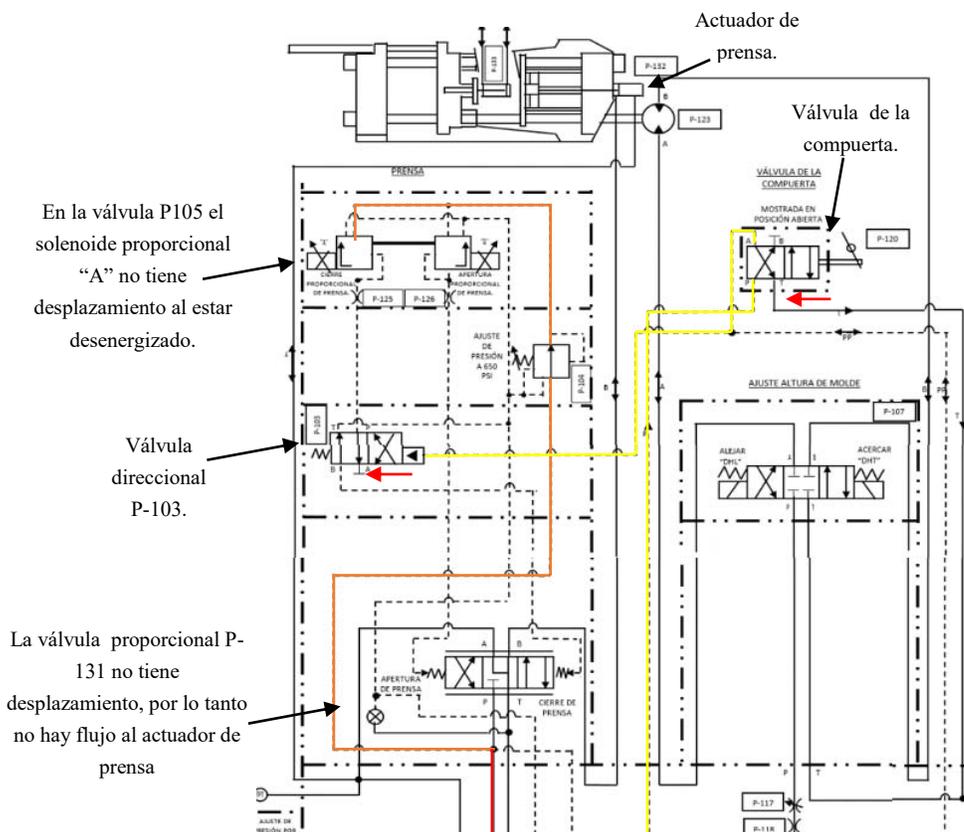


Imagen 5.18. Aun cuando la válvula de compuerta y la direccional P-103 están activas, si la válvula 105 no se desplaza, la 131 no tiene desplazamiento y no hay paso de aceite al actuador de prensa.

El solenoide J, en el múltiple de inyección activado, provoca que la válvula pilotada proporcional P-225 se desplace a la izquierda, dirigiendo el aceite por la ruta de las flechas rectas hasta la lumbrera B de la válvula P-224. Debido a que el solenoide JO está también activo en este momento, el aceite continuará su flujo por la válvula P-224 y entonces será dirigido al lado derecho de la válvula direccional proporcional P-232. Esta válvula ahora se trasladará a la izquierda y el aceite será dirigido por la ruta de las flechas rectas en el extremo de los cilindros de inyección que tienen vástago. El husillo de inyección será empujado hacia adelante, forzando material en el molde. El aceite descargado del extremo sin vástago de los dos actuadores de

El solenoide J es parte de una válvula de servomando, también es usado para controlar la presión que se aplica a los actuadores de inyección durante el proceso de inyección alta, la inyección apisonada y de sostener la inyección. Cuando se alcanza la posición de ajuste de presión apropiada, la válvula pilotada por la bobina (P-225) se traslada hacia la posición del centro. Con la regeneración del sistema de mando, ambas bobinas buscarán una posición que mantendrá la presión apropiada en los actuadores de inyección.

La condición 5 es la “inyección apisonada o empaque de inyección”. Comienza cuando se alcanza el punto de transferencia. La secuencia de inyección puede ser transferida desde inyección alta a inyección apisonada por uno de tres métodos:

- Posición del husillo.
- Presión hidráulica.
- Tiempo.

Los solenoides energizados en este momento son: el ASP, el E, el JO, el J y el PV-1. (Imagen 5.19).

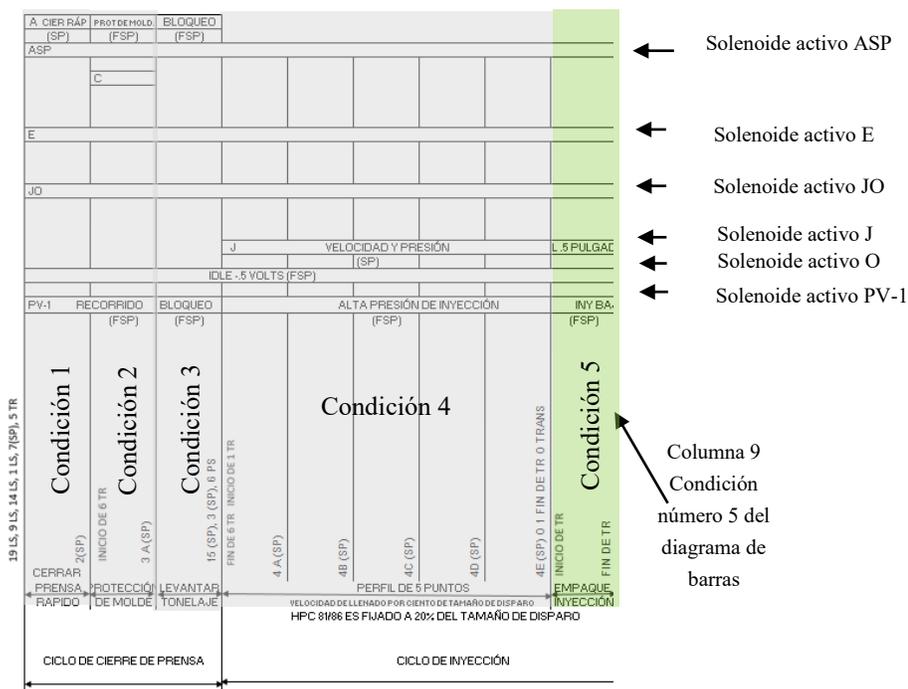


Imagen 5.20. Vista de la condición de máquina y sección de diagrama de barras 1, 2, 3, 4 y 5

Esta condición de la máquina es básicamente la misma como la condición de la máquina número 4, solo que la velocidad y la presión empleadas en el avance del husillo son diferentes. La velocidad se fija a ½ pulgada por segundo, esto es 12.7 centímetros por segundo. El operador puede ajustar la presión desde el panel de control.

La condición número 6 que se refiere a “Sostenimiento de inyección o Mantener Inyección”, comienza cuando el temporizador de apisonar o empaque llega al fin de su ciclo. Los solenoides activados durante esta condición de la máquina son: el ASP, el E, eL JO, el J y el PV-1. (Imagen 5.21).

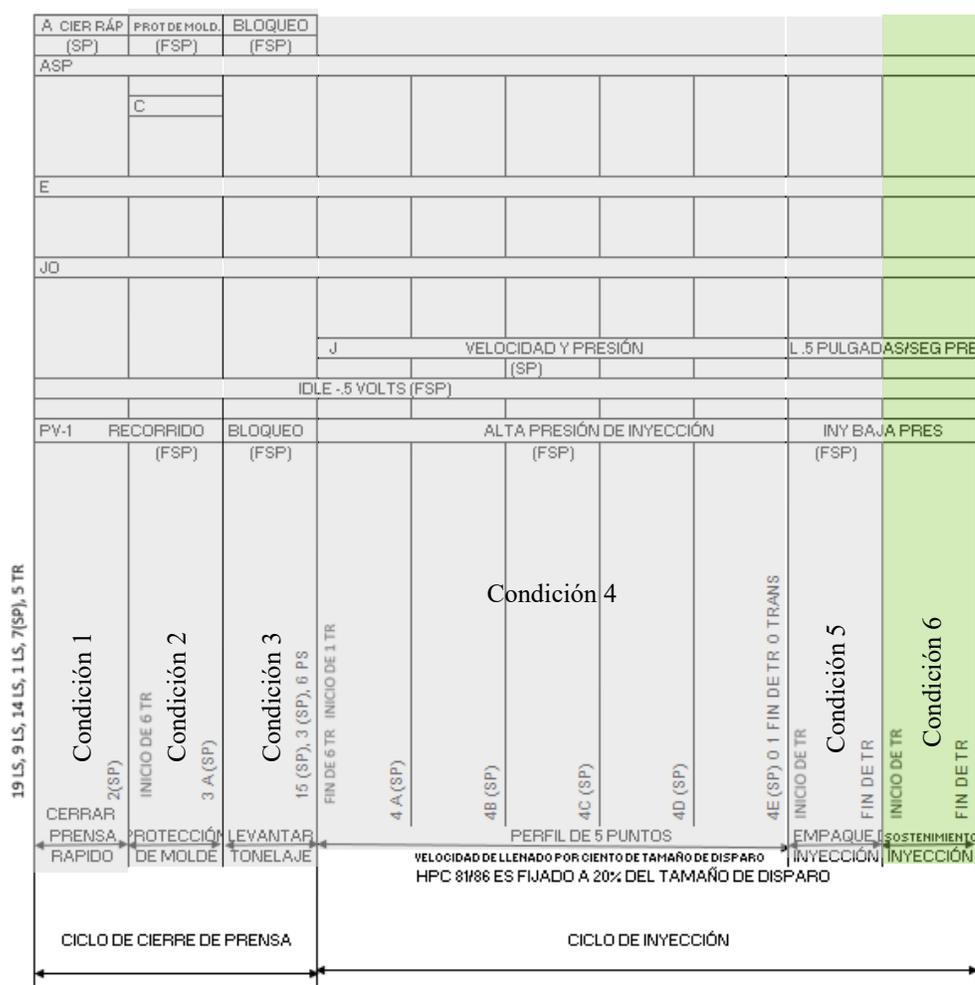


Imagen 5.21. Vista de la condición de máquina y sección de diagrama de barras 1 a 6.

La condición de sostener inyección es idéntica a Inyección Apisonada, solo que la presión que se aplica a los actuadores de inyección es distinta. El operador puede ajustar esta presión también desde el panel de control.

La condición número 7 es “Extrusor trabajando”. “Extrusor trabajando” y “Descompresión de masa fundida” se efectúan durante el tiempo de enfriamiento de la pieza que acaba de ser producida (Imagen 5.22).

“Extrusor trabajando” comienza cuando el temporizador de retener llega al fin de su ciclo. Los solenoides excitados en esta condición son: el ASP, el E, el ELS, el JO, el LT (si está seleccionado), el J, el O y el PV-1.

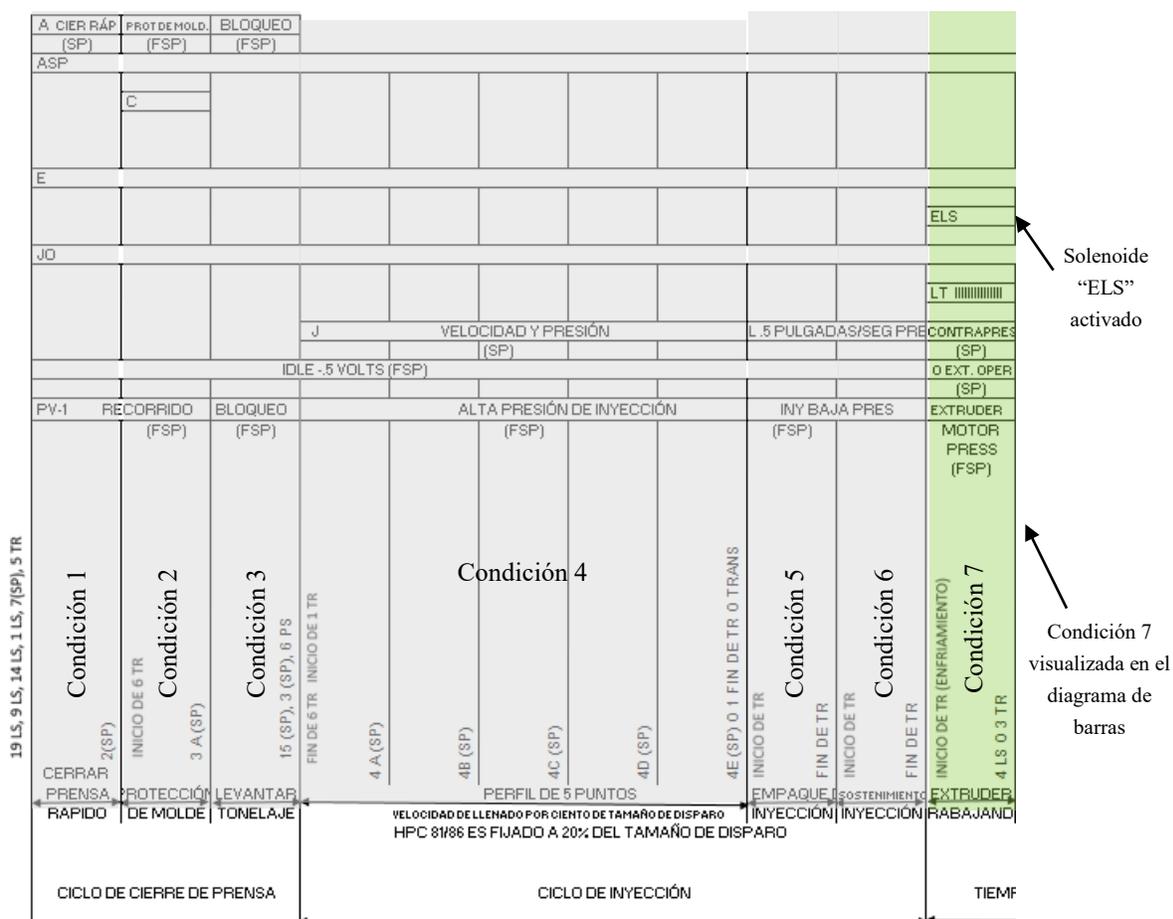


Imagen 5.22. Vista de la condición de máquina y sección de diagrama de barras 1 a 7.

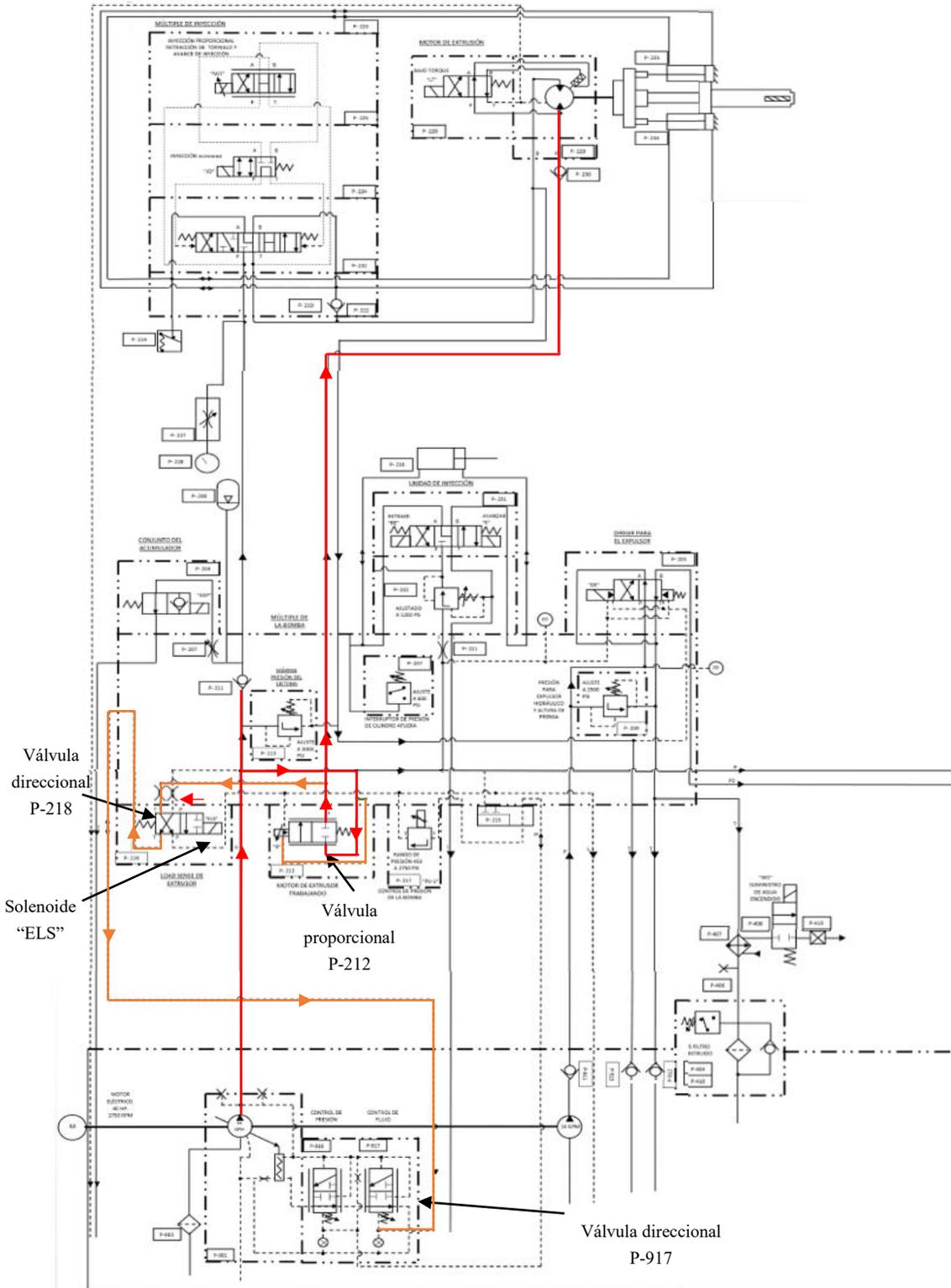


Imagen 5.23. Compensador de flujo del control load sensing trabajando en conjunto con válvula de control de flujo proporcional para asegurar la presión constante en el motor hidráulico.

La excitación del solenoide ELS, ubicado en el múltiple de la bomba, causará que la válvula direccional P-218 se mueva hacia la izquierda. Esto permite que el compensador de flujo P-917, en el conjunto de la bomba de caudal variable, se sienta la presión que se emplea para girar el motor del extrusor. Debido a que el otro extremo del compensador de flujo continuamente siente la presión en la salida de la bomba de caudal variable, el compensador es ahora en paralelo con la válvula proporcional P-212 (P- 212 es la válvula que controla el flujo de aceite en el motor del extrusor). El compensador de flujo es ajustable para proporcionar una diferencia de presión constante de 200 PSI a través de la válvula. Por eso una diferencia de presión constante de 200 PSI será mantenida a través de la válvula P-212. Con una diferencia de presión constante, un volumen constante de aceite fluirá por la válvula P-212 y en el motor del extrusor. Esto previene las fluctuaciones en RPM del motor del extrusor que podrían, de otro modo, ser causadas por las variaciones de presión del sistema. El solenoide ELS está energizado por una señal de PLC. (Imagen 5.23).

La activación del solenoide LT, en el motor del extrusor, causa que la válvula direccional P-220 se mueva a la derecha. Esto dirige el aceite en el extremo cerrado del actuador de control. Cuando el vástago del actuador se extiende, se provoca un bloqueo de dos de las cinco lumbreras en el motor del extrusor. Lo anterior hace funcionar el motor del extrusor en un modo de alta velocidad y bajo torque. El solenoide LT está excitado por una señal del PLC. Imagen 5.24.

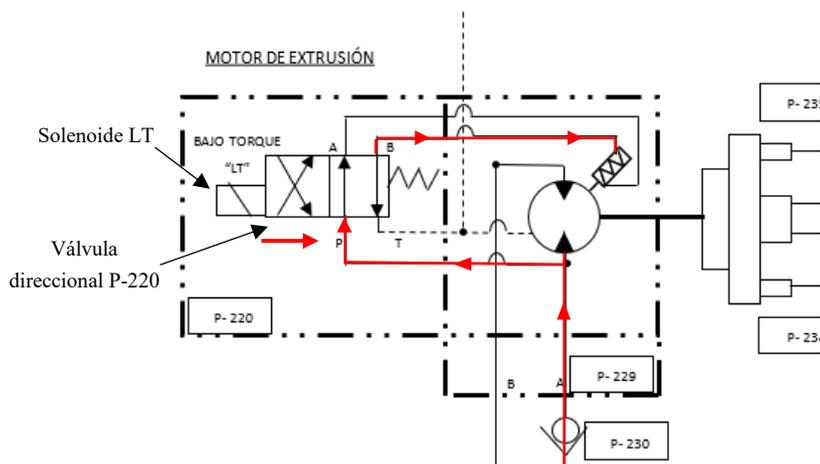


Imagen 5.24. Variación de velocidad y torque del motor hidráulico

La activación del solenoide O, genera que la válvula proporcional P-212, que está en el múltiple de la bomba, se mueva a la derecha, permitiendo que el aceite de la bomba de caudal variable fluya por la válvula y entre en el motor del extrusor. Con ello se realiza la rotación del motor del extrusor, que en su turno hace girar el husillo de inyección dentro del cilindro. A medida que el husillo gira, el mismo alimenta el material desde la tolva hasta entrar en el cilindro caliente. El husillo obliga que esta materia plastificada baje al cilindro hasta entrar en la zona delantera del mismo husillo. A medida que esta cantidad de material se acumula, el husillo será empujado hacia atrás por la presión que resulta. El solenoide O está activado por una señal del PLC. Imagen 5.23.

Aun cuando el husillo se mueve hacia atrás, el solenoide J queda energizado durante esta condición de la máquina para crear una contrapresión en los actuadores de inyección. Esta contrapresión crea cizallamiento en el material, logrando una mejor plastificación. Es necesario tener en cuenta que, si el ajuste de la contrapresión es demasiado bajo, el material no se plastificará bien, mientras que si el ajuste de la contrapresión es demasiado alto, puede afectar el tiempo de ciclo. En casos extremos, la contrapresión puede impedir el retroceso del husillo y dar como resultado una dosis insuficiente de material.

La condición número 8, es la “Descompresión de la masa fundida”, Esta condición comienza cuando se alcanza la posición de ajuste de tamaño de disparo. Sin embargo, si esta posición de ajuste no se alcanza antes de que termine el tiempo de enfriamiento, entonces la descompresión de la masa fundida comenzará antes de que el temporizador de enfriar haya llegado al fin de su ciclo. Los solenoides excitados durante la descompresión de la masa fundida son: el ASP, el E, el JO, el M y el PV-1. Imagen 5.25.

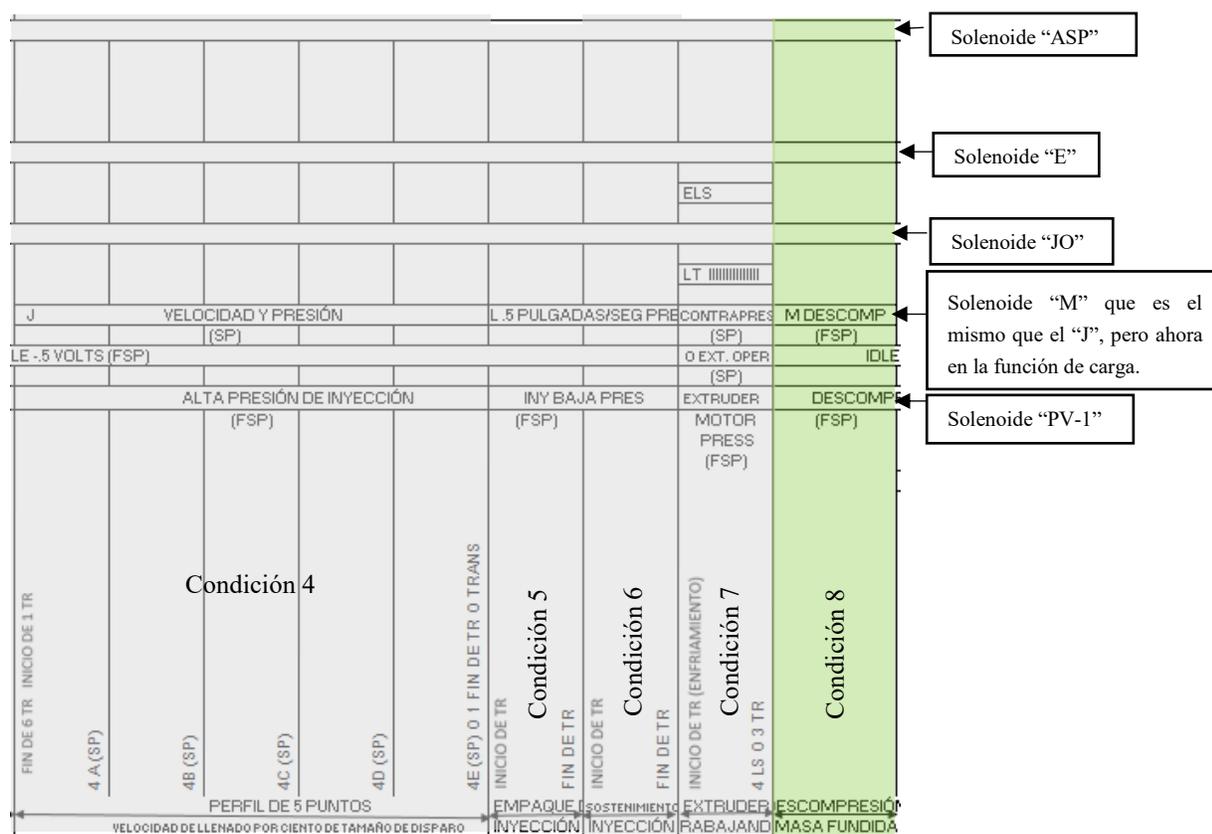


Imagen 5.25. Vista de la condición de máquina y sección de diagrama de barras 4 a 8.

La activación del solenoide M, en el múltiple de inyección, hace que la válvula pilotada proporcional P-225 se mueva a la derecha. Con ello, el aceite piloto es dirigido por la ruta de las flechas cruzadas en dicha válvula, pasa a través de la válvula P-224, que está activa y se dirige finalmente al lado izquierdo de la válvula direccional P-232. La línea principal del fluido es dirigida ahora por la ruta de las flechas cruzadas de la bobina principal P-232 y entra en el

extremo cerrado de los actuadores de inyección. Esto mueve al husillo de inyección hacia atrás y descomprime el material en el cilindro. El aceite descargado del extremo con vástago de los actuadores de inyección fluye al depósito por la válvula de bobina principal. Ahora se puede abrir el molde sin que el plástico gotee de la boquilla de inyección. El solenoide M está excitado por una señal del PLC.

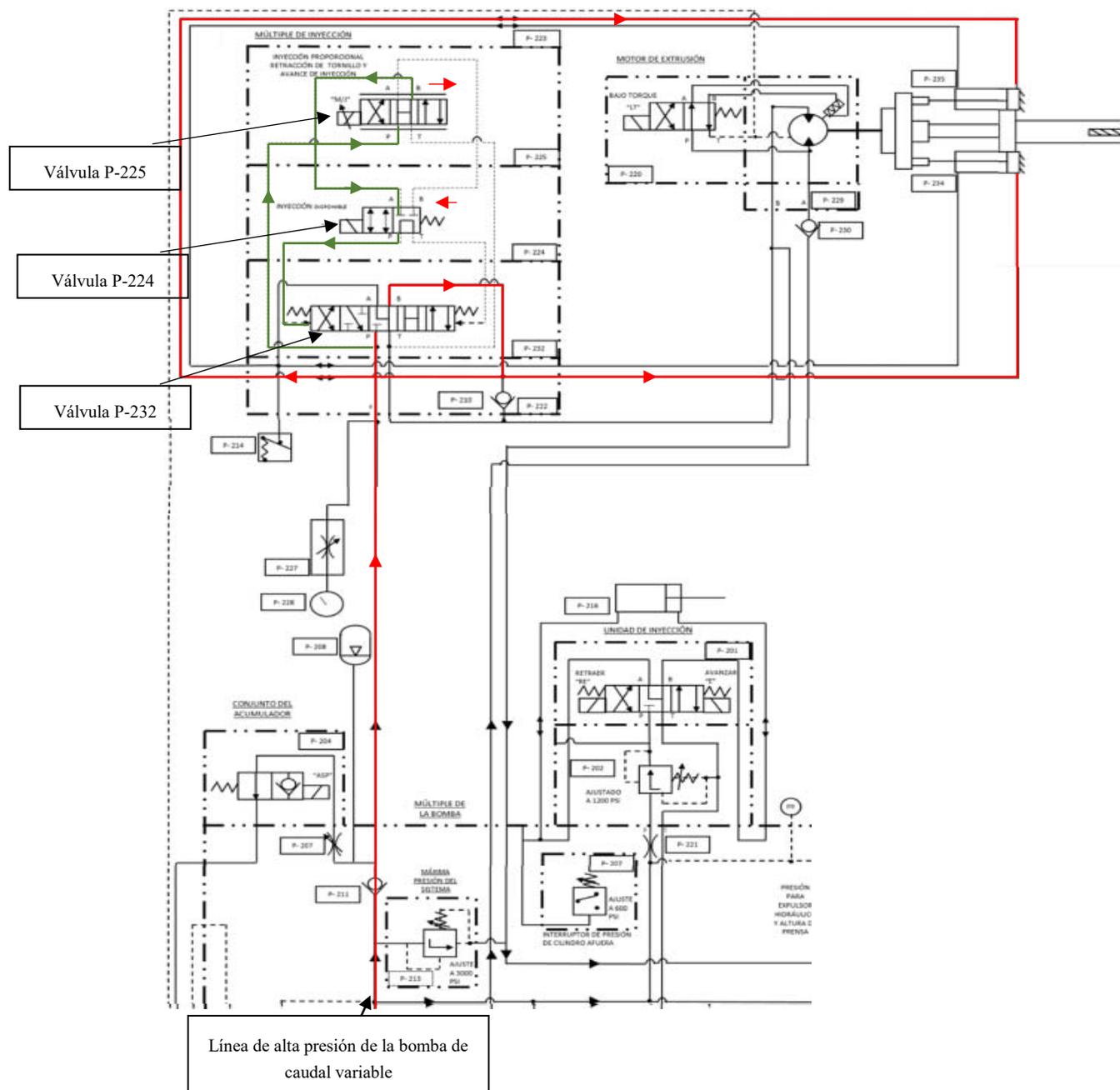


Imagen 5.26. Circuito hidráulico para el retroceso de husillo.

Si la opción de quebrar colada está activa, esto ocurrirá inmediatamente después de la descompresión de la masa fundida. Se ejecuta quebrar colada por medio de activar el solenoide RE en el múltiple de la bomba. La excitación de este solenoide provoca que la válvula direccional P-201 se mueva hacia la derecha y con ello se logra que el aceite entre en el extremo del actuador que tiene vástago y de impulso para el trineo de inyección, el cual mueve toda la unidad de inyección hacia atrás, fuera de la zona de contacto de boquilla. El solenoide RE está excitado por una señal del PLC. Imagen 5.27.

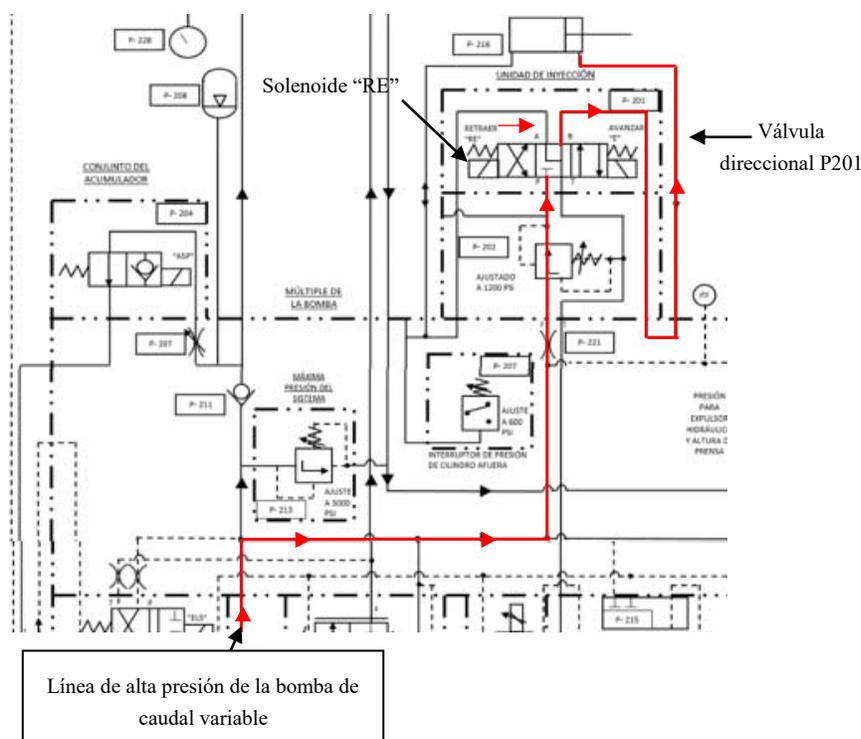


Imagen 5.27. Recorrido hidráulico para desplazar el trineo de inyección cuando está activa la opción de quebrar colada.

Si quebrar colada no está activada, el solenoide E quedará activado. Con lo que se permitirá que la unidad de inyección se quede adelante durante la secuencia de apertura de prensa.

La condición número 9 es “Separación de prensa”. Comienza cuando se alcanza la posición de ajuste de “Dist Descomp” y el temporizador de enfriar ha llegado al fin de su ciclo. Los

solenoides excitados en este momento son: el ASP, el E, el JO, el PV-1 y el Q. Imagen 5.27.

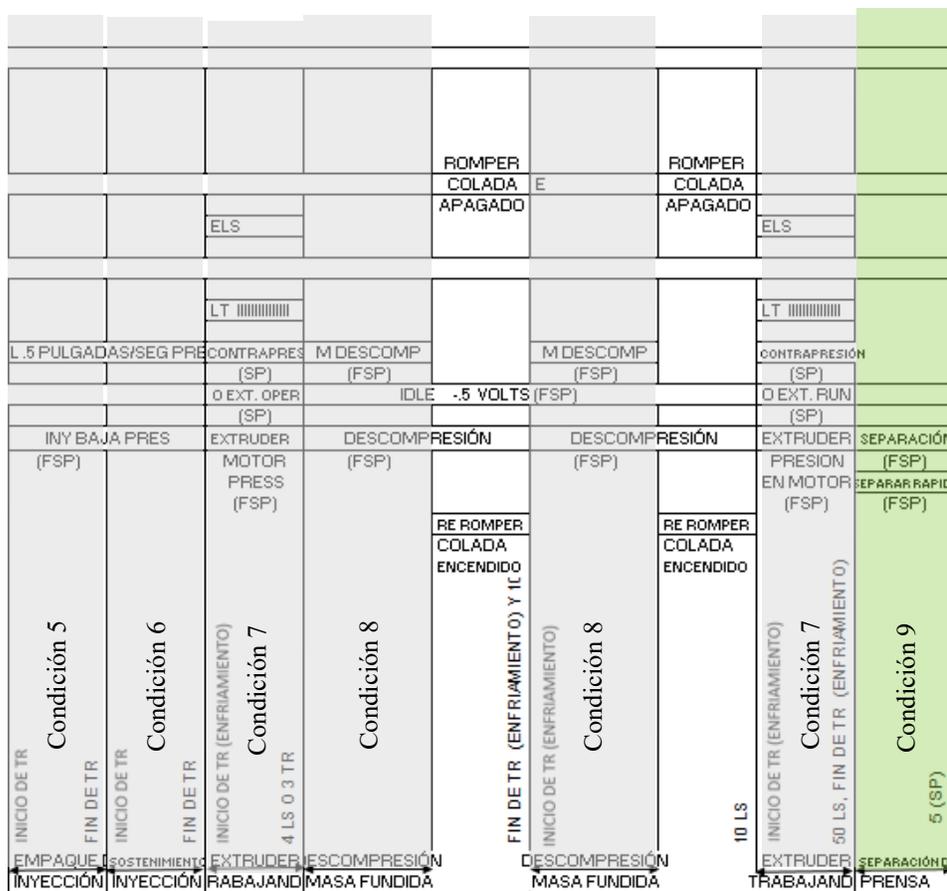


Imagen 5.28. Condición 9 de la máquina, zonas 9,10 y 11 del diagrama de barras.

La excitación del solenoide Q, en el múltiple de la prensa, activa a la válvula proporcional P-105 para que el carrito se mueva a la izquierda. La acción descrita dirige el aceite piloto al lado izquierdo de la válvula direccional proporcional P-131, obligándola a mover su carrito hacia la derecha. Esto dirige el flujo de aceite para que entre en el extremo con vástago del actuador de la prensa, lo cual hace que la prensa se abra. El operador puede ajustar la velocidad de apertura de prensa. Esta velocidad debe ser ajustada suficientemente baja para no dañar las piezas que se acaban de producir. El solenoide Q está excitado por una señal del PLC. Imagen 5.29.

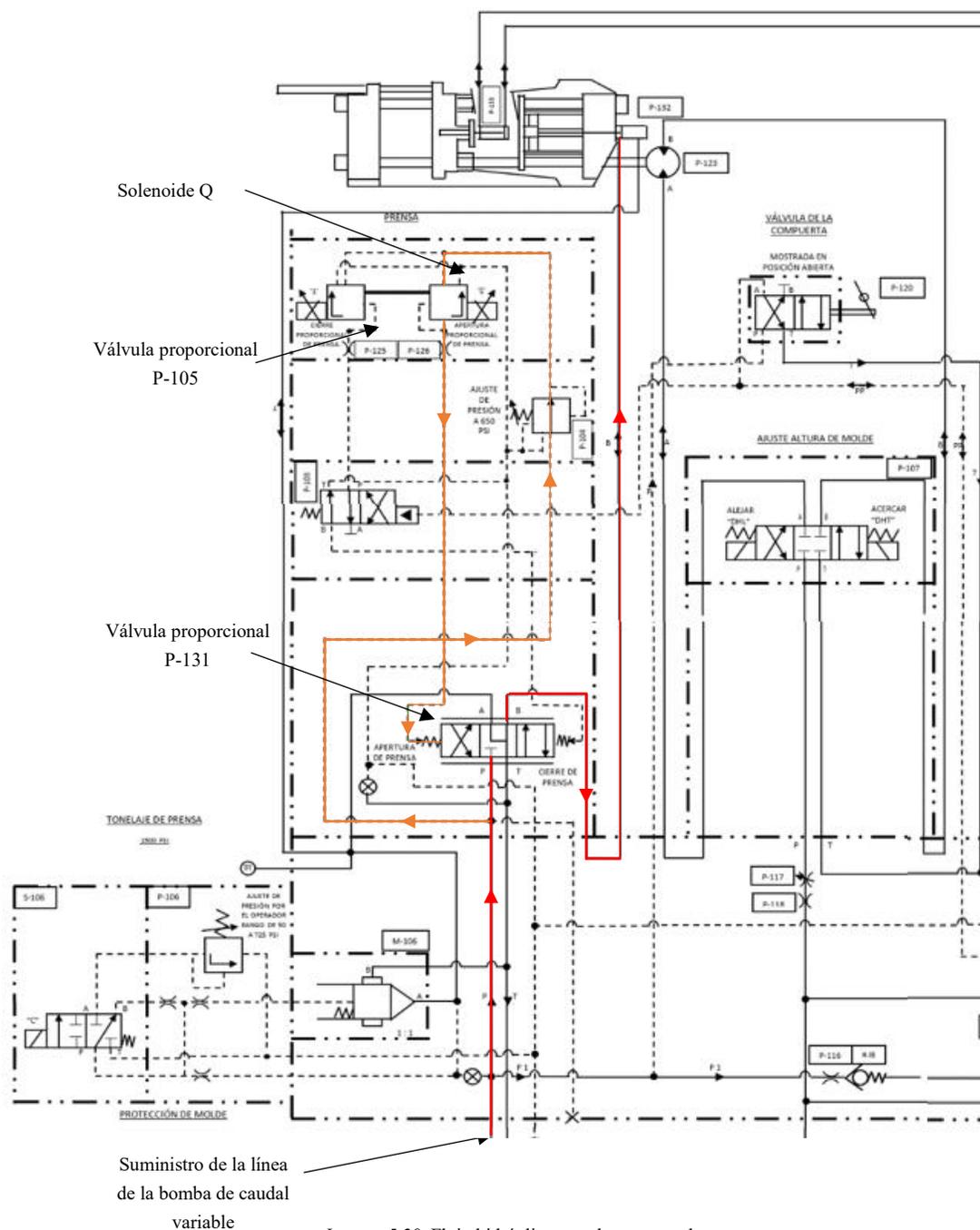


Imagen 5.29. Flujo hidráulico para la apertura de prensa

La condición de la máquina número 10, es la “Apertura de prensa rápida”, esta comienza cuando la prensa alcanza la posición de ajuste de Abrir Rápido. Los solenoides excitados durante esta condición de la máquina son: el ASP, el E, el JO, el PV-1, y el Q.

Durante esta condición, se aumenta el volumen de aceite que fluye en el actuador de la prensa. Esto, en su turno, aumenta la velocidad de la apertura de la prensa.

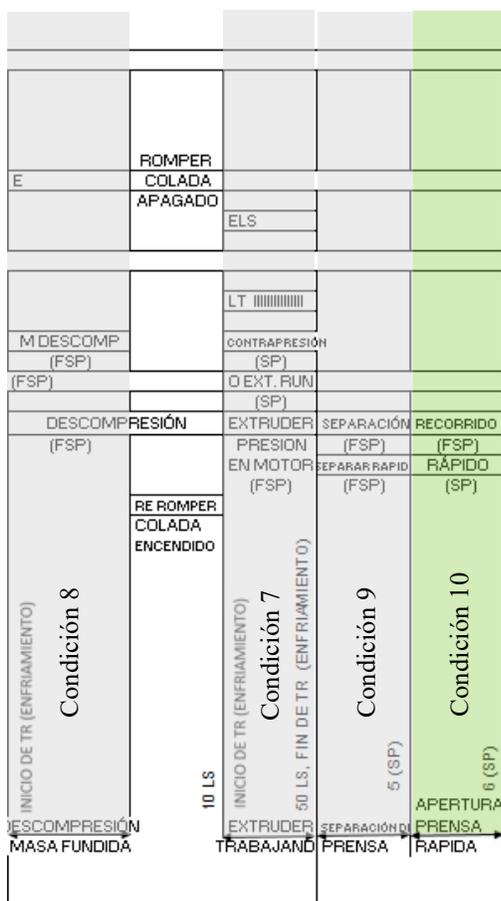


Imagen 5.30. Condición 10 de la máquina, zona 12 del diagrama de barras.

La condición número 11 es “Apertura de prensa lenta”. Esta comienza cuando la prensa alcanza la posición de ajuste de Abrir Lento. Los solenoides activados en este momento son los mismos que los excitados durante la condición de la máquina anterior. Estos son: el ASP, el E, el JO, y el Q.

Esta condición de la máquina, es similar a la anterior, solo varía en que la velocidad de apertura de la prensa se reduce a un valor ajustado por el fabricante, por consiguiente, no puede ser ajustada por quien opera la máquina.

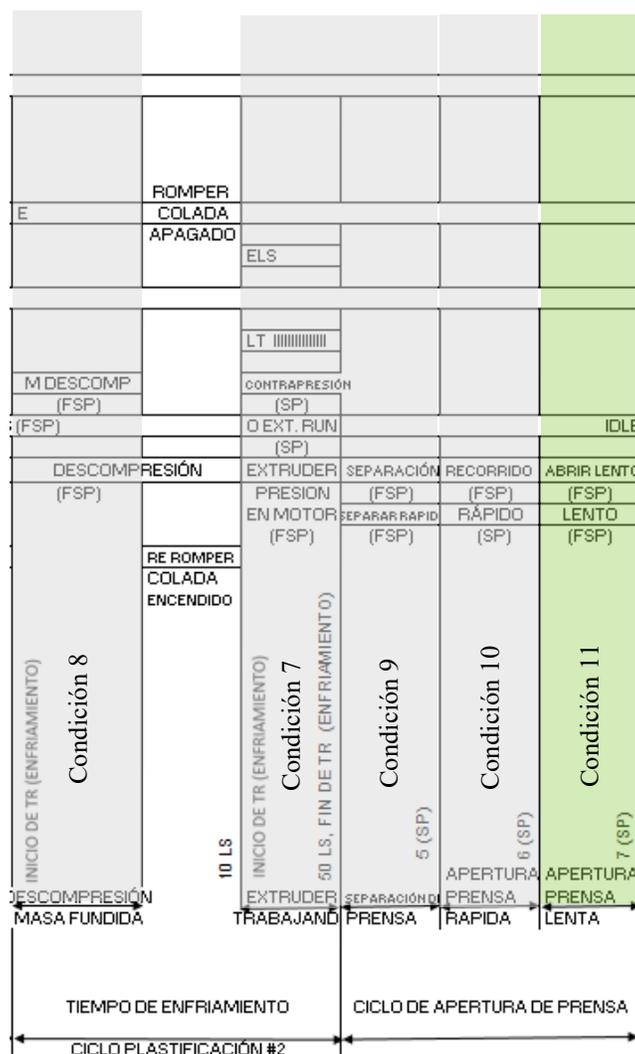


Imagen 5.31. Condición 11 de la máquina, zona 13 del diagrama de barras.

El ciclo de la máquina está completo cuando la prensa alcanza la posición de ajuste de límite de apertura. Si la maquina funciona en ciclo continuo, un nuevo ciclo comenzará cuando el temporizador de prensa abierta llega al fin de su ciclo. Si la máquina está funcionando en ciclo simple, un nuevo ciclo comenzará cuando el operador abra y cierre la compuerta frontal.

A las máquinas, se les puede adicionar otras funciones, que se ejecutan dentro del ciclo de las condiciones antes descritas. Casos específicos son por ejemplo La Expulsión Hidráulica y la función de Insertos.

La Expulsión Hidráulica se ejecuta mientras que la prensa se retire en el ciclo simple o en el ciclo continuo, en ese momento se alcanzara la posición de ajuste de inicio de expulsión. Esto dará energía a los solenoides DE y X.

La excitación del solenoide DE, en el múltiple de la bomba, traslada la válvula direccional P-205 hacia la derecha y permite que el aceite fluya de la bomba de desplazamiento fijo P-902 al circuito de eyección hidráulica (Imagen 5.32 superior).

La excitación del solenoide X traslada la válvula direccional P-127 a la izquierda. Esto dirige el aceite al extremo cerrado del cilindro de eyección, causando que la placa de eyección se mueva hacia adelante. La velocidad del movimiento hacia adelante del eyector se controla por medio de la válvula de control de flujo, P-112. La placa de eyección continuará su movimiento hacia adelante hasta alcanzar la posición de ajuste de Carrera Adelante. El aceite descargado del extremo con vástago del actuador de eyección va al depósito por la válvula direccional P-127.

Al excitar el solenoide XA, la placa de eyección se retira. Esto dirige el aceite al lado del vástago del actuador de expulsión, causando que la placa retroceda.

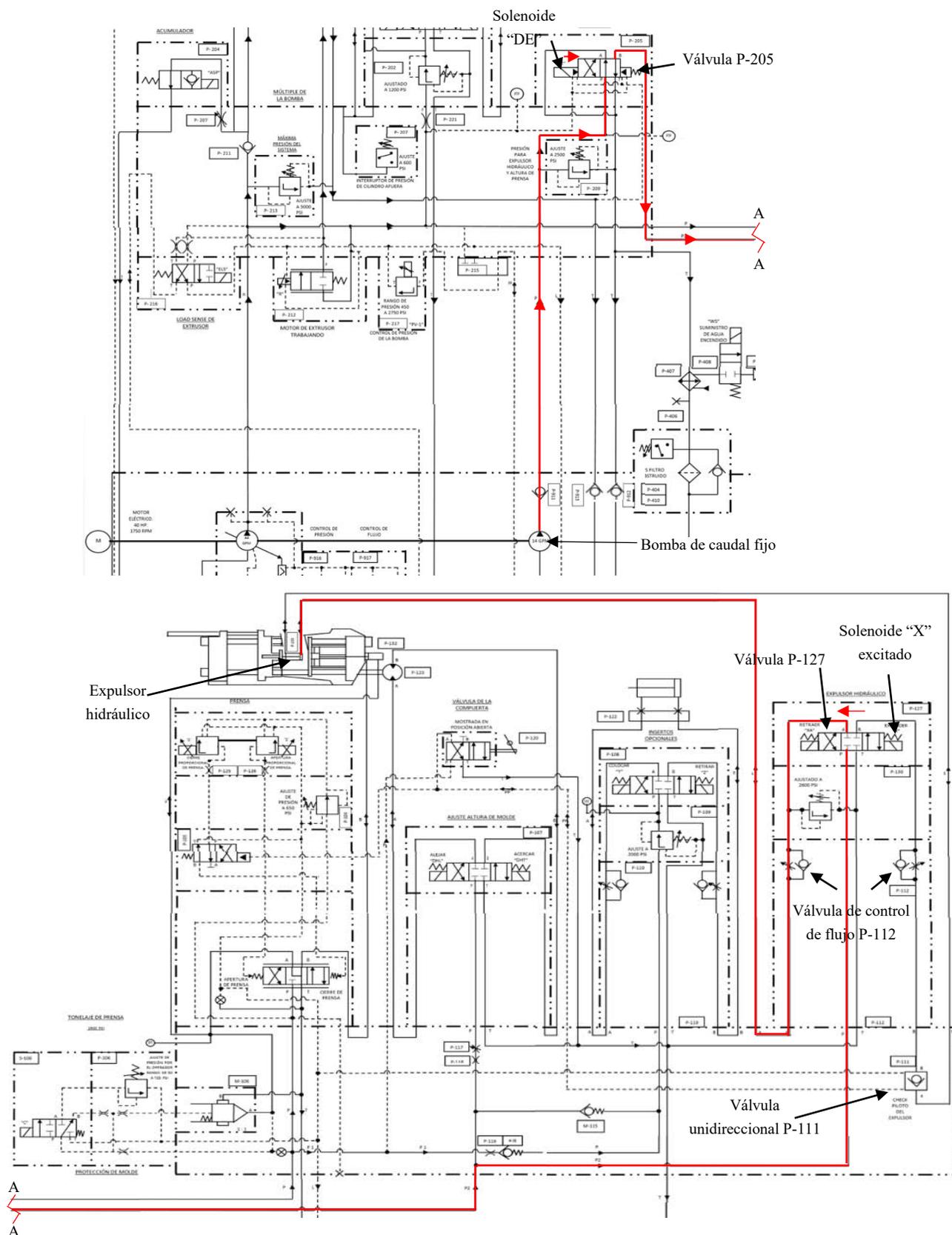


Imagen 5.32. (Superior) Circuito de la activación de flujo de bomba de caudal fijo. (Inferior) Circuito de válvulas de control de expulsor.

La válvula P-111 es una válvula de cierre actuada por pilotaje. Si la compuerta frontal está abierta, el mecanismo de eyección no puede retirarse.

La otra función opcional es la de los Insertos, también conocidos como Noyos o Corazones. Estas son formas de la pieza moldeada, que para su formación requieren que cuando el molde está cerrado, se active el mecanismo hidráulico correspondiente y desplace un elemento interno que se mantendrá expuesto durante la inyección de material para formar una sección del diseño de la pieza. Una vez solidificada y antes de la apertura del molde el mecanismo hidráulico debe retirarse para evitar daño en el molde al quedar expuestos durante la apertura.

La secuencia de esta función comenzará cuando se alcance la posición de colocar insertos. Esto causará la excitación de los solenoides DE e Y. La activación del solenoide DE causará que la válvula direccional P-205 se mueva a la derecha, así haciendo disponible el aceite al circuito de los insertos (Imagen 5.32 superior). Entonces este aceite fluye por la válvula reductora de presión P-109.

El excitar el solenoide Y causará que la válvula direccional P-108 se mueva a la derecha. Esto dirige el aceite al extremo cerrado de los actuadores de insertos, colocándolos dentro del molde (extender el actuador).

Cuando se alcanza la posición de ajuste de retirar inserto, el solenoide Z estará excitado. Con esto hará se trasladará el carrete de la válvula P-108 a la izquierda y el fluido hidráulico se dirigirá al extremo con vástago del actuador de insertos, retirándolos del molde antes de su apertura.

6.- Servicios a la máquina de inyección de plásticos.

Todo tipo de maquina por su funcionamiento sufre desgaste, este es debido, por ejemplo, a algunas de las siguientes situaciones:

- Fricción por el movimiento entre los elementos que la componen.
- Fatiga a la que están expuestos los componentes por el tiempo de trabajo.
- Los empaques de acuerdo a su función en la máquina tienen deterioro de sus características de fabricación, debido a la compresión y expansión, contacto con materiales abrasivos, así como por influencia del calentamiento al que pueden estar sometidos en situaciones extremas.
- La degradación de los fluidos por diversos motivos tales como la contaminación y el calentamiento.

Lo anterior, repercute en el óptimo funcionamiento de la máquina y es necesario realizar un conjunto de acciones para lograr que la máquina no pierda sus características y funcionalidad. Éste conjunto de acciones es el mantenimiento.

El mantenimiento se realiza, básicamente, a través de dos formas de aplicación que son:

- El mantenimiento preventivo, el cual está enfocado a limpiar, lubricar, analizar, detectar elementos que comienzan a presentar desgaste, cambiar elementos que llegan a un periodo de trabajo indicado. La mayoría de estas acciones se realizan cuando la máquina está fuera de operación o en apego a un programa para evitar un paro no programado por la presencia de una falla.
- El mantenimiento correctivo, el cual se aplica cuando la máquina ha sufrido un desperfecto, el cual es necesario corregir para que la misma máquina continúe en operación.

Ampliando un poco más el concepto, se expone lo siguiente.

6.1 Mantenimiento preventivo

Los fabricantes de máquinas de inyección, dan un programa de mantenimiento mínimo para lo que es la parte hidráulica de la máquina. Este se basa en horas de servicio o de funcionamiento. No obstante, con el paso del tiempo, debido a las demandas de producción de las empresas propietarias de las máquinas, es muy fácil, que los programas de mantenimiento no se cumplan o se vayan postergando llegando a perder la secuencia del programa sugerido.

De ninguna manera es adecuado postergar un servicio de mantenimiento sugerido. En esta situación se ponen en riesgo componentes del sistema que si llegan a sufrir algún daño será necesario invertir una cantidad considerable de dinero para reemplazarlos, además del tiempo de paro de producción por la necesidad de un mantenimiento correctivo para el cambio de la pieza o elemento dañado.

El primer elemento que debe monitorearse de forma regular, incluso se puede decir que diariamente y en cada turno de producción, es el aceite. Se debe monitorear que tenga una temperatura de trabajo adecuada, que no exista posibilidad de contaminación del mismo y no haya fugas que afecten al sistema por no cumplirse el nivel mínimo para el funcionamiento de la máquina.

El aceite, es desde cualquier ángulo que se analice, el elemento fundamental en un programa de mantenimiento preventivo al sistema hidráulico. Aún, cuando las acciones que se realizan, impliquen dar servicio a los diferentes componentes del sistema, también es la limpieza y el cuidado que se tiene con el aceite, lo que garantiza que un mantenimiento al sistema hidráulico de una máquina dé los beneficios esperados.

Después del aceite serán los empaques los elementos que más rápido se pueden dañar.

Un mantenimiento preventivo se puede hacer de dos formas.

Una de ellas es la revisión preventiva a los siguientes elementos:

- Bomba hidráulica.
- Intercambiador de calor.
- Filtros.
- Inspección de mangueras.
- Detectar fugas en líneas o ensambles.
- Detectar fugas en actuadores.
- Medir la presión del gas del acumulador.
- Medir las presiones del sistema

A la bomba hidráulica se le debe desmontar del motor eléctrico y realizar una revisión del acoplamiento. No debe haber desgaste en las cuñas, estriado o detectarse excedentes metálicos en exceso en la misma zona del acoplamiento.



Imagen 6.1. Izquierda, flecha estriada de bomba hidráulica. Derecha, alojamiento de acoplamiento estriado desgastado. (Imágenes tomadas de <https://yocuidomiequipo.wordpress.com/2018/11/05/desgaste-eje-estriado-bomba-hidraulica-caja-multiplicadora/> para fines educativos).

Deberá aplicarse también una limpieza al intercambiador de calor para eliminar sarro e incrustaciones que hagan perder la eficiencia de la transferencia del calor del aceite al agua por los fluxes.

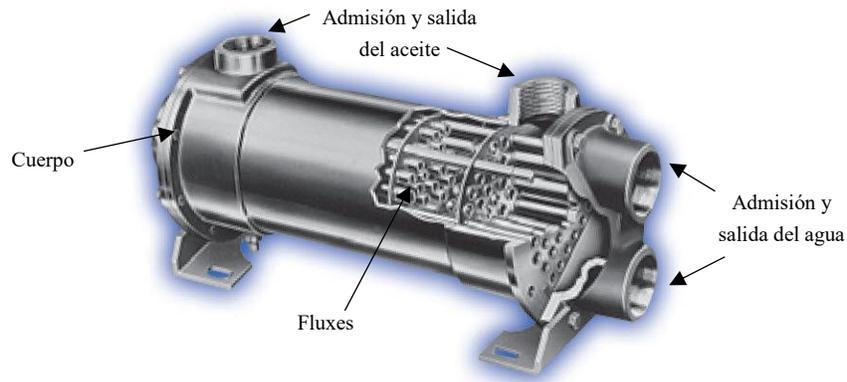


Imagen 6.2. Vista seccional de un intercambiador de calor tubular para enfriamiento de aceite. (Imagen tomada de <https://sensoricx.com/mediciones-e-instrumentacion/conexion-de-un-transmisor-de-temperatura/> para fines educativos)

Es altamente recomendable el cambio de filtros de succión y descarga.

La inspección visual de las mangueras del sistema es necesaria para evitar que estas presenten indicios de daño y sean propensas a sufrir rupturas durante la operación de la máquina.

La limpieza de la máquina, permitirá la detección de fugas del fluido hidráulico en las líneas, en los actuadores y en ensambles de válvulas. Es recomendable realizar las reparaciones inmediatas para evitar la pérdida de fluido hidráulico lo cual es un gasto económico, un riesgo para el personal y una posibilidad remota de falla de la máquina, salvo que sea excesiva la fuga.

Si la máquina está equipada con acumulador, revisar la presión de carga del gas. Cada fabricante sugiere la carga de gas.

La medición de las presiones en el sistema, nos ayudara a saber que las válvulas de control en el sistema están funcionando adecuadamente. Esta medición se debe realizar en los puntos de prueba que tiene la máquina y compararlos contra la lectura que indica el manual que debe existir en el mencionado punto.

Existen también los diales de prueba que con una perilla selectora cambia la conexión mediante un arreglo para que con un solo manómetro y sin desconexión se muestre la lectura de diferentes puntos de prueba.

El segundo tipo es el mantenimiento preventivo de servicio completo, denominado en inglés, overhaul.

Este segundo tipo de mantenimiento, implica, el desensamble de todos los múltiples, limpieza de los componentes de la bomba hidráulica para inspección visual y si es necesario realizar una revisión dimensional, cambio de empaques, cambio de mangueras, limpieza del tanque hidráulico, servicio a los acumuladores, carga de nitrógeno al acumulador, cambio de aceite o limpieza por filtrado y recirculación, limpieza y revisión de los carretes de válvulas direccionales. Si la empresa dueña de la máquina de inyección de plásticos, cuenta con equipos de prueba para la bomba hidráulica, estas pruebas se deben de realizar y verificar que se cumplan los parámetros de diseño, gasto de la bomba, mantener la presión de trabajo, etc.

También es recomendable que las válvulas que son cargadas a resorte, sean revisadas y los resortes probados en lo que respecta a brío o calibración a la que están diseñados

¿Cómo se realiza?

Asegurada la máquina en paro y con sus candados de seguridad, se procede a drenar el fluido hidráulico del tanque.

El aceite hidráulico deberá filtrarse al extraerse del tanque, en el mercado existen un sinnúmero de equipos y sistemas diseñados para tal fin. Una vez filtrado el aceite puede almacenarse en contenedores limpios, si se tiene la intención de volver a reutilizarlo. Es recomendable que se hagan pruebas de laboratorio para verificar las propiedades del fluido y detectar sedimentos que puedan indicar desgaste de algún dispositivo del sistema hidráulico.

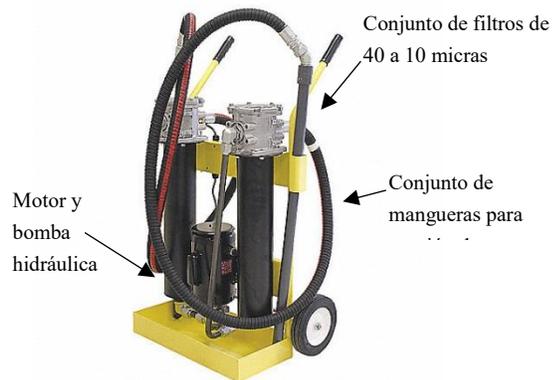


Imagen 6.3 Unidad de extracción y filtrado de aceite del sistema hidráulico de la máquina (Imagen tomada de <https://www.grainger.com.mx/producto/PARKER-Crito-p-Fltrs-d-Aceite-Hdr%C3%A1ulco%2C10A/p/1XPW9> para fines educativos).

Los contenedores con el aceite filtrado, deben de almacenarse en lugares secos y limpiarse muy bien cuando para evitar contaminarlo cuando el aceite que contienen vaya a ser reutilizado.

El motor o motores eléctricos y las bombas hidráulicas, se desmontan de su base. Es recomendable marcar todas las conexiones de control y de fuerza, independientemente de tener a pie de máquina el manual de servicio, para que en su momento, la reinstalación sea rápida y sin errores.

- Se desacoplan válvulas de múltiples y actuadores de sus bases
- Se desacoplan múltiples y filtros
- Se desensambla el sistema del acumulador hidráulico.
- Se hace el desacople de mangueras
- Se desmonta el intercambiador de calor
- Se realiza limpieza del tanque con solvente de preferencia solvente dieléctrico.
- Se realiza el lavado de las piezas desmontadas, así como de los múltiples
- Se realiza desensamble y lavado de válvulas para revisión de carretes y partes internas del cuerpo de válvula. Preferentemente, la válvula deberá rearmarse posterior al lavado por el riesgo

de extravío o ralladura accidental de los carretes. En el rearmado, los empaques y respaldos de teflón que tengan algunos tipos de válvulas, deberán reemplazarse.

A algunos tipos de válvulas, solo con equipo específico se le puede dar servicio

Es recomendable que el personal asignado al servicio de mantenimiento tenga pleno conocimiento del funcionamiento y suficiente experiencia en la manipulación y ajuste de los componentes hidráulicos, por la complejidad que implica la calibración de algunos modelos de válvulas.

Al motor o motores eléctricos que impulsan las bombas, se aprovecha este mantenimiento para también darle servicio de limpieza, barnizado, cambio de rodamientos y prueba de megger, no obstante, este servicio es labor de un especialista eléctrico.

A la bomba hidráulica, posterior a la limpieza, se le realizará la revisión visual y dimensional del acoplamiento. Personal capacitado con equipo de prueba adecuado, debe realizar el desarmado completo de la bomba para inspección visual y revisión tanto dimensional como operativa de los componentes internos. De no contar con personal capacitado y con el banco de prueba, la bomba se debe enviar a un centro de servicio del fabricante, con la finalidad ya mencionada. Desafortunadamente, pocas empresas pueden invertir en la capacitación de su personal y en la compra de equipos necesarios para realizar los considerados “mantenimientos mayores” de los sistemas que conforman parte de su maquinaria de proceso.

Asegurado el cambio de piezas desgastas o con tiempo de servicio cumplido y con las pruebas de presión realizadas, la bomba ensamblada, queda disponible para su montaje.



Imagen 6.4. Banco de pruebas para elementos hidráulicos. (Imagen tomada de <http://www.kolben.es/servicios-hidraulica/bancos-de-prueba/> para fines educativos).

El tanque de fluido hidráulico, una vez drenado, deberá limpiarse incluida la placa deflectora con trapo y solvente de rápida evaporación. Ya limpio, se sellará temporalmente para evitar contaminación.

Es recomendable el cambio de o'rings ya que son elementos que por la presión a la que están sometidos y en ocasiones a temperaturas inadecuadas pierden parte de sus características de servicio. Estos empaques que mayormente están elaborados del elastómero nitrilo, si por alguna razón son reutilizados, no deben de lavarse con solventes agresivos ya que pierden aun más sus propiedades quedando inutilizables.

Los múltiples, desacoplados de sus bases, y sin los cuerpos de válvulas, deberán lavarse con solvente y asegurar que no tengan residuos o incrustaciones en las lumbreras que llevan conexión a válvula. Estos dispositivos, también deberán sellarse en cuanto se concluya su limpieza.

Los actuadores que se puedan mover a bancos de trabajo, se desarmen en dicho lugar para revisar y descartar desgaste en los émbolos, revisar por inspección, si es posible con líquidos penetrantes la base de los vástagos y realizar el cambio de empaques. Los actuadores que por

tamaño no sea posible su manipulación debajo de la máquina, se realizara el servicio en la misma.

Se pueden realizar pruebas al actuador en bancos de prueba diseñados para este fin. En ellos, se inspecciona, que no haya fugas externas y son sometidos a carga por cierto tiempo, para descartar fugas internas.



Imagen 6.5. Prueba de actuadores lineales. (Imagen tomada de Prueba de cilindro hidráulico de #vagonedecaña – www.rindustriales.com <https://www.youtube.com/watch?v=jh4b8BA37PE> para fines educativos.

Se realizará el cambio de los filtros de succión y descarga, esta actividad puede ser simultánea a la limpieza del tanque.

El acumulador hidráulico, deberá desarmarse y extraerse la vejiga, la cual deberá lavarse y posteriormente inspeccionarse. El contenedor, también deberá ser lavado y una vez limpio, reintegrar la vejiga.

Una vez montado en el sistema, deberá cargarse con nitrógeno para que la vejiga se autoajuste dentro del contenedor y liberarse el gas. Finalmente deberá cargarse a la presión indicada por el fabricante.



1



2



3



4

Imagen. 6.6. Servicio a acumulador hidráulico (1) Una vez descargado el gas de la vejiga, se procede a retirar el conjunto de la válvula de aceite (2) Retirado el sello o anillo partido, se puede extraer la vejiga. (3) Se realiza limpieza y se inserta una nueva vejiga si es necesario el reemplazo por el hueco que queda. (4) Cuando se ha acoplado la nueva vejiga se carga con gas de acuerdo a la presión indicada por el fabricante. (Imagen tomada de <http://oleohidraulica.hydrindustry.com/recomendaciones-y-parametros-de-trabajo-para-acumuladores-oleohidraulicos/> para fines educativos.

Deberá realizarse una inspección de las mangueras en las cuales se revisará que no haya fisuras, agrietamiento o desgaste en el cuerpo y entramado. Si existe cualquiera, implicará el cambio del elemento.



Imagen 6.7. Emsamble de manguera dañado por exposición a alta temperatura y colocación con un dobles inadecuado. (Imagen tomada de <http://www.confiumaq.cl/index.php?mostrar=submenu&ver=14> para fines educativos)

El intercambiador de calor, no es una pieza irrelevante. Si no existe este elemento, o deja de funcionar, el aceite inmediatamente, comenzará a incrementar la temperatura, provocándole degradación, fallas de la máquina, fugas del líquido hidráulico, movimientos erróneos de los actuadores, degradación permanente de los empaques. Si existe la protección por alta temperatura del líquido hidráulico, la máquina va a detener su proceso. Si no existe la protección contra alta temperatura del aceite, el sistema hidráulico y la máquina van a tener seguramente una descompostura lo cual puede ser un daño en la bomba, por alta temperatura, dejará de ser eficiente la lubricación por la degradación del aceite, daños a actuadores, daños a sellos y empaques, etc.

Por lo que se comenta, es necesario que el intercambiador de calor se someta a revisión para evitar taponamiento de los fluxes en caso de que el agua de la planta donde está instalada la máquina no tenga agua tratada para reducir las incrustaciones y sedimentos en el intercambiador.



Imagen 6.8. A la izquierda, fluxes de un intercambiador completamente saturado de impurezas, a la derecha, un intercambiador con los fluxes óptimos y limpios para realizar su función. (Imagen tomada de <https://english.hydroflowcaribe.com/tecnologia/depositos/> para fines educativos)

Una vez realizada la limpieza de los componentes hidráulicos, revisados dimensionalmente y reemplazados los elementos necesarios, se procede a ser reensamblados y realizar pruebas operacionales de puesta a punto, lo que involucra la calibración de algunos elementos y verificación de la presión en los puntos de prueba para cotejarlos con el manual del fabricante.

Son recomendables las inspecciones diarias en una máquina y hay programas que elaboran las empresas para dar las inspecciones y realizar cambios calculados por el tiempo de vida útil de un elemento o de acuerdo a las experiencias de cada cuanto según el tipo de instalación y tiempo de trabajo se detectan fallas que llevan a planear el mantenimiento.

El aceite hidráulico es una condición necesaria de monitorear para evitar muchas fallas o condiciones en las que se tiene que aplicar un mantenimiento correctivo al mencionado sistema hidráulico. Por lo anterior es necesario cumplir y observar los siguientes puntos que son medidas preventivas.

El cambio de aceite. Este es recomendable, solo cuando se tiene la certeza por análisis en laboratorio de la condición del mismo para descartar degradación, contaminación o agotamiento de los aditivos.

El cambio de filtros es otro punto importante. Ya se ha mencionado sobre las impurezas que puede adquirir el aceite o ser generadas al degradarse, por lo cual, el cambio debe de realizarse en el tiempo adecuado, tanto para evitar el gasto innecesario en reemplazos prematuros, así como para evitar que la saturación del filtro implique que la válvula bypass se active permitiendo el paso de partículas que pueden dañar elementos de control y a mediano plazo impliquen cambios de piezas más caras que los filtros.

El olvidar abrir una válvula de agua fría para el funcionamiento del intercambiador de calor implicará que la máquina trabaje con temperatura de aceite elevada hasta que se active la protección contra alta temperatura del aceite. Cada calentamiento del aceite arriba de un rango apropiado tiene como resultado degradación y daños a empaques, mangueras y elementos susceptibles de falla por alta temperatura. Por consiguiente, dentro de las inspecciones diarias o rutinarias debe verificarse la apertura de las válvulas de agua para el intercambiador de calor y

tener presente el monitoreo de la temperatura del aceite tanto por la señal digital en el panel de control de la máquina, como por la lectura directa en los termómetros instalados en el tanque.

La temperatura del aceite debe oscilar entre 40 y 50° C por debajo de esta temperatura, puede haber una viscosidad alta que provoque fallas de operación de algunos elementos y arriba de la temperatura indicada, se ira presentando degradación, hacerse el aceite delgado o con muy poca viscosidad lo que provocará la falla de lubricación de los elementos hidráulicos y de igual manera se pueden hacer presentes daños al sistema.

Todo fabricante da un plan sugerido de mantenimiento preventivo, el cual, sumado a la experiencia del personal de una empresa dan un mejor plan enfocado a mejorar el tiempo de vida del sistema hidráulico de una máquina.

6.2 Mantenimiento correctivo.

Es una cantidad diversa y grande de situaciones que pueden provocar fallas en el sistema hidráulico de una máquina de inyección.

A diferencia de las pruebas que se hacen en los mantenimientos rigurosos y en tiempo al sistema hidráulico de una aeronave, por ejemplo; muchas empresas que se dedican a la transformación del plástico no invierten en los equipos necesarios para las pruebas de mantenimiento hidráulico, lo anterior aunado a necesidades de producción que postergan los servicios, así como carencia de conocimiento de lo que puede implicar por ejemplo un intercambiador de calor obstruido, dan por resultado deterioro y falla de componentes hidráulicos.

Algunas de las situaciones más comunes en las que se tiene que aplicar el mantenimiento correctivo son, como ejemplo, el atascamiento de válvulas. El atascamiento del carrete en válvulas direccionales, en ocasiones es resultado de la contaminación del aceite por diferentes

sustancias. Una partícula relativamente pequeña, puede ser depositada accidentalmente al sistema cuando se desmonta algún elemento hidráulico y no se tiene el cuidado de tapar los orificios de múltiples de válvulas, o conexiones de actuadores. Esas pequeñas partículas, mencionadas, pueden entonces viajar por el sistema, después del filtro de succión y antes del filtro de descarga, pueden llegar a alguna válvula direccional y trabar el carrete impidiendo un movimiento de la secuencia operativa.

Otro resultado de la contaminación del fluido hidráulico es la entrada de agua u algún agente que provoque oxidación a los elementos. Al iniciar un punto de oxidación en cualquier elemento, es muy remoto que se pueda revertir el proceso. Si lo anterior sucede en el cuerpo de una válvula, la oxidación, finalmente crecerá al punto de trabar el carrete.

Una situación más que es resultado de la contaminación del aceite, es la formación de barnices y gomas por las reacciones químicas del aceite con el medio ambiente, lo cual repercutirá sobre los componentes hidráulicos, siendo también una causa de la obstrucción del deslizamiento del carrete.

La ruptura de la unión del embolo y el vástago en un actuador lineal, es una posible situación donde se aplicara un mantenimiento correctivo. Esta puede suceder por la fatiga de la unión por tiempo de trabajo y podría ser evitada sometiendo al actuador a revisión con el sistema de líquidos penetrantes en un mantenimiento preventivo o reemplazar el conjunto cuando por experiencia se hayan detectado situaciones similares al llegar a un determinado tiempo de horas de trabajo.

Otras situaciones menos comunes, pueden ser el desprendimiento de una sección de los sellos del émbolo o vástago, lo cual, provocará una fuga interna

La abrasión por partículas debido una deficiente operación de los sellos limpiadores de los actuadores puede provocar fugas en el actuador.

Hay casos que la fuga de los actuadores debido a ruptura de empaques por tiempo de trabajo, implican retardo en el accionamiento y por lógica retardo del tiempo de ciclo de un proceso. Este problema, aunque suena lógico, en el análisis, lleva tiempo detectarlo, ya que, puede llegarse a confundir con alguna válvula que no está concluyendo el desplazamiento del carrete y en el caso de que sea una válvula de alto caudal piloteada, la incertidumbre puede aumentar. También puede llegar a considerarse erróneamente que el cambio en la operación del actuador se atribuya a que la bomba de caudal variable, tenga alguna fuga interna causando un bajo caudal con consecuencia de un desplazamiento a menor velocidad del actuador.

Se puede mencionar que las fallas que originan la aplicación de mantenimiento correctivo en los elementos hidráulicos de mayor tamaño en el sistema son por fatiga de materiales, mala lubricación y desgaste de los elementos de sellado. Los elementos más pequeños pueden estar también sometidos a obstrucciones, atascamientos y también al desgaste de los elementos de sellado.

La situación de falla de una válvula proporcional, también está presente como una situación a corregir. Estas válvulas que controlan la velocidad de inyección, y que se interrelacionan con la presión, pueden llegar a descalibrarse o recibir una señal de retroalimentación que provoque una incertidumbre y mandar al plc una señal de falla.

Finalmente, un conjunto de situaciones donde el mantenimiento correctivo es requerido puede ser originado por personal que por desconocimiento realice ensamblajes erróneos de válvulas lo cual no permita el flujo del fluido. Otra situación es que el mismo personal al mantener cerradas válvulas que deberían estar abiertas no permita el paso de algún líquido requerido para la

operación adecuada de la máquina. También por desconocimiento el personal puede mover conexiones eléctricas/electrónicas del control de accionamientos hidráulicos, llegando a bloquear la máquina siendo necesario la aplicación del mantenimiento correctivo.

Conclusiones.

En este trabajo fueron expuestas las funciones del sistema hidráulico de una máquina de inyección apoyándose en dos tipos de diagramas que siempre se deben consultar para facilitar la detección de un problema de la máquina o ubicar la secuencia de trabajo de la misma. Para ello, fueron expuestas las etapas o estados de un modelo de máquina durante un ciclo de trabajo.

Para comprender lo que pueden hacer el sistema hidráulico de una máquina y como interactúa, se logró explicar el funcionamiento de los componentes que integran el sistema, llámense válvulas, actuadores o bombas, así como de los elementos complementarios del sistema como los son el acumulador, el intercambiador de calor y los filtros.

Se llegó a la conclusión de que el conocimiento de las funciones del sistema hidráulico y como operan los componentes de una máquina de inyección de plásticos, facilita la comprensión y permite entender cómo se aplica la hidráulica de potencia en el proceso, ya no sólo de la máquina de inyección de plástico por moldeo durante sus ciclos de operación, sino que nos permite encontrar similitudes, al saber como trabajan los componentes, en el análisis de funcionamiento de cualquier otra máquina o sistema donde se aplique la hidráulica de potencia.

Todo queda plasmado en que la relevancia del conocimiento de la hidráulica de potencia como una rama de la ingeniería, es de suma importancia, ya que para su operación y control se conjugan diversas especialidades. Lo anterior se puede sustentar en el sencillo ejemplo de la aplicación de la hidráulica industrial en la operación de una máquina de inyección de plástico.

Fuentes de consulta

ASESORIA Y CAPACITACIÓN PARA LA INDUSTRIA DE PLASTICOS. (1999).

Fundamentos del moldeo por inyección. México: Grupo Imecplast

Cincinnati Milacron. (1980). *Manual de operación de máquina de inyección de plástico modelo*

VT-110. Ohio, USA: Cincinnati Milacron.

Mataix, C. (1982). *Mecánica de fluidos y maquinas hidráulicas.* Madrid, España: HARLA.

Válvulas y Controles Mexicanos. (2002). *Manual de hidráulica industrial.* D.F., México:

VICKERS.

Válvulas y controles mexicanos. (2002). Válvulas Proporcionales. En *Manual Vickers de Control*

(14-1, 14-38). D.F.: Vickers.

Páginas WEB

Hidráulica y neumática S.A. . (Febrero 5, 2019). Acumuladores de Vejiga. Febrero 15, 2019, de

Hidráulica y Neumática S. A. Sitio web: <http://www.hnsa.com.co/acumuladores-de-vejiga/>

Husky (Dpto. Técnico). (2003). *El concepto hidromecánico, ¿mejora al eléctrico?*. Enero 10,

2019, de Interempresas Media, S.L.U. - Grupo Nova Àgora Sitio web:

<http://www.interempresas.net/Plastico/Articulos/6674-El-concepto-hidromecanico-mejora-al-electrico.html>

Lindo, E. (2018). Como trabaja un control de load sensing. diciembre 10, 2018, de youtube Sitio

web: https://www.youtube.com/watch?v=Uu_PpWCVPHo

Martínez, C. (octubre 4, 2016). Serie Energía Hidráulica, título válvulas hidráulicas. Octubre 15, 2018, de Youtube Sitio web:

https://www.youtube.com/watch?v=XwGxZRkap_s&t=590s

Mecantech. (2012). *Ingeniería mecánica: bomba de caudal variable de pistones axiales*.

Diciembre 20, 2018, de área mecánica. wordpress Sitio web:

[https://areamecanica.wordpress.com/Abril 12, 2012,ingenieria-mecanica-bomba-de-caudal-variable-de-pistones-axiales/](https://areamecanica.wordpress.com/Abril%2012,%202012,ingenieria-mecanica-bomba-de-caudal-variable-de-pistones-axiales/)

Sarmiento, J.. (Octubre 18, 2017). Válvulas de cartucho parte 1. Noviembre 18, 2018, de

Youtube Sitio web: <https://www.youtube.com/watch?v=Dmm5vErVXpo&t=8s>

Sarmiento, J.. (Octubre 24, 2017). Válvulas de cartucho parte 2. Noviembre 15, 2018, de

Youtube Sitio web: <https://www.youtube.com/watch?v=udDIG1Gg0zM&t=300s>

Sarmiento, J.. (Octubre 31, 2017). Válvulas de cartucho - parte 3. Diciembre 10, 2018, de

Youtube Sitio web: <https://www.youtube.com/watch?v=ukHNNnSkVGU&t=8s>