



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

**DISEÑO DEL DIAGRAMA DE CIRCUITOS HIDRÁULICOS PARA LA
MODIFICACIÓN DEL SISTEMA HIDRÁULICO DE UNA GRÚA DE
DESCARGA DE CAÑA DE UN INGENIO AZUCARERO**

José Antonio Larrañaga Saavedra

Asesorado por el Ing. Esdras Feliciano Miranda Orozco

Guatemala, febrero de 2019

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DEL DIAGRAMA DE CIRCUITOS HIDRÁULICOS PARA LA MODIFICACIÓN DEL
SISTEMA HIDRÁULICO DE UNA GRÚA DE DESCARGA DE CAÑA DE UN INGENIO
AZUCARERO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

JOSE ANTONIO LARRAÑAGA SAAVEDRA
ASESORADO POR EL ING. ESDRAS FELICIANO MIRANDA OROZCO

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO

GUATEMALA, FEBRERO DE 2019

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Luis Diego Aguilar Ralón
VOCAL V	Br. Christian Daniel Estrada Santizo
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR(A)	Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez
EXAMINADOR(A)	Ing. Erick René Guerrero Silva
EXAMINADOR(A)	Ing. Carlos Humberto Figueroa Vásquez
SECRETARIO(A)	Inga. Marcia Ivonne Véliz Vargas

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

DISEÑO DEL DIAGRAMA DE CIRCUITOS HIDRÁULICOS PARA LA MODIFICACIÓN DEL SISTEMA HIDRÁULICO DE UNA GRÚA DE DESCARGA DE CAÑA DE UN INGENIO AZUCARERO

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica, el 11 de agosto del 2009.


Jose Antonio Larrañaga Saavedra

Guatemala, 7 de marzo de 2018.

Ingeniero:

Carlos Humberto Pérez Rodríguez
Director de Escuela
Ingeniería Mecánica
Universidad de San Carlos de Guatemala
Presente.

Estimado Ingeniero Pérez:

Por medio de la presente informo que he revisado en su totalidad el trabajo de graduación del estudiante José Antonio Larrañaga Saavedra quien se identifica con carné 200117060 titulado: **"DISEÑO DEL DIAGRAMA DE CIRCUITOS HIDRÁULICOS PARA LA MODIFICACIÓN DEL SISTEMA HIDRÁULICO DE UNA GRUA DE DESCARGA DE CAÑA DE UN INGENIO AZUCARERO"**. En dicha revisión se ha verificado que se encuentra la totalidad del contenido propuesto en el Protocolo. Durante el desarrollo del presente trabajo de graduación se ha considerado una nueva distribución de los contenidos, el cual se presenta en el informe final. Por lo antes expuesto, como asesor del presente trabajo, considero que cumple con la totalidad de su contenido.

Aprovecho para solicitar de manera atenta que se le pueda dar el seguimiento correspondiente al presente trabajo de graduación.

Sin otro particular, atentamente.



Ingeniero

Esdras Feliciano Miranda Orozco.

Asesor
Colegiado 4637.

Ing. Esdras Miranda Orozco
COLEGIADO 4637





USAC

TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Mecánica

Ref.E.I.M.234.2018

El Coordinador del Área de Diseño de la Escuela de Ingeniería Mecánica, luego de conocer el dictamen del Asesor y habiendo revisado en su totalidad el trabajo de graduación titulado: **DISEÑO DEL DIAGRAMA DE CIRCUITOS HIDRÁULICOS PARA LA MODIFICACIÓN DEL SISTEMA HIDRÁULICO DE UNA GRÚA DE DESCARGA DE CAÑA DE UN INGENIO AZUCARERO** desarrollado por el estudiante **José Antonio Larrañaga Saavedra**, CUI 1719666350101, Registro Académico 200117060 recomienda su aprobación.

"Id y Enseñad a Todos"

X
Ing. Álvaro Antonio Ávila
Coordinador Área Diseño
Escuela de Ingeniería Mecánica



Guatemala, marzo 2018



USAC

TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala


Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Mecánica

Ref.E.I.M.029.2019

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor y con la aprobación del Coordinador del Área de Diseño del trabajo de graduación titulado: **DISEÑO DEL DIAGRAMA DE CIRCUITOS HIDRÁULICOS PARA LA MODIFICACIÓN DEL SISTEMA HIDRÁULICO DE UNA GRÚA DE DESCARGA DE CAÑA DE UN INGENIO AZUCARERO** desarrollado por el estudiante **José Antonio Larrañaga Saavedra, CUI 1719666350101, Registro Académico 200117060** y luego de haberlo revisado en su totalidad, procede a la autorización del mismo.

"Id y Enseñad a Todos"


Ing. Julio César Campos Paiz
Director
Escuela de Ingeniería Mecánica



Guatemala, febrero de 2019

/aej

Universidad de San Carlos
de Guatemala

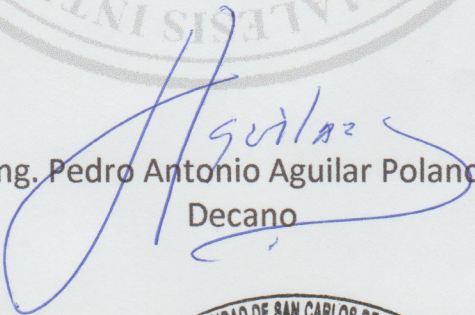


Facultad de Ingeniería
Decanato

DTG. 051.2019

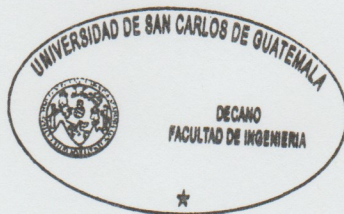
El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DEL DIAGRAMA DE CIRCUITOS HIDRÁULICOS PARA LA MODIFICACIÓN DEL SISTEMA HIDRÁULICO DE UNA GRÚA DE DESCARGA DE CAÑA DE UN INGENIO AZUCARERO**, presentado por el estudiante universitario: **José Antonio Larrañaga Saavedra**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:


Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Decano

Guatemala, febrero de 2019

/gdech



ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por la vida, la salud, mi familia y las bendiciones recibidas a lo largo de mi vida.
- Mis padres** Rosa Emilia y Leandro Antonio, gracias por su amor, sacrificio, esfuerzo e inspiración. Gracias por sus desvelos y por su ejemplo de responsabilidad. Gracias por cada momento de alegría a su lado.
- Mi hermano** Rubén Alberto, gracias por tu amor incondicional y por tu apoyo en todo momento. Gracias por tus consejos y por tu amistad.
- Mi novia** Regina, gracias por tu amor y por apoyarme siempre. Gracias por tus consejos y por impulsarme a cumplir esta meta.
- Mis amigos** Negli y Danilo, mis hermanos, gracias por su amistad y por mantenerla durante todos estos años.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por ser la casa de estudios que me permitió incrementar mis conocimientos.
Facultad de Ingeniería	Por darme la guía para convertirme en un profesional de la ingeniería.
Mis amigos	Francisco, Juan Pablo, Héctor, Federico, Emilio, Aldo, Mario, Nikkos, Rudy, Manuel, Iván, Lio, Tono, Lalo y Leiva, por haber marcado con su amistad una época de mi vida.
Ingenio Concepción	Gracias a todos los compañeros de trabajo que compartieron conocimientos, experiencias, amistad y momentos de alegría, que permitieron mi crecimiento como profesional y como ser humano durante ocho años de mi vida.
Mi familia	Gracias por su cariño, apoyo, consejos, abrazos y besos. Gracias por cada momento de alegría, en especial a mi tía Walfre.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS	XI
GLOSARIO	XIII
RESUMEN.....	XV
OBJETIVOS.....	XVII
INTRODUCCIÓN	XIX
1. MARCO TEÓRICO.....	1
1.1. ¿Qué es un ingenio azucarero?	1
1.2. ¿Qué es una grúa de descarga de caña?	6
1.2.1. Función.....	6
1.2.2. Diseño	7
1.2.3. Componentes	9
1.2.4. Operación	9
1.3. ¿Qué es hidráulica?	10
1.4. ¿Qué es un sistema hidráulico?	11
1.4.1. Componentes básicos	11
1.4.2. Transmisión de potencia.....	12
1.4.3. Circuitos hidráulicos.....	14
1.5. Fluidos hidráulicos.....	15
1.5.1. Propiedades.....	16
1.5.2. Ley de Pascal	21
2. DISEÑO DE SISTEMAS HIDRÁULICOS	23
2.1. Depósitos, tanques y recipientes.....	23

2.2.	Elementos filtrantes.....	28
2.3.	Bombas hidráulicas.....	33
2.3.1.	Tipos de bombas.....	36
2.3.2.	Montaje.....	65
2.4.	Motores hidráulicos.....	70
2.5.	Válvulas hidráulicas.....	71
2.5.1.	Válvulas de control de flujo.....	72
2.5.2.	Válvulas de alivio.....	78
2.5.3.	Válvulas de secuencia.....	84
2.5.4.	Válvulas direccionales.....	86
2.6.	Cilindros hidráulicos.....	109
3.	DISEÑO DE CIRCUITOS HIDRÁULICOS.....	119
3.1.	Simbología hidráulica.....	119
3.2.	Diagrama de circuitos hidráulicos.....	139
3.3.	Diseño de circuitos hidráulicos.....	143
3.4.	Análisis de circuitos hidráulicos.....	146
3.4.1.	Control de un cilindro hidráulico de simple efecto.....	147
3.4.2.	Control de un cilindro hidráulico de doble efecto.....	149
3.4.3.	Circuito hidráulico con regeneración.....	151
4.	DISEÑO DE CIRCUITO HIDRÁULICO PARA GRÚA DE DESCARGA DE CAÑA.....	155
4.1.	Estructura de la grúa.....	155
4.2.	Sistema hidráulico.....	155
4.2.1.	Descripción del sistema.....	155
4.2.2.	Componentes del sistema.....	156
4.2.2.1.	Análisis.....	156
4.2.2.2.	Capacidad.....	156

4.2.2.3.	Simbología.....	156
4.2.3.	Diagrama de circuitos hidráulicos	157
4.2.4.	Análisis del sistema actual.....	159
4.2.4.1.	Operación	159
4.2.4.2.	Mantenimiento	159
4.3.	Nuevo diseño de la grúa de descarga	159
4.3.1.	Estructura de la gura	160
4.3.1.1.	Modificaciones de soldadura	160
4.3.1.2.	Nuevo contrapeso.....	160
4.3.2.	Nuevo sistema hidráulico.....	160
4.3.2.1.	Descripción del sistema.....	160
4.3.2.2.	Componentes del sistema	161
4.3.2.3.	Análisis	161
4.3.2.4.	Capacidad.....	161
4.3.2.5.	Simbología.....	161
4.3.3.	Diseño del nuevo sistema.....	164
4.3.3.1.	Operación	164
CONCLUSIONES		169
RECOMENDACIONES		171
BIBLIOGRAFÍA.....		173

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Procesos de producción agrícola	2
2.	Diagrama de proceso de fabricación de azúcar	5
3.	Grúa de descarga de caña.....	6
4.	Estructura de una grúa de descarga de caña	8
5.	Componentes de una grúa de descarga de caña	9
6.	Ley de Pascal.....	21
7.	Diagrama de unidad de bombeo	25
8.	Tipos de tanques hidráulicos.....	26
9.	Nivel de tanque	27
10.	Tapón de llenado y filtro de aceite	28
11.	Elemento filtrante	29
12.	Filtro tipo superficie	31
13.	Filtro en línea de retorno	32
14.	Clasificación de bombas hidráulicas	35
15.	Bomba de engranajes externos	42
16.	Evacuación de fluido hidráulico de una bomba de engranajes	43
17.	Fresado en una bomba de engranajes.....	45
18.	Equilibrio de empuje radial en bombas de engranajes.....	46
19.	Bomba de engranajes de dientes internos	48
20.	Bomba de engranajes bihelicoidales.....	49
21.	Bomba de engranajes helicoidales	50
22.	Bomba de engranajes internos centrados.....	51
23.	Bomba de lóbulos	52

24.	Bomba de tornillo	54
25.	Bomba de paletas desequilibrada	56
26.	Bomba de paletas equilibrada	58
27.	Bomba de pistones radiales de caudal fijo.....	60
28.	Bomba de pistones radiales de caudal variable.....	61
29.	Bomba <i>oilgear</i>	62
30.	Bomba de pistones esféricos	63
31.	Bomba rotativa de pistones axiales	64
32.	Bomba con motor remoto	66
33.	Bomba y motor en línea.....	67
34.	Motor hidráulico de pistones	71
35.	Válvula de bola	73
36.	Válvula de bola de tres vías	74
37.	Válvula de compuerta con vástago no ascendente.....	75
38.	Válvula de compuerta con vástago ascendente	76
39.	Válvula de aguja	77
40.	Restrictor variable	78
41.	Válvula de alivio de acción directa	80
42.	Desempeño de válvula de alivio de acción directa	81
43.	Válvula de alivio con pilotaje	82
44.	Desempeño de válvula de alivio con pilotaje	83
45.	Válvula de secuencia sin retención.....	84
46.	Válvula de secuencia con retención.....	85
47.	Válvula de husillo vertical.....	88
48.	Carrete rotatorio.....	89
49.	Carrete de desplazamiento.....	90
50.	Válvula unidireccional oscilante	91
51.	Válvula unidireccional por resorte	92
52.	Válvula unidireccional de orificio	93

53.	Válvula de control direccional de dos vías	93
54.	Operación de válvula de tres vías	95
55.	Válvula de tres vías con puerto a tanque habilitado	96
56.	Válvula de cuatro vías	97
57.	Válvula de cuatro vías dos posiciones	98
58.	Válvula de cuatro vías y tres posiciones	99
59.	Centro cerrado	100
60.	Centro tándem	101
61.	Centro flotante.....	102
62.	Centro abierto	103
63.	Accionamiento manual.....	104
64.	Accionamiento mecánico	105
65.	Accionamiento eléctrico	106
66.	Válvula de control direccional con pilotaje.....	108
67.	Válvula de control direccional con pilotaje hidráulico	108
68.	Cilindro hidráulico tipo pistón	111
69.	Vástago de cilindro hidráulico	113
70.	Émbolo de cilindro hidráulico	114
71.	Cilindro de simple efecto	115
72.	Cilindro de doble efecto.....	117
73.	Símbolos de componentes con ajuste variable	124
74.	Símbolos de componentes compensados por presión.....	124
75.	Símbolo simplificado de un depósito de fluido hidráulico	125
76.	Símbolo del fluido hidráulico en un circuito hidráulico	129
77.	Símbolo de válvula hidráulica con posición en tránsito	139
78.	Diagrama pictórico de un circuito hidráulico.....	141
79.	Diagrama en corte de un circuito hidráulico	142
80.	Diagrama esquemático de un circuito hidráulico.....	143
81.	Lógica estructural para diseño de circuitos hidráulicos	145

82.	Conexión inicial del circuito hidráulico para control de un cilindro de simple efecto.....	147
83.	Conexión final del circuito hidráulico para control de un cilindro de simple efecto.....	148
84.	Conexión inicial del circuito hidráulico para control de un cilindro de doble efecto	150
85.	Conexión final del circuito hidráulico para control de un cilindro de doble efecto	151
86.	Conexión inicial para un circuito hidráulico con regeneración	152
87.	Conexión final para un circuito hidráulico con regeneración.....	153
88.	Diagrama de circuitos hidráulicos	158
89.	Diagramas de operación de la grúa de descarga de caña.....	164

TABLAS

I.	Características del dibujo de líneas de trabajo en simbología gráfica de sistemas de potencia fluida, según norma ANSI Y32.10	122
II.	Símbolos gráficos para representar depósitos de fluido hidráulico, según norma ANSI Y32.10	126
III.	Símbolos gráficos para representar acumuladores hidráulicos, según norma ANSI Y32.10	127
IV.	Símbolos gráficos para representar el fluido de trabajo en un sistema de potencia fluida, según norma ANSI Y32.10	128
V.	Símbolos gráficos para representar intercambiadores de calor, según norma ANSI Y32.10	130
VI.	Símbolos gráficos para representar elementos filtrantes, según norma ANSI Y32.10	131
VII.	Símbolos gráficos para representar cilindros hidráulicos, según norma ANSI Y32.10	132

VIII.	Símbolos gráficos para representar equipos rotativos, según norma ANSI Y32.10	133
IX.	Símbolos gráficos para representar válvulas hidráulicas, según norma ANSI Y32.10	136
X.	Características del dibujo de líneas de trabajo en simbología gráfica de sistemas de potencia fluida, según norma ANSI Y32.10.....	163

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
Psi	Libra por pulgada cuadrada
m	Metro
mm	Milímetro
%	Porcentaje
RPM	Revoluciones por minuto

GLOSARIO

Ambiente	Cualquier área interna o externa delimitada físicamente que forma parte del establecimiento destinado a la fabricación, procesamiento, preparación, envasado, almacenamiento y expendio de alimentos.
Control de calidad	Métodos, técnicas y actividades utilizadas para satisfacer el cumplimiento de requisitos de calidad preestablecidos
Grúa de volteo	Equipo que se utiliza para descargar la caña de las jaulas a las mesas de caña.
Hidráulica	Es un término que se emplea para referirse a la transmisión de potencia, movimiento y control de fuerzas por medio de un fluido.
Potencia eléctrica	Es la energía que consume el motor eléctrico en el sistema hidráulico por unidad de tiempo
Potencia mecánica	Es la energía de movimiento que se consume en el sistema hidráulico por unidad de tiempo.
Potencia hidráulica	Es la energía de presión que consume el sistema hidráulico por unidad de tiempo.

Tándem

Conjunto de molinos colocados en serie.

RESUMEN

La aplicación que tienen los sistemas hidráulicos en la industria hace indispensable que el ingeniero mecánico conozca y sea capaz de diseñarlos, modificarlos y brindar mantenimiento. Para entender los sistemas hidráulicos es necesario tener la capacidad de interpretar y diseñar circuitos hidráulicos, ya que estos representan los componentes mecánicos que poseen los sistemas hidráulicos.

Este trabajo de graduación busca dar referencia del sistema actual y la propuesta de mejora del sistema hidráulico de la grúa de descarga de caña, para que se desarrolle una guía para las modificaciones y estudios nuevos.

OBJETIVOS

General

Determinar cómo se diseñan los sistemas hidráulicos y qué componentes mecánicos e hidráulicos poseen los circuitos hidráulicos en una grúa de descarga de caña de azúcar.

Específicos

1. Determinar el estado actual de la grúa de descarga de caña de azúcar.
2. Identificar el sistema hidráulico y sus componentes para diseñar los diagramas de circuitos hidráulicos.
3. Describir la simbología de los componentes mecánicos que se utilizan para el diseño de circuitos hidráulicos.

INTRODUCCIÓN

Un ingenio azucarero es conocido desde la época colonial como el lugar que posee las instalaciones para procesar la caña de azúcar, con el fin de obtener azúcar, alcohol, ron, melaza y otros productos. La operación de los ingenios azucareros se remonta al uso del trapiche, que consistía en un molino utilizado para extraer el jugo de la caña, cuando el volumen de producción era bajo y los métodos de trabajo no eran sofisticados.

En la actualidad la industria azucarera se caracteriza por ser innovadora en sus procesos de producción, utilizando tecnología de punta y buscando siempre cambios que permitan cada vez ser más eficientes, rentables y exitosos. Las grúas de descarga de caña son únicas en los ingenios azucareros y permiten, como su nombre lo dice, descargar la caña de azúcar de manera continua. Estos equipos requieren de sistemas hidráulicos, además de un diseño mecánico adecuado que sea capaz de mantener un proceso productivo tan complejo como es el de fabricar azúcar.

1. MARCO TEÓRICO

1.1. ¿Qué es un ingenio azucarero?

En la actualidad los ingenios azucareros siguen operando, sin embargo, se utilizan métodos de producción mucho más eficientes, innovación tecnológica, capacitación técnica y otros factores que han permitido que este tipo de industria se mantenga.

Un ingenio azucarero divide su operación en dos etapas: la zafra y la reparación. La zafra o cosecha es la etapa productiva de un ingenio azucarero, se utiliza maquinaria e ingeniería para procesar la caña de azúcar y convertirla en azúcar, bagazo, melaza, alcohol, vapor y energía eléctrica.

La reparación es la etapa de mantenimiento del ingenio y permite planificar una buena zafra, esta planeación consiste en realizar mantenimientos preventivos, predictivos y correctivos que surgieron durante la operación en la maquinaria.

La fabricación de azúcar consta de distintos procesos de producción, los cuales están divididos en dos grandes áreas: los procesos agrícolas y los industriales.

El proceso agrícola inicia con la preparación del suelo, etapa previa a la siembra. Luego viene el riego, esta fase es vital para el desarrollo vegetativo de la planta y consiste en un período de tiempo que dura de 12 a 14 meses. El riego se aplica por gravedad, aspersión, impulsos y otros, el método más eficiente es el de aspersión. La figura 1 muestra los distintos procesos de producción agrícola.

Figura 1. **Procesos de producción agrícola**



Fuente: procesos de producción agrícola en ingenios azucareros. Elaboración propia, empleando fotografías de <<https://www.pantaleon.com/procesos/proceso-agricola>>, Consulta 2010.

Finalmente, la planta está madura y lista para ser cosechada, la cosecha se realiza por dos métodos: manual o mecanizada. El proceso agrícola termina su labor con el transporte de la caña al ingenio, para realizar esta tarea se emplean jaulas cañeras que son llenadas según su capacidad, para luego ser haladas por cabezales.

El proceso industrial empieza justo en la descarga de las jaulas cañeras, para esto se emplean dispositivos mecánicos conocidos en los ingenios azucareros como grúas de descarga de caña, la descarga se realiza directamente en las mesas de caña, en donde se lava la caña para separar toda la tierra, piedras y basura que se hubo mezclado en el campo.

Luego se pasa al proceso de preparación de caña, este proceso consiste en desfibrar la caña para prepararla para ser molida, es necesario que el porcentaje de preparación de la caña sea mayor de 80 %. Esto se logra por medio de rotores con cuchillas, que en los ingenios azucareros son conocidos como picadoras de caña; las picadoras no cortan la caña, sino que la golpean para abrirla y así facilitar el proceso de extracción del jugo que esta posee.

Si la preparación es la adecuada se logrará conseguir el objetivo del siguiente proceso, ya que el proceso de molienda de caña consiste en extraer la

mayor cantidad de jugo que la caña posee en el tándem de molinos. Un molino consiste en un arreglo de cuatro mazas metálicas que, por medio de presión, extraen el jugo de la caña; estas mazas metálicas son conocidas en los ingenios azucareros como la maza cañera, la maza bagacera, la cuarta maza y la maza superior.

La caña desfibrada es llamada bagazo húmedo cuando es rica en jugo, pero luego de agotar este bagazo en los molinos es llamado bagazo seco. El bagazo seco es utilizado como combustible en las calderas, ya que es un subproducto de la caña. El bagazo se convierte en un combustible muy económico y vital para la operación de calderas en el ingenio.

Las calderas son utilizadas para producir vapor, el cual será utilizado para la transferencia de calor en los procesos siguientes de fabricación del azúcar y, además, será utilizado en las turbinas de vapor para producir energía eléctrica; esta energía se utiliza para la cogeneración del ingenio y además en la generación que permite participar en el sistema nacional interconectado.

Los siguientes procesos de fabricación del azúcar utilizan el jugo que se extrajo de la caña, este posee una consistencia turbia, opaca y es una mezcla de ácidos orgánicos y componentes inorgánicos. El proceso de clarificación del jugo inicia en muchos ingenios con la quema de azufre para sulfitar el jugo, esto permite la oxidación de todas las partículas metálicas que pudieran existir en el jugo, para así poder sedimentarlas fácilmente, luego se agrega al jugo una solución de cal diluida para elevar el pH del jugo y así no permitir que los ácidos orgánicos que el jugo posee proliferen. El siguiente proceso consiste en calentar el jugo, para esto se utilizan dispositivos mecánicos llamados calentadores de jugo. El jugo es calentado por medio de vapor extraído de las turbinas, se busca llevar la temperatura del jugo de 217 a 223 grados Fahrenheit.

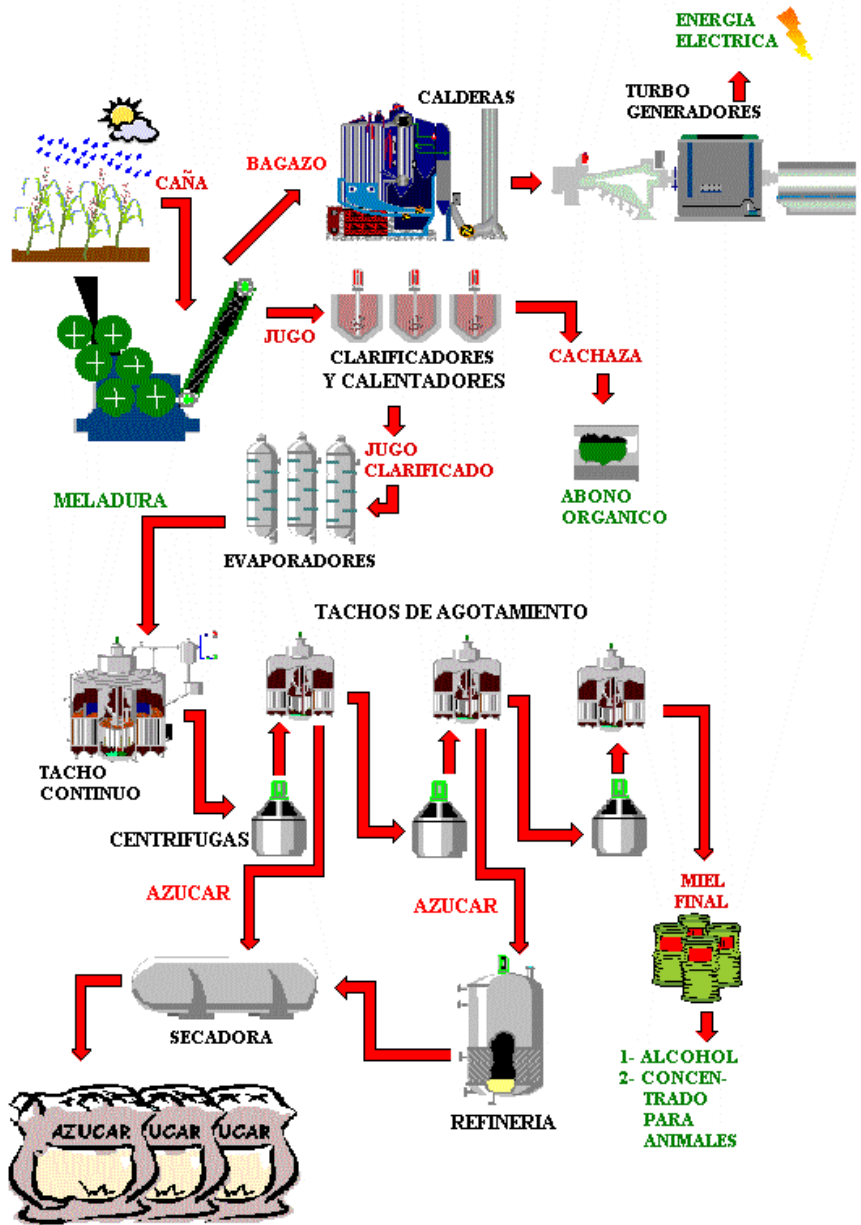
La clarificación termina luego de hacer ingresar el jugo en los clarificadores de jugo, estos dispositivos permiten sedimentar la mayor cantidad de partículas que se encuentran en el jugo, las partículas sólidas o lodos se extraen por la parte de abajo de los clarificadores y el jugo claro rebalsa por la parte superior. Los lodos son enviados a filtros que, por medio de vacío succionan el jugo que aún poseen, estos filtros son conocidos como filtros de cachaza, la cachaza es el lodo seco y se utiliza en los campos donde se siembra la caña como abono debido a que es rico en fósforo y potasio.

El jugo clarificado pasa entonces al proceso de evaporación, este proceso consiste en evaporar la mayor cantidad de agua que posee el jugo y así concentrarlo de 18° BX a 66°BX, esto equivale aproximadamente a extraer el 85 % de agua que poseía el jugo. El jugo concentrado de caña es llamado meladura y es la materia prima del proceso de cristalización, este proceso consiste en seguir evaporando el agua que posee la meladura para hacer una solución saturada de azúcar, luego se agrega la semilla para que sirva como medio para el crecimiento uniforme de los cristales. Finalmente, se utilizará el proceso de centrifugación para separar el grano de la miel, en este proceso se utilizan dispositivos mecánicos llamados centrífugas, estos equipos son rotores que giran de 1700 rpm a 2000 rpm, para generar una fuerza centrífuga capaz de realizar el rompimiento de la masa.

La miel es separada del grano debido a la fuerza centrífuga y es purgada por las paredes de la centrífuga y el grano es atrapado por una tela metálica para luego ser descargado. El azúcar que descarga la centrífuga es azúcar húmeda, por esto se hace pasar por un proceso de secado y un proceso de enfriamiento para disminuir su temperatura y así permitir las condiciones óptimas para su envasado. El azúcar seca y fría se envasa en distintas presentaciones para su venta y comercio en el mercado nacional e

internacional. La figura 2 muestra el diagrama completo del proceso de fabricación de azúcar.

Figura 2. Diagrama de proceso de fabricación de azúcar



Fuente: producción de fábrica de ingenio azucarero, según <<https://es.slideshare.net/jesusbarca58/presentacion-de-la-elaboracion-del-azucar-y-el-tratamiento-del-agua-residual-producida>>, Consulta 2010.

1.2. ¿Qué es una grúa de descarga de caña?

Una grúa de descarga de caña es conocida en los ingenios azucareros como el equipo que está diseñado para realizar la descarga de la caña de azúcar que ingresa al ingenio en tiempo de zafra, como se muestra en la figura 3. Para lograr este objetivo las grúas de descarga de caña requieren de un diseño mecánico adecuado, este deberá tomar en cuenta factores estructurales, sistemas hidráulicos, diagramas eléctricos, componentes mecánicos, tipos de mantenimiento y capacitación del personal operativo.

Figura 3. **Grúa de descarga de caña**



Fuente: descarga de jaulas con caña mediante aplicación de grúa de descarga de caña. Elaboración propia, empleando fotografía tomada en ingenio azucarero 2010.

1.2.1. **Función**

La función principal de una grúa de descarga de caña es mantener el ingreso constante de caña al ingenio, esto permitirá que la operación del

ingenio sea estable y puedan cumplirse parámetros operativos como la molienda diaria y el tiempo perdido.

1.2.2. Diseño

El diseño de una grúa de descarga de caña consiste en determinar la capacidad de carga deseada para el equipo, por esto es necesario definir criterios estructurales para que todas las cargas estén distribuidas adecuadamente. Se deberá diseñar un sistema hidráulico que permita la elevación y manipulación de las jaulas que se descargarán por la grúa, se deben definir componentes mecánicos dentro del diseño, como cojinetes, chumaceras, poleas, accesorios de tubería hidráulica y componentes mecánicos del sistema hidráulico. Por último, se deberán definir criterios de la operación del equipo, planes de mantenimiento preventivo y correctivo, así como la capacitación del personal operativo.

- Estructura: la estructura de una grúa de descarga de caña es similar en casi todos los ingenios, consiste en una estructura levemente inclinada que posee un balancín, una cabina de mando, un contrapeso, áreas de acceso para la cabina y para el sistema hidráulico. La figura 4 muestra una grúa de descarga de caña.

Figura 4. **Estructura de una grúa de descarga de caña**



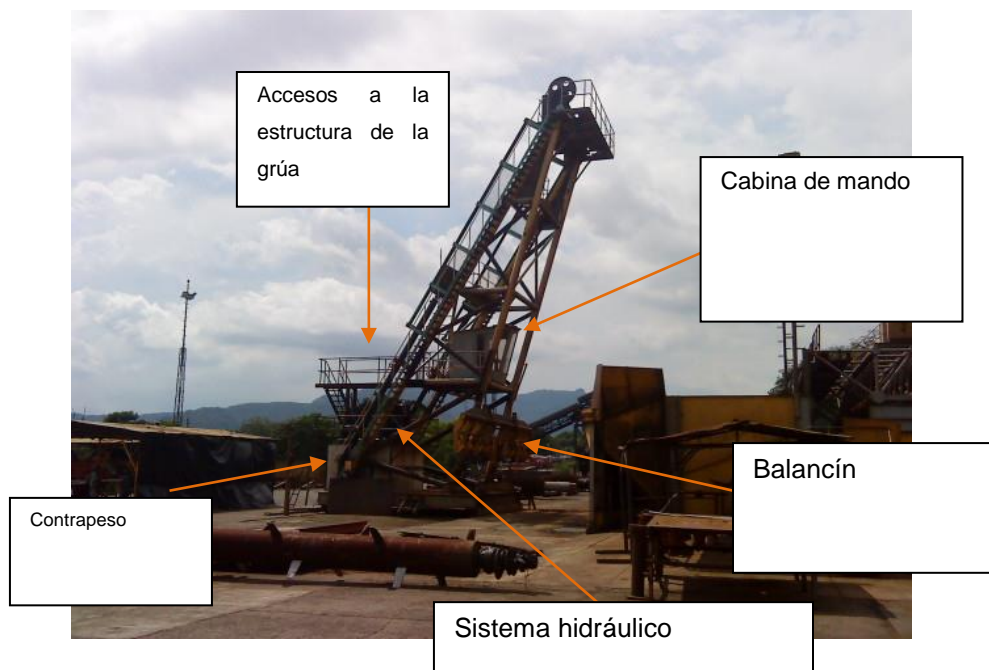
Fuente: vista lateral de grúa de descarga de caña de ingenio azucarero. Elaboración propia.

- Sistema hidráulico: el sistema hidráulico se diseña luego de definir la cantidad de toneladas de caña que se desean descargar con la grúa de descarga de caña, se deben determinar factores como la potencia del motor o motores eléctricos, el tipo de bomba a utilizar, el flujo de aceite hidráulico, la presión de trabajo del sistema, los tipos de válvulas, electroválvulas, cilindros hidráulicos, *switch* de presión y todos los componentes mecánicos que posee el sistema como tubería rígida, tubería flexible, codos, *tees* y *tubing*.

1.2.3. Componentes

Los componentes básicos de una grúa de descarga de caña son la estructura, el balancín, la cabina de mando, el sistema hidráulico, áreas de acceso a cabina, áreas de acceso al sistema hidráulico, y todos los componentes mecánicos que pueden ser chumaceras, cojinetes, cable metálico y poleas. La figura 5 muestra los componentes de una grúa de descarga de caña.

Figura 5. Componentes de una grúa de descarga de caña



Fuente: distribución de componentes de grúa de descarga de caña. Elaboración propia.

1.2.4. Operación

La operación en zafra de una grúa de descarga de caña consiste en recibir los camiones que transportan la caña y descargarlos en las mesas de

caña de manera continua, para permitir que los parámetros operativos de ratio de molienda y tiempo perdido sean los adecuados. Para cumplir este objetivo se requiere de mucha coordinación por parte del operador del camión y del operador de la grúa, ya que se necesita que el operador del camión pegue lo más posible las jaulas a la mesa de caña, esto para evitar que al descargar la caña de las jaulas el camión se voltee.

Luego se busca centrar la jaula con el balancín para que se levante con la carga equilibrada, el operador procede a bajar el balancín y pegarlo a la jaula para luego engancharla, al tenerla enganchada se procede a levantar la jaula y con esto descargar la caña que se encuentra dentro de la jaula. Al descargar completamente la jaula se procede a bajar el balancín, luego se deberá desenganchar el balancín de la jaula para que el camión se retire y así poder descargar otro camión. Este procedimiento se repite una y otra vez durante la operación del ingenio en la zafra.

1.3. ¿Qué es hidráulica?

La hidráulica es la rama de la física que se encarga del estudio de las propiedades mecánicas de los fluidos, cubrió originalmente el comportamiento del agua en reposo y en movimiento, sin embargo, el uso hizo crecer el concepto de tal manera que ahora su estudio incluye el comportamiento de todos los fluidos en reposo y en movimiento.

En la actualidad, hidráulica es un término que se emplea para referirse a la transmisión de potencia, movimiento y control de fuerzas por medio de un fluido. Los fluidos son utilizados para transmitir energía y en la mayoría de los casos se trata de aceites minerales, aceites sintéticos, agua o una mezcla de agua y aceite. La aplicación de la hidráulica en la actualidad es muy variada,

esta amplitud se debe al diseño y fabricación de elementos de mayor precisión, materiales de gran calidad y el estudio de los principios que rigen la hidráulica.

El empleo de la energía proporcionada por fluidos a presión puede aplicarse para transportar, excavar, levantar, perforar, manipular, controlar e impulsar maquinaria como tractores, grúas, retroexcavadoras, cargadores frontales, frenos, suspensiones, maquinaria industrial y otras.

1.4. ¿Qué es un sistema hidráulico?

En la actualidad, cada vez son más los equipos que se diseñan con accionamientos hidráulicos, estos se hacen más sofisticados y complejos según su aplicación. Cada maquinaria o mecanismo que utiliza un fluido hidráulico para transmitir potencia, fuerza o movimiento posee un sistema hidráulico.

Un sistema hidráulico consiste en un arreglo de equipos diseñados para aprovechar la capacidad de los fluidos hidráulicos para transmitir energía. Un sistema hidráulico puede ser simple o complejo, puede operar a altas temperaturas, altas presiones y ciclos sumamente rápidos.

1.4.1. Componentes básicos

Un sistema hidráulico contiene cinco componentes mecánicos básicos: un recipiente, un filtro, una bomba, válvulas de control de flujo y un actuador. Sin embargo, el elemento fundamental de un sistema hidráulico es el fluido hidráulico que se utiliza, ya que la presión aplicada al fluido dará la potencia necesaria para transmitir las fuerzas dentro del sistema.

1.4.2. Transmisión de potencia

La transmisión de potencia en un sistema hidráulico para una grúa de descarga de caña se realiza del motor eléctrico a la bomba principal y de la bomba al fluido hidráulico. La energía no se crea ni se destruye, solo se transforma, esto es vital para entender el funcionamiento de un sistema hidráulico, ya que en este tipo de sistemas la energía consumida se transforma de eléctrica a mecánica y luego a hidráulica.

- **Potencia eléctrica:** es la energía que consume el motor eléctrico en el sistema hidráulico por unidad de tiempo. Un motor eléctrico es una máquina eléctrica que permite transformar energía eléctrica en energía mecánica, utilizando la interacción de campos magnéticos. Puede ser alimentado por una fuente de voltaje de corriente alterna o de corriente directa. El funcionamiento de los motores de corriente alterna y de los motores de corriente directa se basa en el mismo principio, el cual establece que si un conductor por el cual circula una corriente eléctrica se encuentra dentro de la acción de un campo magnético, este tiende a desplazarse perpendicularmente a las líneas de acción del campo magnético.

El conductor tiende a funcionar como un electroimán debido a la corriente eléctrica que circula por el mismo, adquiriendo de esta manera propiedades magnéticas que provocan, debido a la interacción de los polos ubicados en el estator, el movimiento circular que se observa en el rotor del motor. Partiendo del hecho de que cuando pasa corriente eléctrica por un conductor se produce un campo magnético, si este campo se pone dentro de la acción de otro campo magnético potente el producto de esta interacción hace que el conductor tienda

a desplazarse, produciendo energía mecánica. Esta energía es transmitida por medio del eje del motor.

- **Potencia mecánica:** es la energía de movimiento que se consume en el sistema hidráulico por unidad de tiempo. La energía mecánica es transmitida del eje del motor eléctrico a la bomba principal, ambos serán acoplados mecánicamente para poder transmitir la potencia y el par de torsión necesario para que la bomba transforme la energía mecánica en energía hidráulica.

Existen distintos tipos de bombas hidráulicas, cada diseño posee ciertas características de construcción y diferentes principios de funcionamiento. Las bombas hidráulicas se pueden clasificar por caudal o por su construcción, pueden ser de cilindrada constante o variable, de engranajes, paletas o pistones.

La cilindrada se refiere al volumen de aceite que la bomba puede entregar al sistema hidráulico en cada revolución y la construcción depende del principio de funcionamiento mecánico para transmitir movimiento; todas las bombas son de desplazamiento positivo o de desplazamiento no positivo.

- **Potencia hidráulica:** es la energía de presión que consume el sistema hidráulico por unidad de tiempo. La bomba hidráulica es el dispositivo que transforma la energía mecánica en energía de presión transmisible de un lugar a otro en el sistema hidráulico, a través de un fluido cuyas moléculas sometidas precisamente a esa presión.

Las bombas hidráulicas son los elementos encargados de impulsar el fluido hidráulico, transformando la energía mecánica en energía hidráulica. La bomba suministra flujo de un fluido hidráulico en el sistema, no crea la presión en el sistema, puesto que la presión se genera de una resistencia al flujo. Mientras que la bomba proporciona flujo, transmite fuerza al fluido y dado que el fluido encuentra resistencia en el sistema, esta fuerza se vuelve presión. La resistencia al flujo es el resultado del diseño del sistema hidráulico y se determina por los componentes mecánicos que lo conforman. Las restricciones en el sistema son normalmente el trabajo que el fluido debe realizar para que la presión sea controlada por la carga impuesta sobre el sistema.

1.4.3. Circuitos hidráulicos

Para transmitir y controlar potencia a través de un fluido hidráulico a presión, se requiere de un conjunto de componentes interconectados. Comúnmente este conjunto es conocido como sistema hidráulico, el número y el conjunto de componentes varía de sistema a sistema, dependiendo de la aplicación y de la complejidad del diseño.

En muchas aplicaciones existe un sistema principal que alimenta a otros subsistemas, estos son conocidos como circuitos hidráulicos. Los circuitos hidráulicos son el arreglo de componentes del sistema que permitirán la operación y lograrán el objetivo del diseño. Un circuito hidráulico, sea simple o complejo, debe utilizar los siguientes principios básicos:

- Un fluido hidráulico puede asumir cualquier forma y puede ser bidireccional sin que esto afecte el movimiento libre del flujo.

- La ley de Pascal sostiene que cuando un fluido dentro de un contenedor es sometido a presión, la presión se transmite igualmente en todas direcciones y a todas las caras del contenedor.
- El tamaño de los componentes mecánicos del circuito, depósitos de aceite, mangueras o tuberías, accesorios, válvulas hidráulicas y los cilindros hidráulicos, aumenta la capacidad de realizar trabajo.

En el caso de la grúa de descarga de caña, el circuito hidráulico está distribuido en toda su estructura, se busca que cada componente esté en un área accesible para mantenimiento y que sea clasificado según su función dentro del sistema. A menudo los componentes del circuito se ubican en puntos extensamente separados para un conveniente control y operación.

1.5. Fluidos hidráulicos

El fluido hidráulico es el que suministra la potencia dentro del sistema, permite la transmisión de fuerza y movimiento. Para realizar la transmisión de potencia se aplica presión al fluido por medio de la bomba principal del sistema, el diseño del sistema debe ser capaz de trabajar las cargas requeridas sin exceder las necesidades de la aplicación, pero sin tener falta de potencia cuando sea necesario. Al mismo tiempo, el fluido hidráulico es el que lubrica los equipos mecánicos por los que fluye, y según sea la complejidad del diseño del sistema hidráulico así también incrementa el trabajo requerido en el fluido, esto hace que la selección del fluido sea muy importante en el diseño del sistema.

El fluido hidráulico reduce la fricción entre los componentes mecánicos, disminuye el desgaste y produce una película fluida entre las superficies que realizan el trabajo.

1.5.1. Propiedades

La fluidez y la incompresibilidad eran las únicas características requeridas del fluido hidráulico para poder utilizarlo en un sistema hidráulico. Sin embargo, para que el fluido hidráulico sea satisfactorio en el sistema debe poseer otro tipo de propiedades. Las propiedades más importantes son las siguientes:

- Viscosidad: es una de las características más importantes de los fluidos hidráulicos, es una medida de la resistencia de un fluido al flujo. La viscosidad de un fluido es afectada por los cambios de temperatura y presión. Mientras que la temperatura en el fluido aumenta, la viscosidad disminuye. El fluido fluye más fácilmente cuando está caliente que cuando está frío. Sin embargo, la viscosidad de un fluido aumenta si se incrementa la presión sobre el mismo.

Un fluido hidráulico apropiado para un sistema hidráulico debe ser lo suficientemente denso para proporcionar un buen sello en todos los componentes mecánicos del sistema. Estos componentes dependen de un estrecho encastre para crear y mantener la presión. Las pérdidas por filtraciones son mayores con fluidos livianos, un fluido que tiene baja viscosidad permite un rápido desgaste de las piezas móviles o de las piezas que funcionan bajo cargas pesadas. Por otra parte, si el fluido es demasiado viscoso, la fricción interna del fluido causará aumento en la resistencia al flujo. Esto producirá caída de presión en el sistema, baja velocidad de las operaciones del equipo y aumento del consumo de energía.

- Película fluida: cuando la presión empuja al fluido dentro del sistema y entre las superficies de piezas móviles, el fluido se extiende en una fina

película que permite a las piezas moverse libremente. Los fluidos varían ampliamente no solo en su capacidad de lubricación sino también en la resistencia de la película.

La resistencia de la película es la capacidad de un fluido a resistir ser limpiado o escurrido entre las superficies cuando se dispersa en una capa extremadamente delgada. Un fluido no lubricará más si la película se rompe, puesto que el movimiento de una parte contra la otra barre el metal limpiando el fluido. La película fluida varía con los cambios de temperatura. A diferencia de la viscosidad, que es una característica física, la resistencia de la película fluida del fluido está directamente relacionada con su naturaleza química. Las cualidades de lubricación y resistencia de la película de fluido se pueden mejorar mediante la adición de ciertos agentes químicos.

- Estabilidad química: es una de las características más importantes del fluido, se define como la capacidad del fluido a resistir la oxidación y el deterioro por largos períodos de tiempo. Todos los fluidos tienden a experimentar cambios desfavorables bajo condiciones de funcionamiento severas. Por ejemplo, cuando un sistema hidráulico funciona por un período considerable de tiempo a elevadas temperaturas.
- Las temperaturas excesivas tienen un gran efecto en la vida del fluido. La temperatura en el depósito del sistema hidráulico no siempre indica las condiciones de funcionamiento a lo largo del sistema. Los puntos de mayor temperatura ocurren en los cojinetes, en los dientes de los engranajes o en otros puntos en donde el fluido bajo presión es forzado a pasar a través de pequeños orificios.

El paso continuo del fluido a través de estos puntos puede producir temperaturas tan elevadas que carbonicen el fluido o lo conviertan en sedimento. Los fluidos se pueden contaminar si están expuestos al aire, agua, sal u otro tipo de impureza. Las reacciones químicas debido al contacto del fluido con ciertos metales pueden producir formación de lodo, goma, carbón u otros depósitos que obstruyen el sistema. Este tipo de obstrucciones hace que las válvulas o pistones se peguen, se produzcan pérdidas y lubricación deficiente. El índice de formación de obstrucciones aumenta rápidamente y mientras más se forman estos depósitos, se producen cambios perjudiciales en las características físicas y químicas del fluido. El fluido tiende a verse oscuro, la viscosidad aumenta y se forman ácidos.

- Acidez: un fluido hidráulico ideal debe ser libre de ácidos que causan la corrosión de los metales en el sistema. En la mayoría de los fluidos no se puede esperar que sigan siendo no corrosivos en condiciones de funcionamiento severas. El grado de acidez de un fluido hidráulico cuando es nuevo puede ser satisfactorio, pero por el uso que el fluido tiene en el sistema, tiende a llegar a ser corrosivo mientras comienza a deteriorarse.

Muchos sistemas tienden a permanecer sin operación por largos períodos de tiempo después de haber operado a altas temperaturas. Esto permite que la humedad se condense dentro del sistema y produzca la formación de herrumbre. Para evitar la corrosión dentro del sistema se agregan ciertos aditivos al fluido hidráulico, algunos de estos aditivos son eficaces por un período de tiempo limitado. Por esto el mejor procedimiento es utilizar el fluido adecuado para la aplicación. Se debe utilizar el fluido durante el tiempo especificado por el fabricante, se debe proteger tanto el fluido como el sistema

de la contaminación de materias extrañas, temperaturas anormales y el uso erróneo.

- Punto de inflamación: es la temperatura en la cual el fluido hidráulico emite un vapor en suficiente cantidad para encender momentáneamente o para producir un destello cuando una llama es aplicada. Es deseable que el fluido hidráulico tenga un alto punto de inflamación para que proporcione una buena resistencia a la combustión y un bajo grado de evaporación. El punto de inflamación mínimo requerido varía desde 300 grados Fahrenheit para aceites livianos a 510 grados Fahrenheit para aceites más pesados.
- Punto de ignición: es la temperatura en la cual un fluido hidráulico emite vapor en suficiente cantidad para encenderse y para continuar quemándose cuando está expuesto a una chispa o a una llama. Al igual que el punto de inflamación, se requiere que el fluido hidráulico posea un alto punto de ignición.
- Toxicidad: se define como el grado tóxico o venenoso de un fluido hidráulico. Algunos fluidos contienen productos químicos que son un peligro tóxico serio, estos productos pueden ingresar al cuerpo por inhalación, absorción a través de la piel, de los ojos o de la boca. El resultado de estar en contacto con el fluido puede ser de una enfermedad o de la muerte.

Los fabricantes de fluidos hidráulicos se esfuerzan por producir fluidos que no contengan ningún producto químico tóxico, consecuentemente la mayoría de los fluidos hidráulicos están libres de productos químicos riesgosos.

- Densidad y compresibilidad: un fluido hidráulico con una gravedad específica menor a uno es deseable en el sistema cuando el peso es crítico, aunque, con un diseño apropiado del sistema, un fluido con gravedad específica mayor a uno puede ser tolerado.

Es preferible que el fluido hidráulico se hunda en vez de subir a la superficie cuando es mezclado con agua. Los fluidos con gravedad específica mayor que uno son los más indicados en el diseño del sistema. Un fluido hidráulico puede ser comprimido hasta 7 % de su volumen original, los fluidos altamente compresibles producen una operación lenta del sistema, esto no es un problema para operaciones pequeñas de baja velocidad, pero sí debe considerarse para operaciones de varios movimientos, con tiempo limitado y con alta repetitividad.

- Espuma: es la emulsión de burbujas de gas en el fluido hidráulico, en un sistema hidráulico la espuma resulta de los gases comprimidos en el fluido hidráulico, el fluido bajo alta presión puede poseer un alto contenido de burbujas de aire. Cuando se despresuriza el fluido y alcanza el depósito, las burbujas de gas crecen y producen espuma. Cualquier cantidad de espuma en el fluido hidráulico puede causar cavitación de la bomba y con esto producir una pobre respuesta del sistema. Para evitar la formación de espuma se agregan a los fluidos hidráulicos agentes antiespumantes.
- Limpieza: la limpieza de los sistemas hidráulicos es vital, los contaminantes pueden causar el mal funcionamiento de los componentes mecánicos, evitar el cierre apropiado de las válvulas, causar desgaste en componentes y aumentar el tiempo de reacción de los equipos. El interior del sistema hidráulico solo se puede mantener tan limpio como el fluido

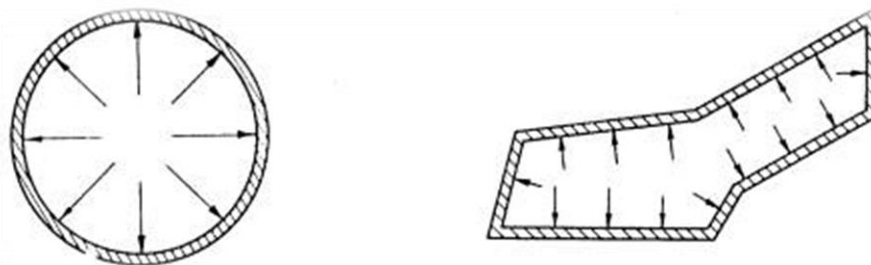
agregado al mismo. La limpieza inicial del fluido hidráulico puede ser alcanzada observando rigurosos requisitos de limpieza o filtrando todo el fluido antes de agregarlo al sistema.

- Tipos de fluidos hidráulicos: los fluidos hidráulicos que se utilizan incluyen aceite mineral, agua, fosfato, compuestos de agua de glicol de etileno y fluidos de silicona.

1.5.2. Ley de Pascal

La ley elemental de la física referida a la hidráulica y neumática fue descubierta y formulada por Blaise Pascal y se denomina Ley de Pascal. Esta ley establece que “la presión existente en un fluido confinado actúa igualmente en todas direcciones, y lo hace formando ángulos rectos con la superficie del recipiente”. La presión en un fluido solo depende de la profundidad, cualquier incremento de presión en la superficie debe transmitirse a cada punto en el fluido. El fluido confinado en la sección de una tubería ejerce igual fuerza en todas las direcciones y perpendicularmente a las paredes de la tubería.

Figura 6. Ley de Pascal



Fuente: sección transversal de recipientes. Elaboración propia, empleando <http://www.sapiensman.com/neumatica/neumatica_hidraulicaA.htm>, Consulta 2010.

La figura 6 muestra la sección transversal de dos recipientes, uno de forma regular y el otro de forma irregular. En ambos se puede observar cómo el fluido ejerce la misma presión en todas las direcciones, tal como lo indican las flechas. Es entonces la Ley de Pascal la que hace que una manguera contra incendios asuma una forma cilíndrica cuando es conectada al hidrante.

Es importante diferenciar cómo actúa la fuerza sobre un fluido y cómo lo hace sobre un sólido, puesto que el sólido es un cuerpo rígido que puede soportar que se le aplique una fuerza sin que cambie apreciablemente su forma, mientras que el fluido puede soportar una fuerza únicamente en una superficie o frontera cerrada. La fuerza que ejerce el fluido sobre las paredes del recipiente que lo contiene siempre actúa en forma perpendicular a esas paredes. Esta es una característica propia de los fluidos que hace que el concepto de presión sea muy útil. Si se perforan agujeros a los lados y al fondo de un barril con agua, se demuestra que la fuerza ejercida por el agua es igual en todos los agujeros y es perpendicular en cualquier parte de la superficie del barril.

2. DISEÑO DE SISTEMAS HIDRÁULICOS

Para poder diseñar sistemas hidráulicos es necesario tener la capacidad de entender cómo se elaboran los circuitos hidráulicos, esto implica conocer los distintos tipos de componentes mecánicos que pueden utilizarse en un sistema hidráulico; este será el objetivo primario de este capítulo.

Luego de conocer los distintos grupos de componentes mecánicos que se pueden utilizar en los sistemas hidráulicos, será necesario estudiar cómo estos se vinculan entre sí mediante la utilización de la simbología internacional normada para la elaboración y diseño de los sistemas hidráulicos. Finalmente, este capítulo permitirá elaborar diagramas de circuitos hidráulicos y analizar su funcionamiento dentro del sistema hidráulico. Los componentes mecánicos de los sistemas hidráulicos se pueden clasificar en:

2.1. Depósitos, tanques y recipientes

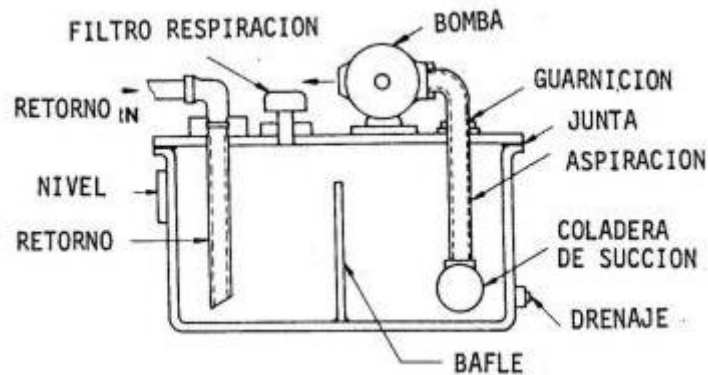
La función natural de un tanque, depósito o recipiente hidráulico es contener o almacenar el fluido hidráulico de un sistema hidráulico. En un sistema hidráulico industrial el tanque hidráulico consiste en cuatro paredes que normalmente son de acero, un fondo con desnivel, una tapadera plana con una placa para montaje, cuatro patas, líneas de succión, líneas de retorno y drenaje; también tapón de drenaje, indicador de nivel de aceite, tapón para llenado y tapón para respiración. Debe existir una cubierta de registro para limpieza y un separador o placa deflectora.

Además de funcionar como un contenedor de fluido, un tanque debe permitir el enfriamiento del fluido hidráulico, el asentamiento de los contaminantes y el escape del aire y vapores retenidos en su interior. Cuando el fluido retorna al tanque, una placa deflectora bloquea al fluido de retorno para impedir su llegada directa a la línea de la succión, estas placas son conocidas como mamparas o baffles, su objetivo es retener al fluido en una de las secciones del tanque para que se forme una zona donde el fluido se vuelva laminar y con esto permitir la sedimentación de las partículas de suciedad contaminantes.

La utilización de la mampara o baffle permite disminuir la temperatura del fluido hidráulico, se logra entonces disipar el calor hacia las paredes del tanque. Es importante que los vapores que produce el fluido hidráulico puedan alcanzar la superficie del tanque y salgan por el respiradero. La desviación del fluido es un aspecto muy importante en la operación del tanque, ya que trabajar el fluido hidráulico a la temperatura de la descarga en la succión es una de las razones primordiales de las fallas mecánicas en componentes de bombas, válvulas y actuadores.

Las tuberías de retorno al tanque deben colocarse en el nivel inferior, en el lado del tanque donde se encuentra la placa deflectora, opuesta al lado de la línea de succión. La mayoría de los sistemas hidráulicos utilizan el tanque como base para el montaje de la bomba, motor eléctrico, válvula de alivio y a menudo otras válvulas de control. A este conjunto se le denomina unidad de bombeo o unidad generadora de presión. La figura 7 muestra el diagrama de una unidad de bombeo.

Figura 7. **Diagrama de unidad de bombeo**

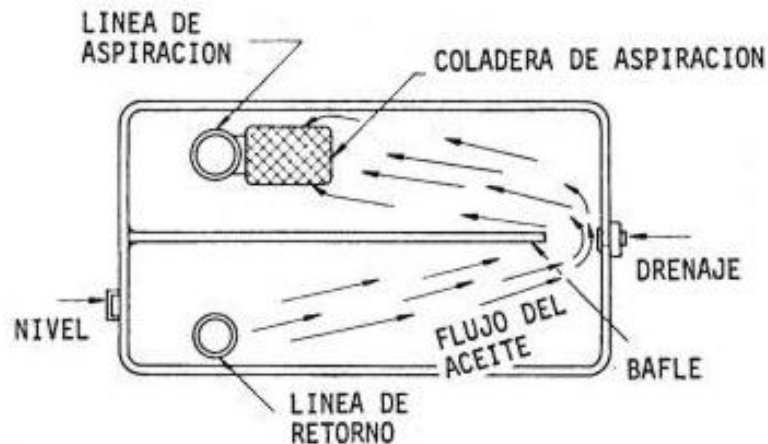


Fuente: tanque de aceite de sistema hidráulico. Elaboración propia, empleando <http://www.sapiensman.com/neumatica/neumatica_hidraulica4.htm>, Consulta 2010.

- Tipos de tanques: los tanques hidráulicos varían de uno a otro según la aplicación del sistema hidráulico y de la cantidad de componentes mecánicos que se utilizan para formar la unidad de bombeo.
- El diseño del tanque hidráulico puede incluir indicadores de nivel, filtros de distintas magnitudes y diferentes posiciones para los baffles dentro del tanque. El diseño de los baffles para enfriamiento en el tanque es una de las diferencias más notables de un tanque a otro.

Existen tanques hidráulicos que poseen en su interior una tubería de enfriamiento forzado en lugar de baffle, en esta tubería circula normalmente agua, el fluido hidráulico disipa el calor en el agua y con esto se logra el enfriamiento. Sin embargo, la utilización de una lámina deflectora para separar la línea de la succión y la descarga es comúnmente la mejor elección. La figura 8 muestra otro diseño de un tanque hidráulico.

Figura 8. Tipos de tanques hidráulicos

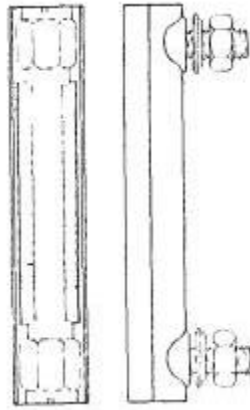


Fuente: planta de tanque de aceite. Elaboración propia, empleando <http://www.sapiensman.com/neumatica/neumatica_hidraulica4.htm>, Consulta 2010.

La dirección del flujo del fluido hidráulico dentro del tanque es otra de las formas para clasificar los tanques hidráulicos. La capacidad de radiación de temperatura del tanque puede ser incrementada si el bafle se coloca de forma que el fluido circule en contacto con las paredes externas del tanque.

- Accesorios en tanques: uno de los componentes adicionales en la instalación de la unidad de bombeo es el nivel visible del tanque. Este elemento es construido regularmente de plástico, permite determinar el nivel de aceite en el tanque y así asegurar la operación apropiada del sistema. El nivel es vital para determinar si la columna hidrostática en la succión de la bomba es la adecuada, para evitar problemas de cavitación. Además el nivel permite verificar la condición de emulsión del fluido hidráulico. La figura 9 muestra el diseño de un nivel visible para tanque hidráulico.

Figura 9. **Nivel de tanque**



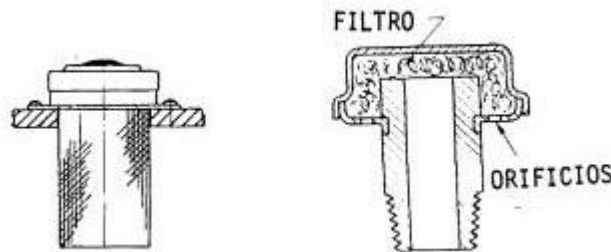
Fuente: nivel de tanque de aceite. Elaboración propia, empleando <http://www.sapiensman.com/neumatica/neumatica_hidraulica4.htm>, Consulta 2010.

Otro de los componentes en la instalación del tanque hidráulico es el orificio de llenado, este orificio debe ser cubierto por una tapa. Normalmente esta tapa está unida a una cadena para evitar que se desprenda del tanque y con esto evitar que se contamine con impurezas del ambiente.

Los tanques hidráulicos están venteados a la atmósfera, por esto es necesario utilizar un elemento filtrante para proteger de impurezas el fluido hidráulico. En el caso del tanque de la grúa de descarga de caña estos elementos filtrantes son vitales para evitar que las partículas de bagacillo, tan comunes en los ingenios azucareros, se agreguen al fluido y lo contaminen.

Cuando los sistemas hidráulicos operan en una atmósfera limpia, pueden emplearse filtros de respiración de bajo costo. Pero si se opera en una atmósfera muy contaminada deben emplearse filtros de alta calidad, capaces de retener partículas mayores de 10 micrones. La figura 10 muestra en la imagen de la izquierda un tapón de llenado del tanque hidráulico con elemento filtrante y en la imagen de la derecha muestra un filtro de respiración.

Figura 10. **Tapón de llenado y filtro de aceite**



Fuente: vista lateral de filtro. Elaboración propia, empleando <http://www.sapiensman.com/neumatica/neumatica_hidraulica4.htm>, Consulta 2010.

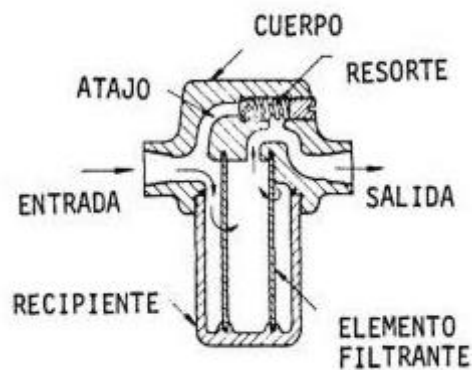
- Dimensionamiento: para sistemas hidráulicos pequeños, el tamaño del tanque debe adecuado para que el aceite permanezca en su interior de uno a tres minutos antes de recircularse. Esto quiere decir que si el caudal de la bomba es de 60 litros por minuto, el tanque debe tener una capacidad de 60 a 180 litros. En muchas instalaciones, la disponibilidad de espacio físico no permite el empleo de tanques de gran capacidad, especialmente en equipos móviles. Los tanques demasiado grandes pueden a veces ser una desventaja en sistemas que arrancan y paran a menudo, en donde las condiciones de operación son a baja temperatura.

2.2. **Elementos filtrantes**

La mayoría de las bombas hidráulicas utilizan elementos filtrantes para retener todas las partículas sólidas en la succión. Normalmente los filtros utilizan una coladera metálica capaz de retener partículas mayores a 150 micrones. Este tipo de filtro es usual cuando el fluido hidráulico es a base de aceites minerales, sin embargo, cuando se utilizan fluidos ignífugos es preferible emplear coladeras de malla 60, capaces de retener partículas mayores de 200 micrones, todo esto para evitar la cavitación de la bomba.

La función de un filtro mecánico es remover la suciedad que posee un fluido hidráulico. Para realizar la limpieza del fluido hidráulico se hace pasar la corriente fluida a través de un elemento filtrante poroso que captura la suciedad. El material poroso es capaz de atrapar partículas de cierto tamaño molecular. La figura 11 muestra un filtro micrónico que puede ser utilizado en la entrada o salida del sistema.

Figura 11. **Elemento filtrante**



Fuente: diagrama de partes de elemento filtrante. Elaboración propia, empleando <http://www.sapiensman.com/neumatica/neumatica_hidraulica4A.htm>, Consulta 2010.

El elemento filtrante está hecho de papel impregnado en fibra de vidrio, metal sintetizado y otros materiales. Puede ser removido desenroscándolo del recipiente. Existen dos tipos de elementos filtrantes, de profundidad y de superficie:

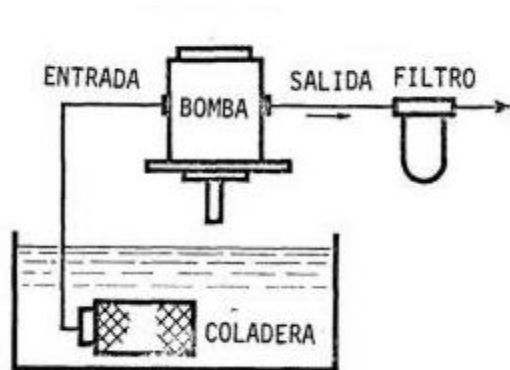
- **Filtros tipo profundidad:** los elementos filtrantes de profundidad obligan al fluido a pasar a través de muchas capas de un material de espesor considerable. Para atrapar la suciedad se hace pasar el fluido por trayectorias llenas de curvas y ondulaciones. El papel tratado y los materiales sintéticos son medios porosos comúnmente usados en este tipo de filtro.

Algunos de los materiales utilizados para la construcción de los elementos filtrantes de profundidad son los siguientes:

- Papel micronic: es de hoja de celulosa tratada y de grado de filtración de 5 a 160 micrones. Los que son de hoja plisada aumentan la superficie filtrante.
- Malla de alambre: los filtros de malla de alambre están elaborados de malla de un matiz más o menos grande, normalmente son de bronce fosforoso.
- Filtros de absorción: son parecidos al efecto que tiene la esponja con el agua, ya que el fluido hidráulico atraviesa el filtro utilizándose algodón, papel y lana de vidrio.
- Filtros magnéticos: el costo de este tipo de filtro es el más elevado, esto hace que sean los menos utilizados. Deben ser diseñados de manera que el fluido hidráulico circule por ellos de la manera más lenta posible. Debido a sus características magnéticas son capaces de atraer todas las partículas ferrosas que se encuentren en el fluido hidráulico.
- Filtros tipo superficie: los elementos filtrantes de superficie son diseñados de tal manera que la trayectoria del flujo del fluido hidráulico es recta. Se utilizan capas de material que atrapan la suciedad en la superficie del elemento filtrante que está orientado hacia el flujo del fluido. La tela de alambre y el metal perforado son tipos comunes de materiales utilizados en la fabricación de estos elementos filtrantes.

La figura 12 muestra un filtro tipo superficie instalado a la descarga de la bomba principal del sistema hidráulico. Este filtro debe ser capaz de resistir la máxima presión del sistema, por esto se debe diseñar con una válvula de alivio interna. La máxima pérdida de presión recomendada con este tipo de filtros cuando están limpios es de 5 psi.

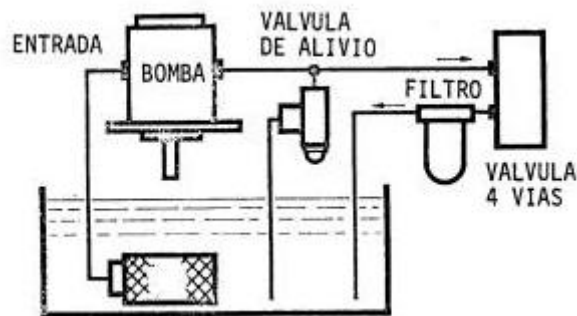
Figura 12. **Filtro tipo superficie**



Fuente: diagrama de filtración. Elaboración propia, empleando <http://www.sapiensman.com/neumatica/neumatica_hidraulica4A.htm>, Consulta 2010.

Este tipo de filtro también es utilizado en la línea de retorno, cuando el fluido hidráulico regresa al tanque. Es importante recordar que el caudal de retorno puede ser mucho mayor al flujo de la bomba principal y, debido a esto, se debe tomar especial cuidado en el dimensionamiento del filtro cuando se utilice de esta manera. La figura 13 muestra un filtro utilizado en línea de retorno.

Figura 13. Filtro en línea de retorno



Fuente: diagrama de filtración y tanque. Elaboración propia, mediante <http://www.sapiensman.com/neumatica/neumatica_hidraulica4B.htm>, Consulta 2010.

Conforme se ha ido avanzando en el diseño de los sistemas hidráulicos, se ha visto la necesidad de emplear elementos filtrantes de mayor capacidad. Las bombas hidráulicas y las válvulas cada vez tienen un mayor grado de precisión, operación a presiones elevadas y altas eficiencias. El empleo de filtros con coladera en la succión no es suficiente para proteger el sistema.

El propósito de la filtración no es solo prolongar la vida útil de los componentes del sistema hidráulico, sino también evitar tiempos perdidos producidos por la acumulación de impurezas en las estrechas holguras y orificios del sistema. Para prolongar la vida útil de los componentes del sistema hidráulico es de vital importancia emplear fluidos hidráulicos limpios, de buena calidad y que no estén contaminados.

La limpieza del fluido hidráulico se puede lograr reteniendo las partículas dañinas y realizando los cambios de fluido en las fechas y períodos que se establecen por el fabricante o por las especificaciones técnicas de los elementos del sistema. Los elementos considerados como contaminantes para los fluidos hidráulicos pueden ser:

- Agua
- Ácidos
- Hilos y fibras
- Polvo
- Partículas de juntas
- Pintura.

Para evitar que los fluidos hidráulicos entren en contacto con cualquier elemento contaminante se debe tomar en cuenta lo siguiente:

- Realizar limpiezas profundas en el tiempo de reparación.
- Limpiar el fluido hidráulico antes de ingresarlo al sistema.
- Cambiar el fluido contaminado periódicamente.
- Contar con un programa de mantenimiento preventivo del sistema hidráulico.
- Limpiar o cambiar los elementos filtrantes cuando sea necesario.

2.3. Bombas hidráulicas

Una bomba hidráulica es un dispositivo que transforma energía mecánica en energía de presión. La bomba hidráulica suministra flujo de un fluido hidráulico en el sistema hidráulico. La bomba hidráulica no crea la presión en el sistema, ya que la presión solo se puede crear por una resistencia al flujo. Mientras que la bomba hidráulica proporciona flujo, transmite una fuerza al fluido, dado que el fluido encuentra una resistencia dentro del sistema hidráulico, y esta fuerza se convierte en presión.

La resistencia al flujo se debe al diseño del sistema hidráulico y a los componentes mecánicos que lo conforman. El fluido hidráulico deberá realizar un trabajo para moverse dentro del sistema, este trabajo permitirá controlar la

presión dentro del sistema y con esto se regulará la carga impuesta sobre el mismo.

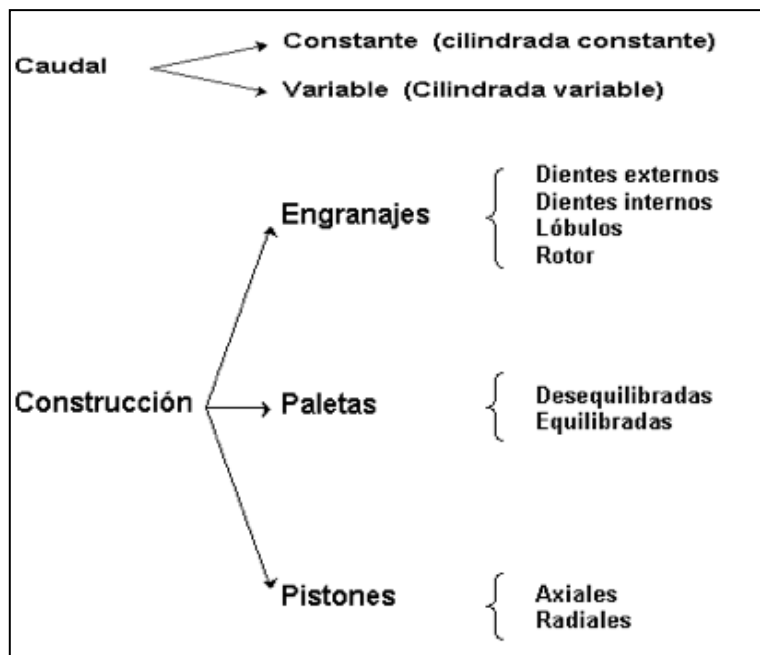
Una bomba hidráulica debe tener una fuente continua de fluido hidráulico, es por esto que la bomba hidráulica es colocada por debajo del tanque del sistema hidráulico, para que la presión atmosférica que actúa sobre el fluido en el tanque forme una columna hidrostática de fluido hidráulico en la línea de la succión de la bomba. El proceso de transformación de energía mecánica a energía de presión se efectúa en dos etapas: succión y descarga.

- **Succión:** cuando se realiza la transmisión de energía mecánica al eje de la bomba hidráulica, esta empieza a girar. El giro de la bomba genera una caída de presión en la entrada de la bomba, debido a que el tanque de fluido hidráulico está sometido a la presión atmosférica, se produce entonces un diferencial de presión. Este diferencial de presión es el que genera la succión y a su vez provoca que el fluido hidráulico sea impulsado hacia la entrada de la bomba.
- **Descarga:** el diseño de la bomba hidráulica es el que permite que el fluido hidráulico entre a la bomba y salga de ella sin poder retroceder. Debido a que el único espacio disponible para el fluido hidráulico está dentro de la bomba, se obliga al fluido a moverse de la entrada de la bomba a la salida, consiguiéndose así la descarga.
- **Clasificación de bombas:** las bombas hidráulicas son clasificadas por su salida volumétrica y presión. La salida volumétrica es la cantidad de fluido que la bomba puede entregar al sistema hidráulico en un intervalo de tiempo dado y a una velocidad dada. La salida volumétrica se expresa

normalmente en galones por minuto (GPM) y es constantemente llamada el flujo de la bomba.

Debido a que los cambios en la velocidad de la bomba hidráulica afectan la salida volumétrica, algunas bombas son clasificadas por su desplazamiento. El desplazamiento es la cantidad de fluido hidráulico que la bomba puede entregar por ciclo. Puesto que la mayoría de las bombas utilizan un impulsor rotativo llamado, en la industria azucarera, impelente, el desplazamiento se expresa normalmente en términos de pulgadas cúbicas por revolución. Otra forma de clasificar las bombas hidráulicas aparte de su salida volumétrica o caudal es por su construcción. La figura 14 muestra cómo se pueden clasificar las bombas hidráulicas según los componentes mecánicos que la conforman.

Figura 14. **Clasificación de bombas hidráulicas**



Fuente: Clasificación de bombas hidráulicas. Elaboración propia, empleando <http://www.sapiensman.com/neumatica/neumatica_hidraulica5.htm>, Consulta 2010.

Además de clasificar las bombas hidráulicas por los componentes mecánicos que definen su construcción, es importante definir su principio de funcionamiento. Todas las bombas hidráulicas son de desplazamiento positivo o no positivo. Sin embargo, cada componente mecánico difiere en el diseño de la bomba y permite que opere de cierta manera. Este estudio permitirá determinar qué componentes mecánicos son los que se utilizan en bombas de desplazamiento positivo y cuáles se utilizan en las bombas de desplazamiento no positivo.

2.3.1. Tipos de bombas

Una bomba hidráulica no crea presión, la presión se crea de las restricciones que el diseño del sistema hidráulico le presenta al flujo. Mientras que la presión del sistema aumenta, el flujo de la bomba disminuye. Esto produce una disminución en la descarga de la bomba y aumenta las pérdidas internas de la descarga hacia la succión. A estas pérdidas se les denomina resbalamiento de la bomba y también se traducen en pérdidas del sistema hidráulico, es por esto que la mayoría de bombas hidráulicas se clasifican en términos de su salida volumétrica o flujo, a una presión determinada.

Como ya se ha dicho, en esta investigación existen diversas formas de clasificar a las bombas hidráulicas, la división fundamental es que una bomba hidráulica es de desplazamiento positivo o es de desplazamiento no positivo. La diferencia fundamental entre una bomba de desplazamiento no positivo y una de desplazamiento positivo, es la forma en que se descarga al fluido hidráulico. Las bombas de desplazamiento no positivo mantienen una descarga continua de fluido hidráulico, mientras que las bombas de desplazamiento positivo descargan flujo por intervalos de tiempo, esto quiere decir que existen períodos muertos en donde la bomba no descarga flujo.

Aunque las bombas de desplazamiento no positivo produzcan un flujo continuo, no proporcionan un sello positivo contra el resbalamiento; es por esto que el flujo de una bomba de desplazamiento no positivo varía mientras que la presión del sistema hidráulico varía. En una bomba de desplazamiento no positivo, el flujo que la bomba entrega cada ciclo depende de la resistencia que el sistema le presenta al fluido hidráulico.

Las bombas de desplazamiento no positivo producen una fuerza en el fluido que es constante para cualquier velocidad de trabajo de la bomba, la resistencia al flujo en la descarga de la bomba produce una fuerza que va en sentido contrario a la fuerza producida por la bomba. Cuando estas fuerzas son iguales, el fluido hidráulico está en estado de equilibrio y no fluye.

Si la fuerza que se produce en la descarga de la bomba es mayor a la fuerza que la bomba produce en el fluido, se generará una máxima presión de descarga. No habrá ningún desperfecto o daño mecánico en la bomba, ya que cuando la resistencia del sistema hidráulico se incrementa, en este tipo de bomba hidráulica lo que sucede es una disminución del flujo. Sin embargo, sí habrá un daño en el sistema hidráulico debido a que la bomba quemará el fluido hidráulico y producirá calor.

A diferencia de las bombas de desplazamiento no positivo, las bombas de desplazamiento positivo sí producen un sello interno positivo contra el resbalamiento de la bomba hidráulica, esto permite que este tipo de bomba entregue por cada ciclo de operación siempre el mismo volumen de fluido hidráulico, sin importar la resistencia que ofrece el sistema hidráulico.

Una bomba de desplazamiento positivo es capaz de mantener el flujo constante por cada ciclo de operación debido al diseño mecánico de su parte móvil, ya que está diseñada para permitir un movimiento cíclico constante. Una bomba de desplazamiento positivo puede entregar un flujo constante de fluido que soporta cualquier presión de trabajo requerida. Las bombas de desplazamiento positivo son normalmente utilizadas para sistemas hidráulicos donde se trabaja a alta presión.

La parte móvil de la bomba de desplazamiento positivo está acoplada mecánicamente a una máquina de potencia motriz. Mediante esta unión la bomba es capaz de producir un movimiento alternativo constante. Debido a que el movimiento de la parte móvil puede cambiar según el diseño mecánico surge otra clasificación, esta depende de la forma en que se desplaza la parte móvil de la bomba de desplazamiento positivo.

Si el desplazamiento es rectilíneo, son llamadas bombas reciprocantes u oscilantes. Si la parte móvil gira entonces se denominan bombas rotativas de desplazamiento positivo. Otra clasificación de las bombas de desplazamiento positivo es la que divide entre las de desplazamiento fijo o volumétrico.

La bomba de desplazamiento fijo entrega la misma cantidad de fluido hidráulico en cada ciclo de operación. El volumen de fluido que entrega la bomba solo puede ser cambiado si se varía la velocidad de operación de la bomba. Cuando se utiliza una bomba de este tipo en un sistema hidráulico, es necesario instalar en la descarga de la bomba un regulador de presión.

El regulador de presión o válvula de descarga se utiliza en un sistema hidráulico para controlar la cantidad de presión que produce la bomba en el sistema. Es también utilizado para aliviar la bomba cuando esta alcanza la

presión deseada. El regulador de presión evita que la bomba trabaje bajo carga máxima cuando el sistema hidráulico está sin funcionamiento.

Para lograr esto, el regulador de presión puentea el fluido hidráulico que la bomba está entregando al sistema y lo devuelve al tanque de aceite. Esta operación evita que se eleve demasiado la presión del sistema y que en un momento dado el sistema le provoque a la bomba una contrapresión que pueda producir una falla mecánica. La bomba sigue entregando el mismo volumen de fluido durante cada ciclo sin problemas.

Las bombas de desplazamiento volumétrico son un tipo de bomba de desplazamiento positivo que se construyen para poder variar la cantidad de volumen de fluido hidráulico que la bomba entrega por ciclo de operación. Para lograr esto se utiliza un dispositivo de control interno.

Las bombas hidráulicas también pueden ser clasificadas según el diseño específico que se utilizó para que la bomba produzca el flujo del fluido hidráulico. Casi todas las bombas hidráulicas están dentro de estos tres diseños: centrífugas, rotativas y alternativas. El uso de las bombas centrífugas en un sistema hidráulico es limitado.

Una bomba de desplazamiento positivo tiene como característica principal el poseer una parte móvil dentro de su diseño mecánico. Por esto las bombas de desplazamiento no positivo son conocidas porque su cuerpo propulsor no contiene partes móviles. Por esto se conoce a las bombas de desplazamiento no positivo como bombas de una sola pieza, aun cuando esta puede ser un arreglo de varios impelentes ensamblados en uno solo.

Las bombas centrífugas pertenecen al grupo de las bombas de desplazamiento no positivo, ya que poseen un impulsor que permite la transformación de energía mecánica a energía de presión. Esta energía, también conocida como hidrocínética, imprime a las partículas del fluido cambios en sus trayectorias y en la dirección de sus velocidades.

Como ya se ha comentado anteriormente, este tipo de bomba regula la cantidad de fluido hidráulico que entrega por ciclo según la restricción que el sistema le presenta. Por esto es importante que la descarga de la bomba esté libre y que no haya ninguna contrapresión, pues si la hubiera la bomba seguiría en movimiento y consumiendo energía mecánica de la fuerza motriz sin generar flujo alguno.

En los sistemas hidráulicos de transmisión hidrostática y de potencia hidráulica nunca se emplean bombas de desplazamiento no positivo. Sin embargo, las bombas centrífugas son comúnmente utilizadas en los ingenios azucareros para bombear el jugo de la caña en el proceso de tratamiento del jugo. Su tamaño varía según la cantidad de flujo que se necesita, normalmente son clasificadas por su diámetro de entrada, diámetro de salida y diámetro de impelente o impulsor.

Las bombas de desplazamiento positivo son el tipo de bomba idónea para el diseño de los sistemas hidráulicos, ya que este tipo de bomba transforma la energía mecánica, que recibe directamente, en energía de presión que se transmite hidrostáticamente en el sistema hidráulico.

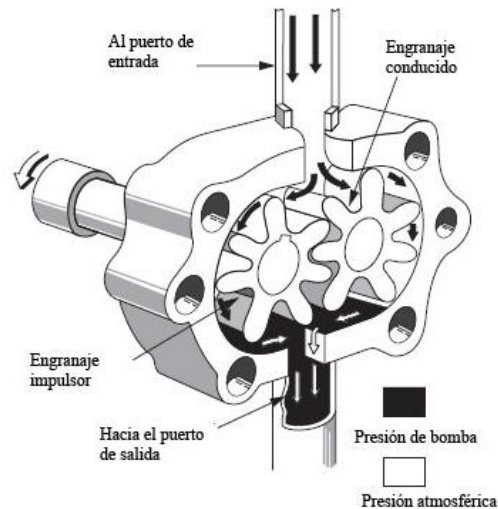
Todas las bombas rotativas tienen piezas de rotación que atrapan el fluido hidráulico en el puerto de entrada o succión y lo impulsan en el puerto de salida o descarga. Los engranajes, los tornillos, los lóbulos y las paletas son utilizados

generalmente como elementos móviles en este tipo de bomba para mover el fluido hidráulico y generar flujo. Las bombas rotativas son de desplazamiento positivo del tipo de desplazamiento fijo. Este tipo de bomba se diseña con separaciones muy pequeñas entre sus piezas de rotación y las piezas inmóviles, para reducir al mínimo el resbalamiento desde la descarga hacia la succión. Su operación normalmente es a velocidades relativamente moderadas, ya que si se operan a velocidades elevadas causan erosión y desgaste excesivo.

- Bombas de engranajes: se clasifican como bombas de engranajes externos o internos. En las bombas de engranajes externos los dientes de ambos engranajes se proyectan hacia afuera de sus centros. Las bombas de engranajes externos pueden utilizar engranajes cilíndricos, engranajes de dientes angulares o engranajes helicoidales para mover el fluido hidráulico.

En una bomba de engranajes internos los dientes de un engranaje se proyectan hacia afuera y los dientes del otro engranaje se proyectan hacia adentro. Este tipo de bomba de engranajes puede ser centrada o excéntrica. La figura 15 muestra una bomba de engranajes externos, normalmente este tipo de bomba está compuesta por dos piñones dentados acoplados mecánicamente para dar vueltas, con cierto juego. El piñón motriz está enchavetado sobre el árbol de arrastre accionado normalmente por un motor eléctrico. Las tuberías de succión y descarga van conectadas cada una por un lado de la bomba.

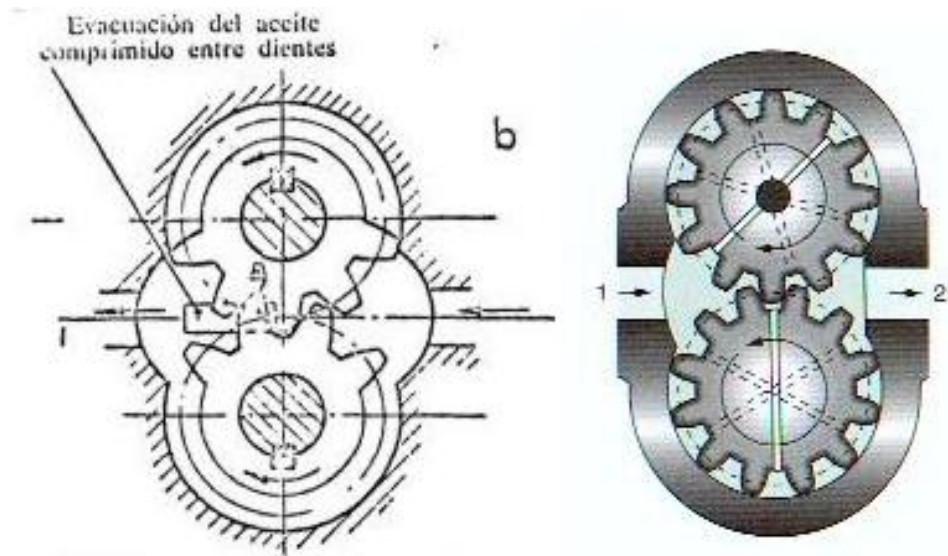
Figura 15. **Bomba de engranajes externos**



Fuente: sección de bomba de engranajes. Elaboración propia, empleando <http://www.sapiensman.com/neumatica/neumatica_hidraulica9.htm>, Consulta 2010.

Debido al movimiento de rotación que el motor transmite al eje motriz de la bomba, el engranaje motriz arrastra al engranaje conducido, los engranajes son iguales en dimensiones, pero tienen el sentido de rotación invertido. Con el movimiento de los engranajes se origina una presión negativa en la succión de la bomba; como el fluido hidráulico que se encuentra en el tanque está a presión atmosférica, se produce una diferencia de presión. Esta diferencia permite el traslado de fluido desde el tanque hacia la entrada de la bomba. Luego los engranajes comienzan a tomar el fluido hidráulico entre los dientes y lo trasladan hacia la descarga de la bomba. Debido al diseño de la bomba existen cavidades que impiden que el fluido trate de retroceder y lo obligan a circular en el sistema.

Figura 16. **Evacuación de fluido hidráulico de una bomba de engranajes**



Fuente: vista lateral de bombas de engranajes. Elaboración propia, empleando <http://www.sapiensman.com/neumatica/neumatica_hidraulica9.htm>, Consulta 2010.

La figura 16 muestra cómo los engranajes de una bomba evacúan el fluido hidráulico. Los piñones, al entrar en contacto con el fluido, lo conducen entre los huecos que quedan entre los dientes y la carcasa o cuerpo de la bomba, es en este momento donde se produce la compresión del fluido hidráulico, luego el fluido es expulsado en la descarga y a su vez se genera un vacío entre los dientes de los engranajes, lo cual provoca la succión del fluido.

Las bombas corrientes de engranajes son de construcción simple y tienen por defecto el producir un flujo intermitente. Los piñones dentados se fabrican de acero al níquel cromo, de cementación, templados y rectificadas. Los ejes de ambos engranajes están soportados por cojinetes de rodillos o por *bushing* de bronce grafitados, en cada extremo.

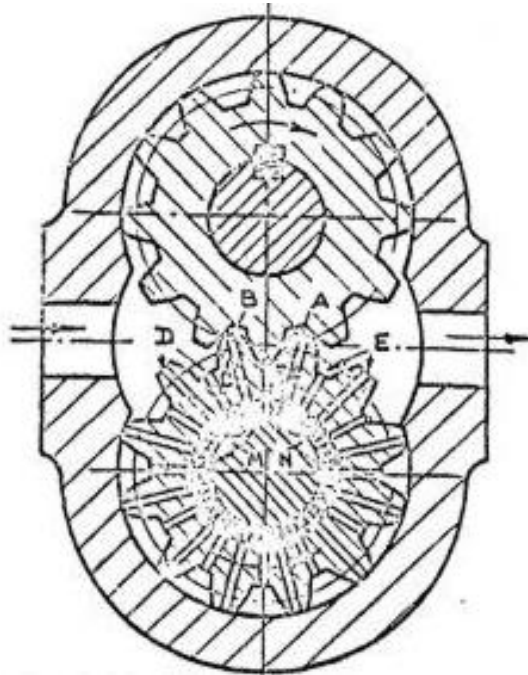
El engranaje motriz se encuentra acunado a su eje, también se utilizan ejes dentados que se unen a los engranajes por este mecanismo. El fluido hidráulico es atrapado en los espacios entre los dientes y la carcasa, es transportado alrededor de ambos engranajes desde la succión hasta la descarga, esta operación evita que el fluido hidráulico retorne al lado de la succión a través del punto de engrane o empichamiento.

Los engranajes de este tipo de bomba son normalmente rectos, sin embargo, también se emplean engranajes helicoidales simples o dobles. La ventaja principal de este tipo de engranaje es el funcionamiento silencioso a altas velocidades y la capacidad de trabajar a mayores cargas.

Debido al diseño de los engranajes, uno de los problemas más comunes es el desarrollo de alta presión entre las cavidades donde se aloja el fluido hidráulico, lo que puede producir que el fluido quede atrapado entre las sucesivas líneas de contacto de los dientes. Para evitar esto se ejecuta en las platinas laterales un pequeño fresado lateral, esto permite que el fluido ya comprimido escape, ya sea por la descarga o por la succión.

La figura 17 muestra el fresado que se realiza en las platinas laterales de los engranajes de una bomba de engranajes. Este trabajo permite desalojar el fluido hidráulico comprimido que quedó atrapado en las paredes laterales de la bomba.

Figura 17. **Fresado en una bomba de engranajes**



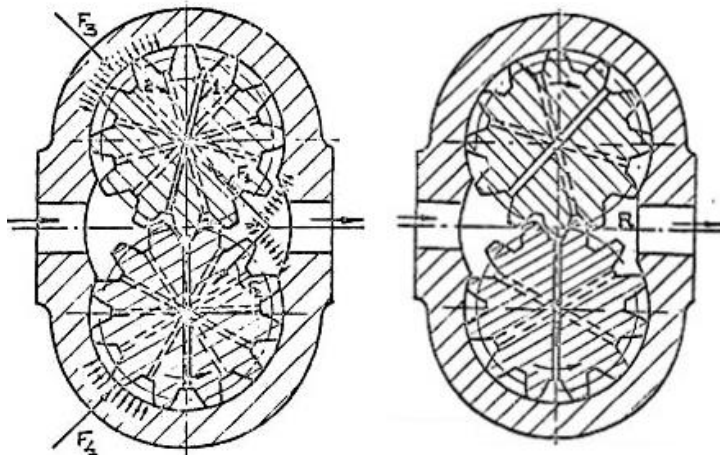
Fuente: vista lateral de empichamiento de engranajes. Elaboración propia, empleando <http://www.sapiensman.com/neumatica/neumatica_hidraulica9.htm>, Consulta 2010.

La bomba de engranajes llamada *Barnes* es una bomba en la cual ya se ha solucionado el problema anteriormente mencionado. En el piñón conducido y en el fondo de los vacíos de los dientes se ha realizado un pequeño agujero por donde se descarga el fluido hidráulico atrapado. Además, se realiza el mismo trabajo en la cresta de los dientes.

En las bombas de engranajes de construcción corriente, el fluido hidráulico ejerce una presión radial sobre los piñones que provoca la deformación de los árboles, el aumento disimétrico del juego y el aumento de fugas. Intentar reforzar radialmente los engranajes de las bombas implica la utilización de rodamientos de grandes dimensiones que aumentan el peso de la bomba.

Los piñones de bombas de engranajes pueden ser equilibrados mediante la utilización de pequeños agujeros en los dientes de manera diametral, estos agujeros atacan los vacíos de los dientes cruzándose diametralmente el piñón, pero sin juntarse. La figura 18 muestra cómo en la descarga de la bomba se genera una presión que se ejerce sobre los dientes de los piñones, produciendo fuerzas resultantes que actúan sobre cada piñón de la bomba.

Figura 18. **Equilibrio de empuje radial en bombas de engranajes**



Fuente: vista lateral de empuje radial de engranajes. Elaboración propia, empleando <http://www.sapiensman.com/neumatica/neumatica_hidraulica9.htm>, Consulta 2010.

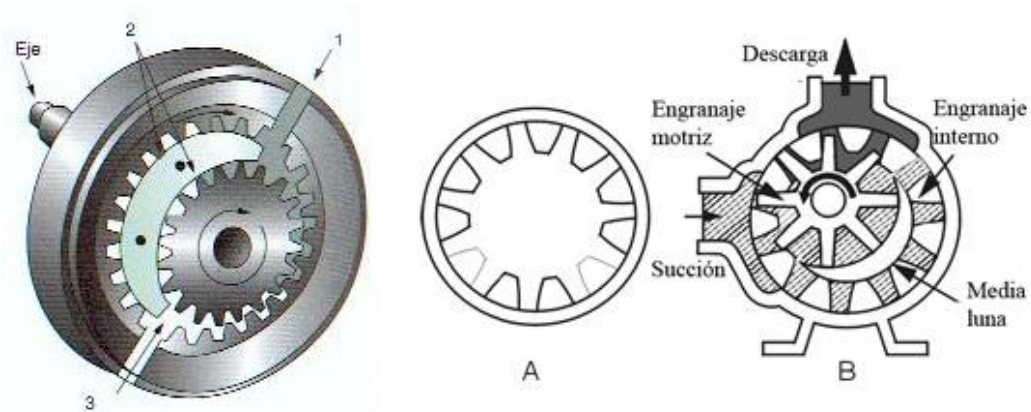
Debido a los agujeros radiales se logra aliviar la presión ejercida a cada piñón, sin embargo, debido a que la presión sobre los engranajes varía durante su rotación, el proceso de equilibrio de cargas en los piñones no puede ser perfecto. Aun así se logra una reducción considerable de las dimensiones de cojinetes y, como consecuencia, la utilización de las bombas de engranajes para trabajo a presiones de servicio mayores.

Las revoluciones de trabajo para las bombas de engranajes de dientes rectos están generalmente entre 900 rpm a 1500 rpm. En bombas de

engranajes que poseen dentado helicoidal, ya sean simples o actas, la velocidad puede llegar hasta 1800 rpm. Los modelos perfeccionados que poseen dientes corregidos con platinas rectificadas de bronce y a los que ya se les corrigió la compresión de aceite entre los dientes en contacto pueden llegar a trabajar hasta en 2500 rpm. En este tipo de bombas es común que se genere ruido cuando se está en funcionamiento. El ruido puede ser amortiguado mediante la utilización de aceites viscosos, pero aumenta considerablemente con el crecimiento de la velocidad y presión de trabajo de la bomba. Otra forma de reducir el ruido es aumentar considerablemente el volumen de la cámara de succión de la bomba.

- Bomba de engranajes de dientes internos: están constituidas por un engranaje de dientes externos cuya función es ser el engranaje motriz, un engranaje de dientes internos y una placa en forma de media luna. Existe una zona donde los dientes engranan completamente, en esta zona no es posible alojar aceite entre los dientes. Debido a que los engranajes están ubicados excéntricamente, estos se separan generando un aumento del espacio con lo cual se provoca una disminución de presión y se asegura la succión del fluido. Luego de esto el fluido hidráulico es trasladado hacia la salida de la bomba, la acción de la placa con forma de media luna y el engrane total impiden el retroceso del fluido. La figura 19 muestra una bomba de engranajes de dientes internos; se pueden observar los componentes que la conforman.

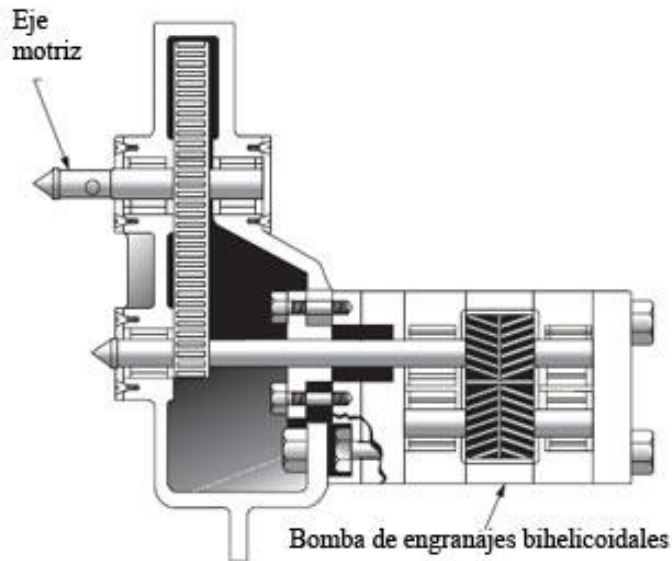
Figura 19. **Bomba de engranajes de dientes internos**



Fuente: diagrama de bombas de engranajes. Elaboración propia, empleando <http://www.sapiensman.com/neumatica/neumatica_hidraulica9.htm>, Consulta 2010.

- Bomba de engranajes bihelicoidales: es una modificación de la bomba de engranajes rectos, el fluido hidráulico se bombea de manera similar a la bomba de engranajes rectos. Sin embargo, en la bomba de engranajes bihelicoidales el juego de dientes que comienza su fase de descarga de fluido lo inicia antes que el juego anterior de dientes termine su fase de descarga. Esta sobreposición y el espacio relativamente mayor en el centro de los engranajes tiende a reducir al mínimo las pulsaciones y permite trabajar con un flujo más constante que el de la bomba de engranajes rectos. La figura 20 muestra una bomba de engranajes bihelicoidales, en la cual se puede observar un corte de sección de la bomba.

Figura 20. **Bomba de engranajes bihelicoidales**



Fuente: vista lateral de bomba de engranajes. Elaboración propia, empleando <http://www.sapiensman.com/neumatica/neumatica_hidraulica9-A.htm>, Consulta 2010.

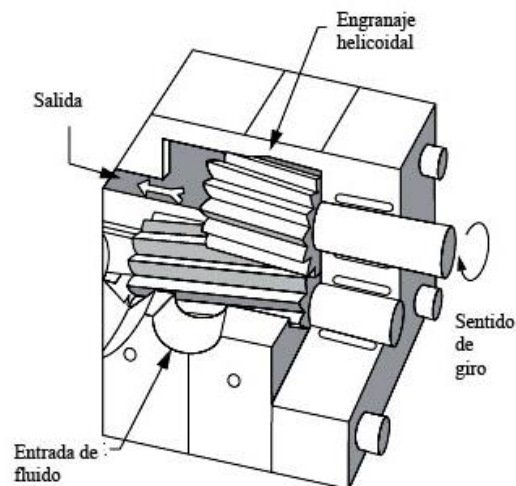
- **Bomba de engranajes helicoidales:** es otra modificación de la bomba de engranaje recto, debido al diseño helicoidal del engranaje se sigue dando el efecto de sobreposición en la descarga. Se producen descargas sucesivas de fluido hidráulico desde los espacios entre los dientes, la descarga de fluido en este tipo de bomba es incluso mayor que la descarga de fluido de la bomba de engranajes bihelicoidales. Es por esto que el flujo de fluido hidráulico para las bombas de engranajes helicoidales es más estable. Debido a esta estabilidad, los engranajes se pueden diseñar con una menor cantidad de dientes, permitiendo así un incremento en la capacidad sin sacrificar estabilidad.

Los engranajes de este tipo de bomba son movidos por un sistema de engranajes de sincronización e impulsión, estos ayudan a mantener el espacio

intersticial requerido sin contacto metálico real entre los engranajes. El contacto metálico entre los dientes de los engranajes de bombeo proporcionaría un sello más estrecho contra el resbalamiento, sin embargo, causaría un desgaste acelerado de los engranajes y aumentaría la cantidad de impurezas en el fluido hidráulico.

Los rodamientos que se utilizarían para apoyar los engranajes helicoidales son de rodillos, este tipo de rodamiento mantiene una alineación correcta de los engranajes y reduce al mínimo las pérdidas por fricción en la transmisión de potencia. La figura 21 muestra una bomba de engranajes helicoidales.

Figura 21. **Bomba de engranajes helicoidales**

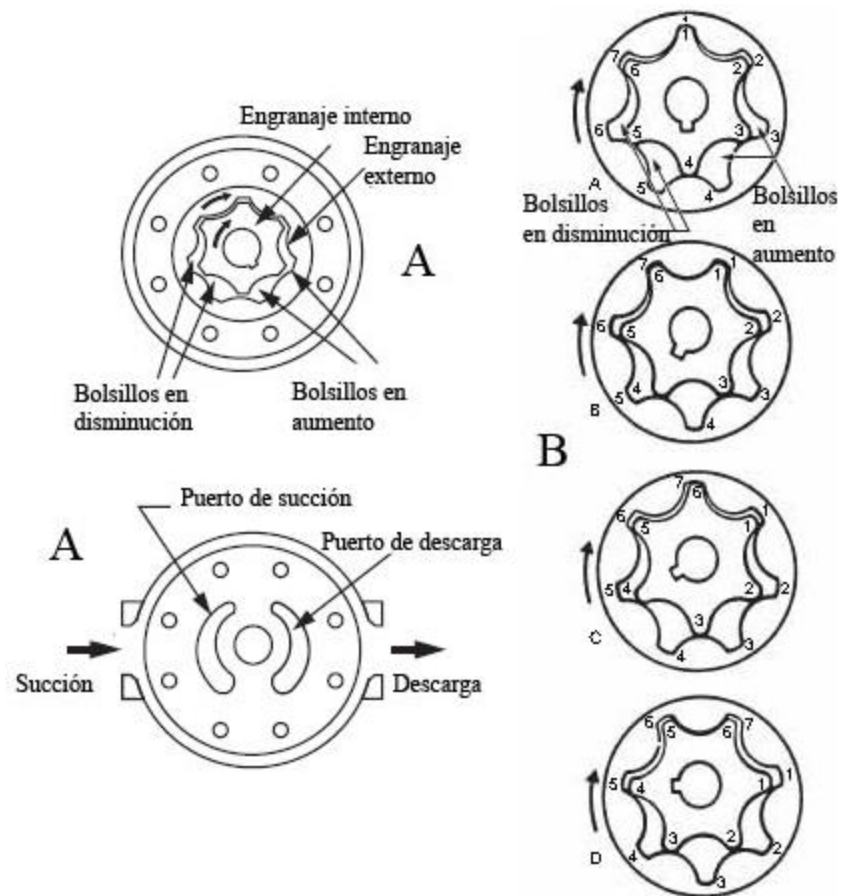


Fuente: diagrama de bomba de engranajes helicoidales. Elaboración propia, mediante <http://www.sapiensman.com/neumatica/neumatica_hidraulica9-A.htm>, Consulta 2010.

- Bomba de engranajes internos centrados: consiste en un par de elementos con forma de engranajes, uno dentro del otro, localizados en el compartimiento de la bomba. El engranaje interno está conectado con

el eje motriz de la transmisión de potencia. La figura 22 muestra una bomba de este tipo.

Figura 22. **Bomba de engranajes internos centrados**



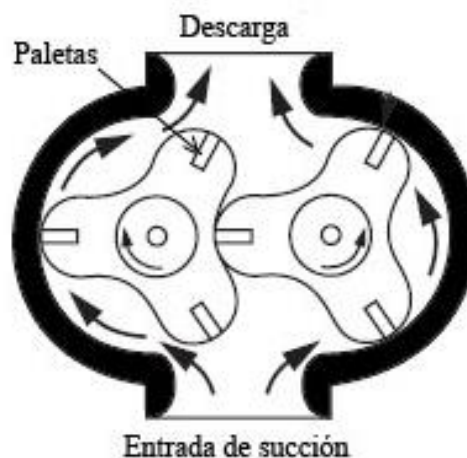
Fuente: diagrama de bombas de engranajes internos. Elaboración propia, mediante <http://www.sapiensman.com/neumatica/neumatica_hidraulica9-A.htm>, Consulta 2010.

El engranaje interno tiene un diente menos que el engranaje externo, la forma de los dientes de cada engranaje los relaciona de tal manera que cada diente del engranaje interno siempre esté en contacto con la superficie del engranaje externo. Cada diente del engranaje interno se endienta con el engranaje externo en apenas un punto durante cada revolución. Mientras los

engranajes sigan girando, los dientes del engranaje interno se endentarán con los dientes del engranaje externo y provocarán que la velocidad de rotación del engranaje externo sea apenas un sexto de la velocidad del engranaje interno.

- Bomba de lóbulos: es otro tipo de bomba de engranajes, funciona mediante el mismo principio de operación de una bomba de engranajes externos. Los lóbulos giran en sentidos opuestos, con esto logran aumentar el volumen y disminuir la presión para producir la succión de fluido hidráulico. Los lóbulos son mucho más grandes que los dientes de un engranaje, pero solamente se diseñan de dos a tres lóbulos por rotor. La figura 23 muestra una bomba de tres lóbulos.

Figura 23. **Bomba de lóbulos**



Fuente: vista lateral de bomba de lóbulos. Elaboración propia, empleando <http://www.sapiensman.com/neumatica/neumatica_hidraulica9-A.htm>, Consulta 2010.

Un rotor es impulsado por una fuerza motriz, mientras que el otro es impulsado a través de engranajes de sincronización. Cuando los dos elementos están girando, el fluido hidráulico queda atrapado entre dos lóbulos de cada rotor y las paredes del compartimiento de la bomba. El fluido hidráulico es

transportado de la succión a la descarga de la bomba. A medida que el fluido sale del compartimiento de la succión, la presión disminuye y con esto se logra adicionar más flujo de fluido que viene del tanque hacia el compartimiento de la succión.

Los lóbulos son contruidos para que puedan producir un sello continuo en los puntos donde estos se interceptan cuando están en el centro de la bomba. Los lóbulos de la bomba son provistos con pequeñas paletas que están situadas en el borde externo, esto mejora la hermeticidad de la bomba.

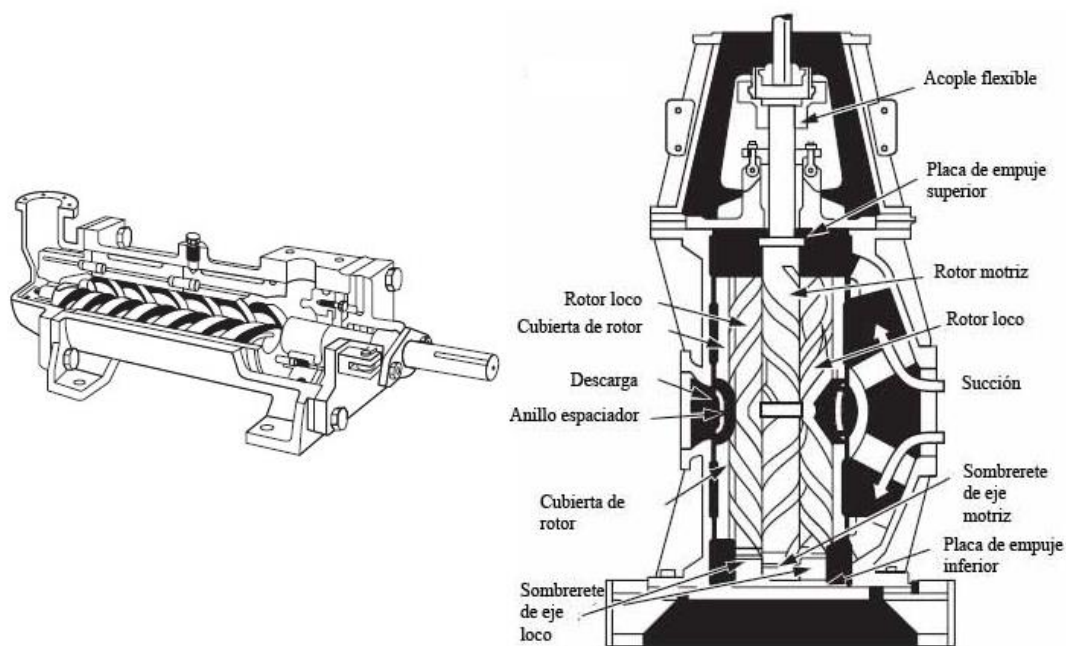
Las paletas se sostienen mecánicamente en las ranuras del lóbulo, sin embargo, están libres para moverse hacia afuera. La fuerza centrífuga mantiene las paletas ligeramente apretadas contra el compartimiento y los otros elementos giratorios.

- Bombas de tornillo: están consideradas dentro de la clasificación de las bombas de engranajes. Se utilizan para transmitir alta potencia hidráulica generalmente en submarinos. Poseen baja eficiencia y elevados costos de mantenimiento, es conveniente utilizarlas para presiones mayores de 3000 psi. Cuando los tornillos giran el fluido hidráulico fluye entre los filetes de rosca en cada extremo de tornillo, los filetes de rosca arrastran el fluido hidráulico dentro de la cubierta del centro de la bomba hacia la descarga. Debido a la construcción de los tornillos, el caudal que pueden desplazar puede ser mayor.

Dentro de la bomba se genera una sola zona de presión y por esto la bomba se constituye como de tipo desequilibrado. Debido a que no se puede cambiar la cilindrada de la bomba se dice que es de caudal constante. Las bombas de tornillo están disponibles en varios diseños, pero todas funcionan

iguales o muy similares. Una bomba de tornillo rotativo de desplazamiento fijo, como se muestra en la figura 24, impulsa el fluido hidráulico axialmente, de forma constante y uniforme mediante la acción de tres partes móviles: un tornillo motriz y dos tornillos inducidos.

Figura 24. **Bomba de tornillo**



Fuente: diagrama de bomba de tornillo. Elaboración propia, empleando <http://www.sapiensman.com/neumatica/neumatica_hidraulica9-A.htm>, Consulta 2010.

El tornillo motriz es el único elemento impulsor, se extiende a lo largo de toda la bomba hasta la conexión exterior con la transmisión mecánica mediante una fuerza motriz o motor eléctrico. Los tornillos inducidos o locos giran libres y su movimiento se debe a que son arrastrados por el tornillo motriz mediante la acción de los filetes de rosca que se endientan entre sí.

El fluido hidráulico bombeado entre los filetes de rosca helicoidales del tornillo motriz y de los tornillos locos proporciona una película protectora de fluido hidráulico, esta se adhiere a las superficies de los tornillos y evita el contacto metal-metal entre las piezas móviles de la bomba. Los tornillos locos no realizan trabajo, por esto no es necesario conectarlos con engranajes para transmitir potencia. Los espacios intersticiales formados cuando los tornillos se endientan son los contenedores estrechos del fluido hidráulico que es bombeado. Mientras que los tornillos giran, estos espacios se mueven axialmente produciendo un flujo continuo.

El diseño de los filetes de rosca de los tornillos es el responsable de la estabilidad de la operación de la bomba. La carga simétrica de presión alrededor del tornillo motriz elimina la necesidad de utilizar rodamientos radiales porque no hay carga radial. Sin embargo, sí es necesario utilizar rodamientos de bolas en los extremos del tornillo motriz, para posicionarlo adecuadamente para la operación y para que se mantenga el sello mecánico.

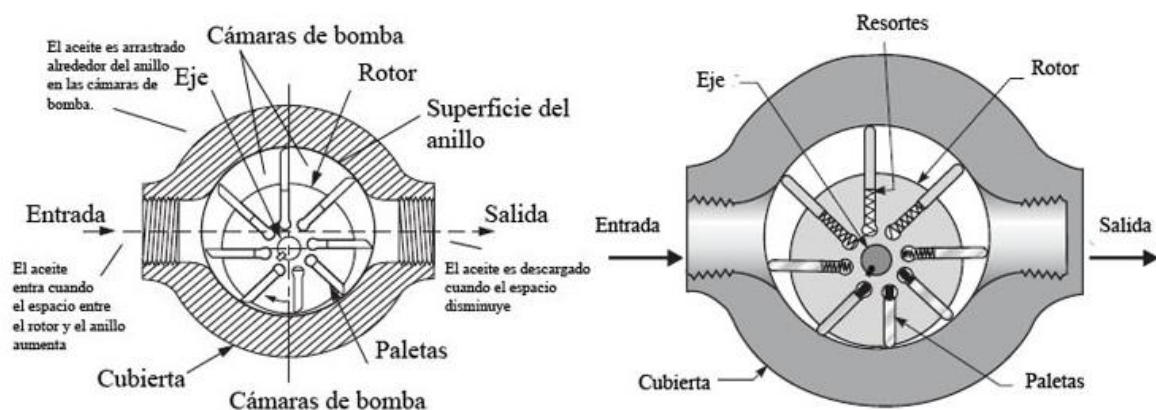
Las cargas axiales en los tornillos creadas por la presión de descarga del fluido son hidráulicamente equilibradas. La clave del funcionamiento de la bomba de tornillo es la operación de los tornillos locos. Los tornillos locos generan una película hidrodinámica para apoyarse como los cojinetes lisos. Puesto que esta película es autogenerada, depende de tres características del funcionamiento de la bomba. La velocidad, presión de descarga y viscosidad del fluido hidráulico.

La fuerza de la película se aumenta si se modifica la velocidad de funcionamiento de la bomba, se puede aumentar también si se disminuye la presión o aumentando la viscosidad del fluido hidráulico. Debido a esto es que la capacidad de funcionamiento de una bomba de tornillo se define por la

velocidad de operación que posee, la presión de descarga y la viscosidad del fluido hidráulico.

- Bombas de paletas: tienen generalmente placas interiores de forma circular o elíptica. Este tipo de bomba, como se muestra en la figura 25, está compuesta por un rotor ranurado que se fija a un eje, este entra en la cavidad de la cubierta a través de una de las placas extremas. Al rotor se le agregan otro grupo de pequeñas placas rectangulares que se fijan dentro de sus ranuras.

Figura 25. **Bomba de paletas desequilibrada**



Fuente: diagrama de bomba de paletas. Elaboración propia, empleando <http://www.sapiensman.com/neumatica/neumatica_hidraulica9-A.htm>, Consulta 2010.

El rotor es colocado excéntricamente dentro del anillo volumétrico, al girar el rotor se genera una cierta diferencia de presión, con esto se logra controlar la cilindrada de la bomba. La excentricidad genera una zona de cierre hermético, que impide que el fluido hidráulico retroceda.

Después de la zona excéntrica se produce, por la fuerza centrífuga, que las paletas salgan de las ranuras del rotor, es en este momento cuando las

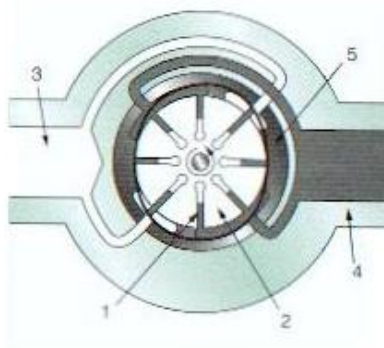
paletas se ajustan a la superficie interna del anillo volumétrico, se forman entonces cámaras entre cada par de paletas que hacen aumentar el volumen y disminuir la presión, para mantener el suministro continuo de fluido hacia la succión. El fluido es arrastrado por las paletas en estas cámaras y es trasladado hacia la descarga de la bomba.

La bomba solo posee una zona de alta presión, esto origina que existan fuerzas que no pueden ser compensadas. Las bombas de paletas con excentricidad se les denominan bombas de paletas desequilibradas. El movimiento del rotor produce una fuerza centrífuga que hace que las paletas se deslicen a lo largo de la superficie de las ranuras, provocando que entren y salgan del rotor. Debido al movimiento de las paletas, de las placas extremas, de la cubierta y del rotor, se generan cavidades que se expanden y se comprimen mientras se mantengan girando el rotor y las paletas.

El fluido hidráulico entra a las cavidades por el puerto de la succión de la bomba mientras estas se agrandan, luego, conforme la cavidad se va comprimiendo, así se va desalojando el fluido en el puerto de la descarga de la bomba.

La bomba de paletas equilibrada se distingue de las otras debido a que el anillo volumétrico y el rotor están ubicados concéntricamente, posee dos puertos de succión y dos puertos de descarga. Esto implica que la bomba realiza dos succiones y dos descargas por cada revolución. La bomba de paletas equilibrada maneja un flujo fijo, las fuerzas resultantes se anulan, por esto se denomina bomba equilibrada. La figura 26 muestra una bomba de paletas equilibrada.

Figura 26. **Bomba de paletas equilibrada**



Fuente: vista lateral de bomba de paletas equilibrada. Elaboración propia, mediante <http://www.sapiensman.com/neumatica/neumatica_hidraulica9-A.htm>, Consulta 2010.

- Bombas de pistones: están diseñadas para trabajar a presiones de servicio más elevadas, presentan una gran variedad de diseños de construcción. Una clasificación genérica de las bombas de pistones es la siguiente:
 - Bomba de pistones en línea
 - Bomba de pistones axiales-pistones radiales

La bomba de pistones en línea maneja un flujo de fluido hidráulico fijo, mientras que las bombas de pistones axiales y pistones radiales manejan un flujo variable. Debido a los altos niveles de presión en operación, las selecciones de los materiales de los componentes mecánicos de este tipo de bomba deben ser los adecuados.

El rotor es fabricado de bronce ferrosos, con una composición basada en carbono, manganeso, fósforo, silicio, cromo y níquel. La dureza del rotor debe estar en un rango de 200 grados en la escala de Brinell.

Los pistones son generalmente fabricados de acero de cementación al cromo y níquel, el eje de distribución también se fabrica de este material, las pistas se fabrican normalmente de acero de rodamiento templado. Los pistones y sus alojamientos son rodados, esto significa que fueron sometidos a un tratamiento de terminación superficial por arranque de material. Este proceso, que en francés lleva el nombre de “Rodage a la pierre” y en inglés “Nonius”, no tiene denominación en castellano, es un proceso similar al superacabado y al de lapidado pero difiere en varios pasos.

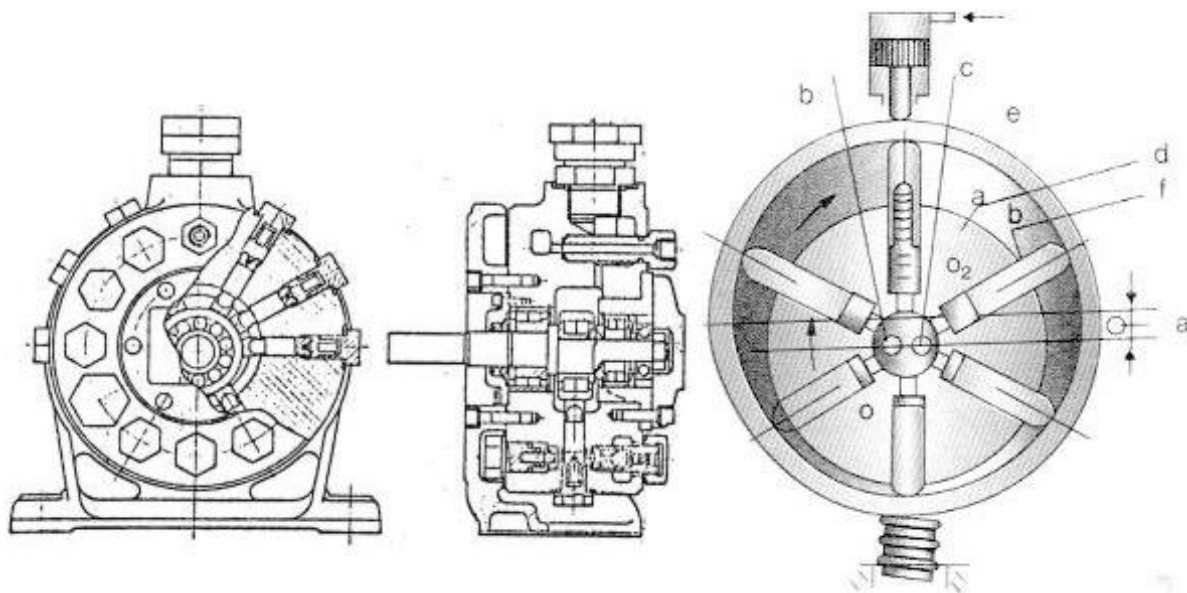
- Bomba de pistones radiales: existen dos clases fundamentales de bombas de pistones radiales, las de caudal fijo y las de caudal variable. Además, pueden ser clasificadas por el tipo de válvulas que poseen, ya que pueden tener válvulas de asiento o rotativas. Las bombas multicilíndricas de pistones en línea tienen siempre válvulas de asiento, los asientos pueden ser de válvulas de bola, de platillo o de asiento cónico. Si los pistones giran, las válvulas son de tipo rotativo o deslizante, se genera una película hidrodinámica que hermetiza las válvulas entre las superficies móviles y estacionarias.

Las bombas de pistones radiales que poseen válvulas rotativas difieren de las bombas que poseen válvulas de asiento, siendo inevitable cierto resbalamiento a altas presiones debido a las fugas de fluido hidráulico a través de las holguras de las válvulas. La presión de trabajo de las bombas de válvulas rotativas se limita para mantener alta eficiencia volumétrica a una presión constante y para evitar que se produzca agarrotamiento de las válvulas bajo la acción de carga excesiva. Las bombas de pistones radiales que trabajan a alta presión deben utilizar válvulas de asiento, esto implica que los pistones no giran. Esta es la disposición clásica de las bombas de caudal fijo.

Los componentes mecánicos que conforman una bomba de pistones radiales son un barril de cilindros, los pistones, un anillo y una válvula de bloqueo. Este arreglo es muy similar a una bomba de paletas, la única diferencia es que en lugar de usar paletas deslizantes se utilizan pistones.

El barril de cilindros que aloja los pistones está excéntrico al anillo, conforme el barril de cilindros gira se forma un volumen creciente a la mitad de la revolución y en la otra mitad se forma un volumen decreciente. El fluido entra y sale de la bomba a través de la válvula de bloqueo que está en el centro de la bomba. La figura 27 muestra una bomba de pistones radiales de caudal fijo.

Figura 27. **Bomba de pistones radiales de caudal fijo**



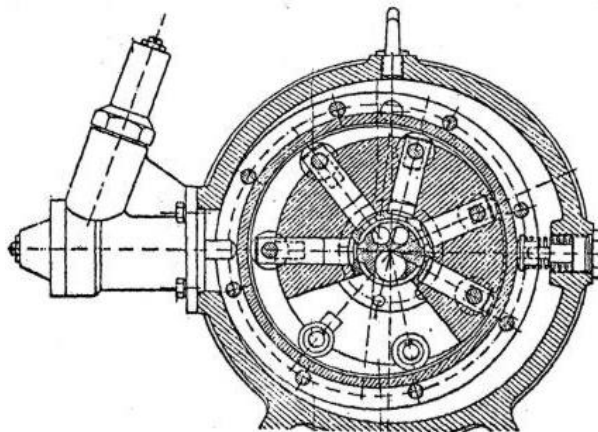
Fuente: diagrama de vista de bomba de pistones. Elaboración propia, empleando <http://www.sapiensman.com/neumatica/neumatica_hidraulica7.htm>, Consulta 2010.

Las bombas de alta velocidad de pistones radiales que utilizan válvulas de asiento permiten obtener resultados con alta eficiencia volumétrica. Esto se debe en parte al control de la temperatura del sistema hidráulico y

fundamentalmente a la viscosidad del fluido hidráulico. Los pistones tienen un rol vital en la eficiencia de la bomba, tienen un acabado superficial tan pulido que se adaptan a los cilindros sin necesidad de utilizar ninguna empaquetadura. La descarga de cada cilindro se realiza en pequeñas pulsaciones de muy alta frecuencia.

La bomba de pistones radiales de caudal variable posee un rotor giratorio que lleva alojado en su interior un distribuidor y colector de caudal, el distribuidor es un eje estacionario que lleva agujeros en su interior. Los agujeros se conectan por medio de toberas con las diferentes cámaras de la bomba: la cámara de succión y la cámara de descarga. Este arreglo forma un sistema de válvulas rotativas deslizantes, que es característico de las bombas rotativas de pistones radiales en estrella de caudal variable. La cantidad de pistones en este tipo de bomba es relativamente elevada, tienen corta carrera y las pulsaciones del caudal son bastante despreciables. La presión de descarga está limitada principalmente por los efectos de alta presión en los cojinetes. La figura 28 muestra una bomba de pistones radiales de caudal variable.

Figura 28. **Bomba de pistones radiales de caudal variable**

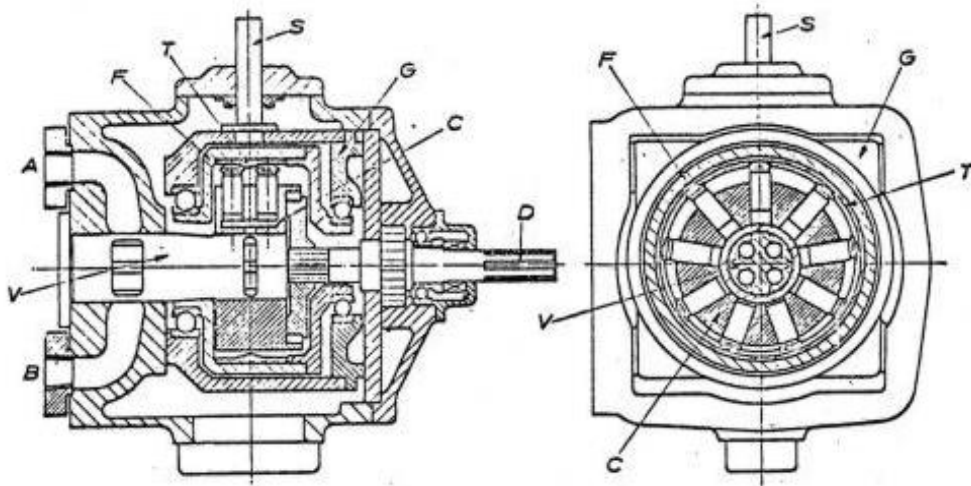


Fuente: vista lateral de bomba de pistones radiales. Elaboración propia, mediante <http://www.sapiensman.com/neumatica/neumatica_hidraulica7.htm>, Consulta 2010.

- Bomba *oilgear*: es una bomba de manufactura americana, es una de las más utilizadas en la actualidad y la más costosa. Esta bomba es posiblemente la más completa de las bombas de pistones radiales de caudal variable. Los pistones radiales de la bomba poseen terminaciones superficiales esféricas, esto permite asegurar el contacto con la pista interior del aro de registro. La pista es de acero templado y está diseñada para que el punto de contacto esté descentrado del eje del cilindro.

El movimiento circular relativo se obtiene mediante la rotación parcial de los pistones que giran dentro de su alojamiento cilíndrico, al mismo tiempo que todo el conjunto gira alrededor del eje de rotación de la bomba. La bomba utiliza dos grupos de pistones en dos planos separados, ambos planos a 90° del eje de la bomba. Los empujes laterales son paralelos al eje del árbol y se equilibran entre sí. La figura 29 muestra una bomba *oilgear*.

Figura 29. **Bomba *oilgear***

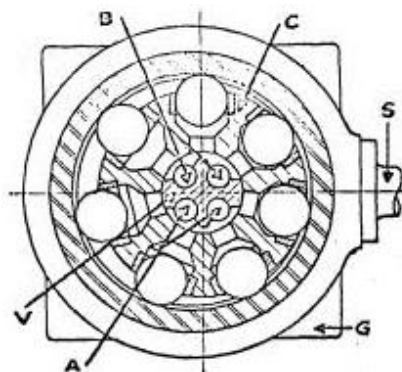


Fuente: diagrama de bomba *oilgear*. Elaboración propia, mediante <http://www.sapiensman.com/neumatica/neumatica_hidraulica8.htm>, Consulta 2010.

- Bomba de pistones esféricos: las bombas que utilizan pistones en forma de bolas han sido motivo de interés entre los usuarios de bombas hidráulicas. Esto se debe al bajo desgaste que se produce en las partes que tienen un rozamiento. El uso de este tipo de bombas se fue incrementando con el desarrollo de materiales con acabados extraduros y antifricción. Este avance permitió que fuera posible fabricar aceros que pudieran evitar el desgaste excesivo y aumentar la vida útil del material para aplicaciones de alta severidad.

Debido a la geometría del pistón de la bomba, que es una bola, es necesario limitar la carrera para aumentar el volumen de fluido que puede ser bombeado por la bomba, sin tener que aumentar el tamaño físico de la bola. La relación que determina esta limitante es de una tercera parte del diámetro de la bola como carrera máxima. Las pistas donde trabajan las bolas son ovaladas y permiten obtener dos carreras por revolución de la bomba, esto duplica el caudal sin aumentar el tamaño de la bomba. Las bombas de pistones esféricos permiten caudal fijo y variable. La figura 30 muestra un arreglo de pistones y pistas para un grupo de bolas y el mecanismo de regulación.

Figura 30. **Bomba de pistones esféricos**



Fuente: vista lateral de bomba de pistones esféricos. Elaboración propia, mediante <http://www.sapiensman.com/neumatica/neumatica_hidraulica8.htm>, Consulta 2010.

- Bombas rotativas de pistones axiales: las bombas de pistones axiales basan su diseño en una placa circular que gira oblicuamente respecto al eje de la bomba. Es este movimiento y el ángulo de inclinación de la placa los que permiten que el pistón desarrolle su carrera y se realicen los dos procesos de trabajo del pistón; succión y descarga.

El grupo de pistones giratorios es instalado en el eje de entrada y la transmisión del movimiento es mediante la utilización de un motor. Los pistones de la bomba están conectados a la placa circular por medio de una corredera, esta se fabrica de bronce o aluminio y permite que los pistones se muevan cuando la bomba está en operación. La figura 31 muestra cómo está conformada una bomba de pistones axiales.

Figura 31. **Bomba rotativa de pistones axiales**



Fuente: diagrama de bomba de pistones axiales. Elaboración propia, mediante <http://www.sapiensman.com/neumatica/neumatica_hidraulica8.htm>, Consulta 2010.

Las correderas de los pistones están unidas a un pivote llamado arandela de empuje, esta arandela está situada en el plato distribuidor y funciona como un pivote para controlar los pasadores de soporte y la salida de la bomba. La

operación de la bomba y su caudal de salida se determinan por el ángulo de inclinación de la placa circular o plato distribuidor, y mientras el plato se mantenga en su posición neutral, no habrá bombeo de flujo hidráulico.

La descarga de la bomba se incrementa en función del aumento del ángulo de inclinación del plato distribuidor y se reduce conforme el ángulo de inclinación disminuye. Este efecto se debe a que, cuando se modifica el ángulo de inclinación del plato distribuidor, se aumenta la carrera de los pistones y el volumen de fluido que puede ser bombeado es mayor. Las bombas rotativas de pistones axiales poseen tres ventajas fundamentales respecto a las bombas de cilindros radiales:

- Los pistones se encuentran muy cerca del eje de giro de la bomba, lo que produce que la fuerza centrífuga sobre cada pistón sea bastante menor a la de los pistones radiales.
- Los efectos de los golpes de ariete son menores debido a que existe mayor rigidez en el mecanismo que produce el movimiento alternativo de la bomba.
- La utilización de estas bombas permite tener mejores rendimientos hidráulicos.

2.3.2. Montaje

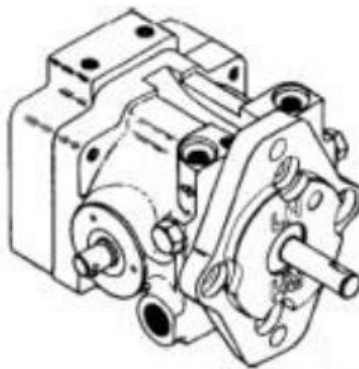
Existen distintas configuraciones para realizar el montaje y puesta en marcha de una bomba hidráulica. En la industria azucarera es común que los preparativos para el montaje de una bomba consistan en verificar la cimentación, si es que existe en el área donde se va a trabajar o realizar una cimentación nueva y si es necesario definir qué tipo de transmisión mecánica se

utilizará para la operación y realizar los trabajos mecánicos de acoplamiento y alineamiento de la bomba.

Normalmente se utilizan motores eléctricos acoplados directamente a la bomba o mediante la utilización de poleas y fajas para realizar la transmisión de movimiento. También pueden utilizarse, según la aplicación, motores hidráulicos o sistemas hidrostáticos compuestos.

Un primer tipo de sistema hidrostático es una bomba con motor instalado remotamente. En este sistema la bomba se instala junto al motor y es impulsada por este. La bomba no está acoplada al motor por medio de un acoplamiento mecánico sino mediante mangueras y tuberías de acero. Estos motores se conocen como de impulsión hidráulica y se pueden instalar directamente en el eje de transmisión. La figura 32 muestra un sistema de bomba con motor remoto:

Figura 32. **Bomba con motor remoto**

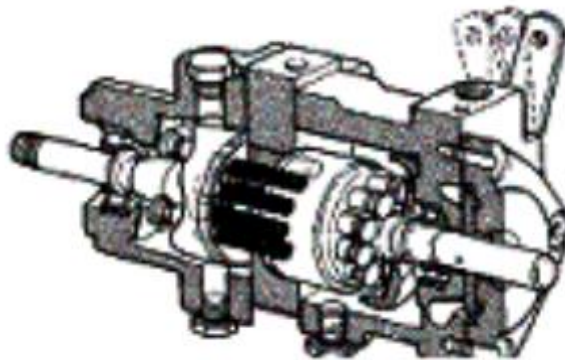


Fuente: diagrama de bomba con motor. Elaboración propia, mediante <http://www.sapiensman.com/neumatica/neumatica_hidraulica5.htm>, Consulta 2010.

Otro tipo de montaje utilizando un sistema hidrostático es el sistema de bomba y motor en línea. En este sistema la transmisión de movimiento se

genera utilizando un motor y una bomba que está construida como un solo elemento mecánico. Se elimina la necesidad de utilizar mangueras o tuberías para la transmisión del movimiento. La figura 33 muestra cómo están contruidos los sistemas de bomba y motor en línea.

Figura 33. **Bomba y motor en línea**



Fuente: bomba y motor en línea. Elaboración propia, mediante <http://www.sapiensman.com/neumatica/neumatica_hidraulica5.htm>, Consulta 2010.

El uso de motores eléctricos para realizar la transmisión de movimiento de una bomba es la configuración que sin lugar a duda más se utiliza. Para poder realizar el montaje de una bomba hidráulica y un motor eléctrico es necesario utilizar un elemento mecánico conocido como acoplamiento, estos permiten unir dos ejes en sus extremos con el fin de transmitir potencia, además el acoplamiento es el elemento mecánico que asegura la transmisión de movimiento y absorbe las vibraciones resultantes de la unión entre los dos elementos. Los acoplamientos pueden clasificarse como acoplamientos rígidos o flexibles:

- Acoplamientos rígidos: son diseñados para unir dos ejes de forma tal que no pueda generarse movimiento relativo entre ellos. Este tipo de diseño es

utilizado en aplicaciones donde se necesita que el alineamiento entre ejes sea preciso. Existen tres tipos de acoplamientos rígidos:

- Los de tipo manguito, en este tipo de acoplamiento se utiliza una pieza cilíndrica hueca para unir los ejes, no permiten desalineamiento y suelen utilizarse para ejes muy largos que no se pueden fabricar en una sola pieza.
 - Los de tipo manguito partido, son muy parecidos a los anteriores, pero están hechos de dos piezas, el acoplamiento es asegurado mediante tornillos que se aprietan para asegurar la transmisión.
 - Los de tipo brida o de plato, este tipo de acoplamiento está fabricado de dos platos forjados con el eje, se utilizan pernos para asegurar la transmisión. Poseen una pieza cónica para que la presión de los pernos apriete los platos contra los ejes y así se asegure que no habrá rozamiento. Este tipo de acoplamiento es utilizado para unir turbinas con generadores eléctricos, conexión que exige un alineamiento perfecto.
- Acoplamientos flexibles: permiten desalineamiento y se pueden clasificar en dos grandes grupos:
 - Rígidos a torsión, este tipo de acoplamiento no amortigua vibración a torsión.
 - Junta Cardan, este tipo de acoplamiento permite elevados desalineamientos, tanto angulares como radiales. Suelen usarse para la transmisión de movimiento entre ejes paralelos.
 - Junta homocinética, este tipo de acoplamiento posee una pieza intermedia con bolas y permite elevadas desalineaciones.

- Junta *Oldham*, este tipo de acoplamiento admite desalineamiento radial, posee a su vez una pieza intermedia que está fabricada de forma cilíndrica con dos salientes prismáticos perpendiculares.
 - Flexible dentado, estos acoplamientos están diseñados con superficies dentadas, mediante las cuales se transmite el movimiento. Permiten desalineamiento angular elevado y desalineamiento radial limitado. También permiten desalineamiento axial dependiendo del largo de los dientes. Una variación usual de este tipo de acoplamiento es la utilización de una corona exterior de plástico que se utiliza para unir las dos bridas en las que se acoplan los ejes para permitir cierto grado de amortiguamiento.
 - De cadena, que consta de dos bridas unidas a los ejes mediante castigadores y de una cadena doble que engrana sobre los dientes.
 - De barriletes, este acoplamiento permite desalineamiento y se utiliza en sistemas de elevación de carga como polipastos.
- Acoplamientos elásticos, este tipo de acoplamiento es capaz de absorber vibraciones mecánicas generadas por esfuerzos de torsión y la transmisión del par no es instantánea. Se dividen en:
 - De diafragma elástico, este tipo de acoplamiento está diseñado con platos que poseen pernos de arrastre, el movimiento del perno se realiza mediante una conexión elástica. Además, permite desalineamiento.
 - De resorte serpentiforme, posee dos bridas que están diseñadas con ranuras en sus extremos, la transmisión de movimiento se realizará mediante la utilización de un fleje o resorte que está diseñado con forma de serpiente.

- De manguito elástico, este acoplamiento posee varios cortes radiales, permite desalineamiento y usualmente es fabricado de tamaño reducido para aplicaciones en electrodomésticos.
- Semielástico, este acoplamiento posee dos bridas que se unen mediante pernos, se utiliza un material elástico para separar una brida de la otra.
- De banda elástica, está diseñado con dos bridas que se unen mediante una banda de caucho.
- De elastómero, este tipo está diseñado con dos bridas con ranuras y se utiliza una pieza intermedia elástica.
- De eje flexible, está fabricado de bronce y permite desalineamiento.

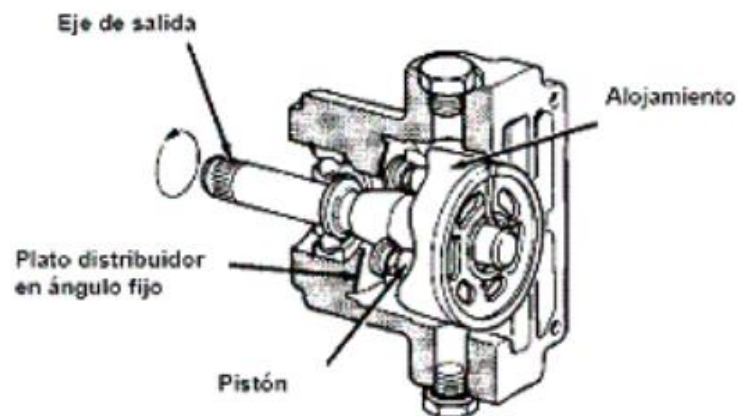
2.4. Motores hidráulicos

Uno de los elementos más utilizados en los sistemas hidráulicos es el motor hidráulico o hidrostático. La razón fundamental es la versatilidad que ofrecen para transmitir movimiento rotacional y potencia dentro del sistema, utilizando únicamente fluido hidráulico. Esto elimina la necesidad de motores eléctricos para hacer movimientos con cadenas, fajas o cualquier componente mecánico dentro del sistema hidráulico.

Los motores hidráulicos pueden ser motores simples de engranajes o motores diseñados con pistones, permiten, dependiendo del diseño, movimiento en una sola dirección o en ambas direcciones. El diseño de un motor hidráulico de pistones es muy similar al de un sistema hidrostático de bomba y motor en línea, excepto que el plato distribuidor es fijo, esto hace que la carrera de los pistones sea constante.

La velocidad de rotación del motor no se puede cambiar, ya que depende del volumen de fluido hidráulico que recibe el motor de la bomba. La única forma de variar la velocidad del motor es ampliando o disminuyendo la cantidad de fluido hidráulico que recibe la bomba del sistema. La figura 34 muestra un ejemplo de un motor hidráulico de pistones.

Figura 34. **Motor hidráulico de pistones**



Fuente: diagrama de motor hidráulico de pistones. Elaboración propia, empleando <http://www.sapiensman.com/neumatica/neumatica_hidraulica8.htm>, Consulta 2010.

2.5. Válvulas hidráulicas

Uno de los elementos vitales para poder diseñar sistemas hidráulicos son las válvulas hidráulicas, ya que estos elementos son los que permiten controlar el volumen, presión y dirección del fluido hidráulico que se utiliza en el sistema.

Se utilizan distintos diseños de válvulas para poder cumplir con estas funciones, generalmente están diseñadas con elementos mecánicos que permiten mediante su accionamiento el control del fluido hidráulico. La precisión en el diseño y construcción de una válvula hidráulica es una de sus principales características, sus superficies internas son de acabados mecánicos y con holguras cuidadosamente fabricadas. Esto obliga a mantener un extremo cuidado con el fluido hidráulico, ya que cualquier contaminación podría provocar que las válvulas se peguen, se obstruyan o se generen desgastes que eventualmente produzcan fugas de fluido.

Las válvulas hidráulicas pueden ser controladas manualmente, eléctricamente, neumáticamente, mecánicamente o hidráulicamente, además se pueden utilizar combinaciones de estos métodos según la conveniencia del sistema y de las señales con las que se está trabajando. Uno de los factores que determina el método que se utilizará para controlar la válvula es el propósito de esa válvula en el sistema, su localización dentro del sistema y la disponibilidad de una fuente de energía. Las válvulas hidráulicas pueden clasificarse según su funcionamiento para control de flujo, control de presión y control de dirección.

2.5.1. Válvulas de control de flujo

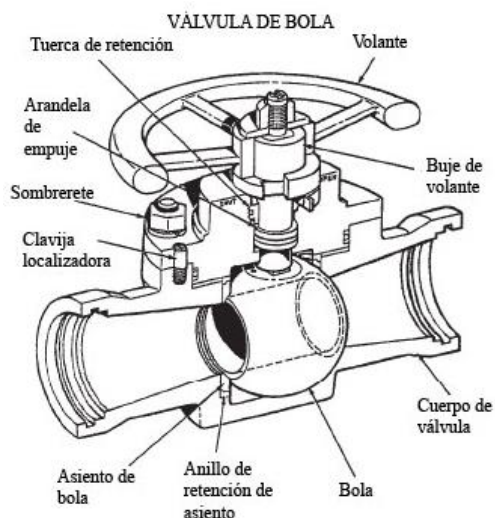
Las válvulas de control de flujo se utilizan para regular el flujo del fluido hidráulico dentro del sistema hidráulico. Este control en los sistemas de potencia fluida es muy importante debido a que todos los movimientos que se derivan del sistema utilizan el fluido hidráulico a presión. Las válvulas pueden ser accionadas mecánicamente, hidráulicamente, eléctricamente o neumáticamente.

- Válvulas de bola

Una válvula de bola es una válvula hidráulica que, mediante la utilización de una bola, permite controlar el flujo del fluido hidráulico. La bola está diseñada con un agujero que la atraviesa, cuando el agujero se alinea en parte o completamente con la entrada y la salida, se produce el flujo de fluido hidráulico a través de la válvula.

La bola gira de la posición cerrada a la posición de apertura mediante el accionamiento que tenga instalado, generalmente las válvulas de bola tienen un accionamiento manual, se utiliza un volante o palanca, este tipo de accionamiento se conoce como accionamiento rápido. Se requiere solamente de una vuelta de 90 grados para abrir o cerrar completamente la válvula. La figura 35 muestra una válvula de bola con accionamiento manual.

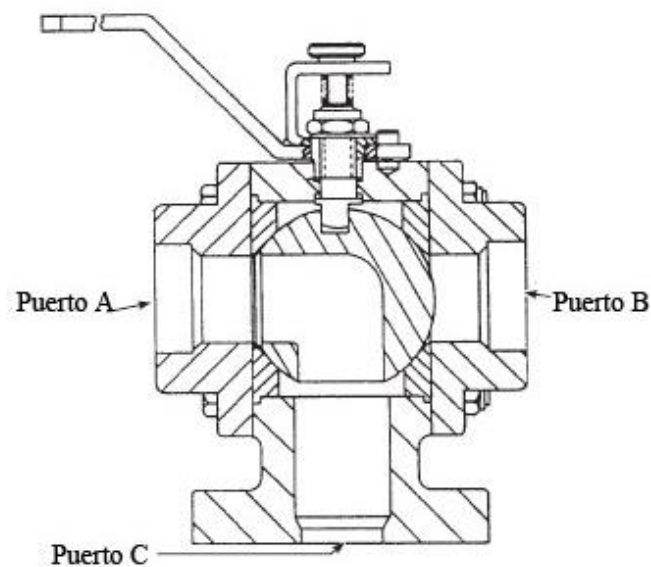
Figura 35. **Válvula de bola**



Fuente: diagrama de partes de válvula de bola. Elaboración propia, mediante <http://www.sapiensman.com/neumatica/neumatica_hidraulica30.htm>, Consulta 2010.

Otro tipo de válvula de bola es la válvula de bola de tres vías, que se utilizan para direccionar el fluido hidráulico de la entrada de la válvula a cualquiera de las dos salidas que posee. La figura 36 muestra una válvula de bola de tres vías.

Figura 36. **Válvula de bola de tres vías**



Fuente: vista lateral de válvula de bola de tres vías. Elaboración propia, mediante <http://www.sapiensman.com/neumatica/neumatica_hidraulica30.htm>, Consulta 2010.

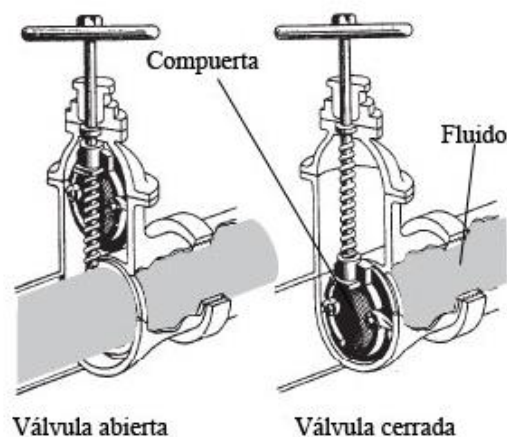
- Válvulas de compuerta: son otro tipo de válvula para controlar flujo, se utilizan en aplicaciones donde es necesario mantener el caudal del fluido hidráulico de manera rectilínea y una restricción mínima al paso del mismo. Las válvulas de compuerta deben su nombre al elemento mecánico que utilizan para el bloqueo o el paso del fluido hidráulico. La compuerta tiene generalmente forma de cuña. Cuando la válvula está abierta, la compuerta está en la parte superior de la corredera, esto permite que se pueda utilizar todo el diámetro de la tubería para el paso

del fluido hidráulico. Es por esto que las válvulas de compuerta presentan poca caída de presión.

Las válvulas de compuerta no son convenientes para aplicaciones donde es necesario realizar estrangulamiento del fluido, el control de flujo en este tipo de válvula es complicado debido al diseño de la válvula, ya que, cuando el fluido golpea la compuerta cuando está parcialmente abierta, se puede causar un daño severo en la válvula. Es por esto que este tipo de válvula se debe utilizar completamente abierta o completamente cerrada.

Las válvulas de compuerta se clasifican como válvulas de vástago ascendente o de vástago no ascendente. La figura 37 muestra una válvula de compuerta con vástago no ascendente, este tipo de vástago está roscado a la compuerta. A medida que el volante de comando del vástago se gira, la compuerta se desplaza hacia arriba o hacia abajo sobre los filetes de rosca que posee el vástago, mientras que este se mantiene estático.

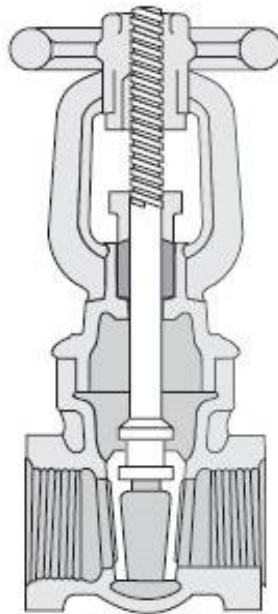
Figura 37. **Válvula de compuerta con vástago no ascendente**



Fuente: diagrama de válvula de compuerta. Elaboración propia, mediante <http://www.sapiensman.com/neumatica/neumatica_hidraulica30.htm>, Consulta 2010.

Las válvulas de compuerta con vástagos ascendentes se utilizan en aplicaciones donde es importante saber inmediatamente la posición de la válvula, abierta o cerrada, esto se logra mediante la identificación de los filetes de rosca que posee el vástago, ya que el vástago se levanta de la válvula cuando está abierta. La figura 38 muestra una válvula de compuerta con vástago ascendente.

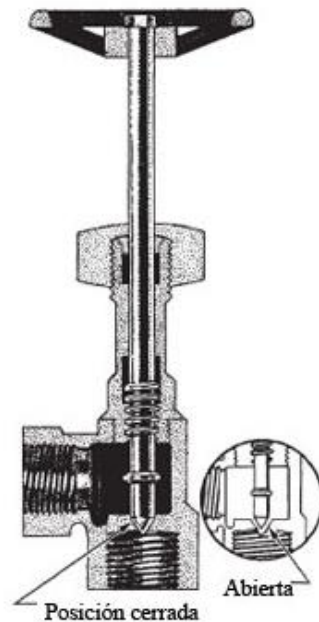
Figura 38. **Válvula de compuerta con vástago ascendente**



Fuente: vista lateral de válvula de compuerta. Elaboración propia, mediante <http://www.sapiensman.com/neumatica/neumatica_hidraulica30.htm>, Consulta 2010.

- Válvulas de aguja: son similares en diseño y operación a las válvulas de globo. Su diseño consiste en una punta afilada larga que se encuentra en el extremo del vástago de la válvula. La figura 39 muestra un corte transversal de una válvula de aguja accionada manualmente.

Figura 39. **Válvula de aguja**



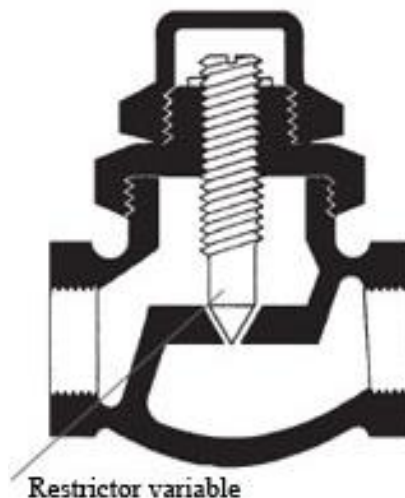
Fuente: vista de válvula de aguja. Elaboración propia, mediante <http://www.sapiensman.com/neumatica/neumatica_hidraulica30.htm>, Consulta 2010.

Debido a la forma cónica larga que tiene el elemento de la válvula de aguja, esta permite una superficie mucho más pequeña de asiento respecto a la que tiene una válvula de globo, es por esto que las válvulas de aguja son más convenientes para utilizarlas como válvulas reguladoras. Son utilizadas para controlar el flujo en manómetros delicados, ya que este tipo de manómetro puede sufrir daños si son puestos a trabajar con fluidos que producen repentinas variaciones cuando están bajos de presión. Además, son utilizadas para controlar ciclos de trabajo en que se requiere que el movimiento del fluido sea de lento a rápido, también permiten ajustes exactos de flujo.

Las válvulas de aguja que se utilizan en los sistemas de potencia fluida generalmente son accionadas manualmente, pero pueden ser construidas sin

manivela para utilizarse como restrictor variable. El restrictor variable permite un ajuste para un régimen específico, este régimen proporcionará el tiempo que se necesite para una operación dentro del sistema de potencia fluida. Es por esta característica que un restrictor variable puede ser utilizado para varias aplicaciones dentro de los sistemas hidráulicos. La figura 40 muestra una válvula de aguja configurada como restrictor variable.

Figura 40. **Restrictor variable**



Fuente: vista lateral de restrictor variable. Elaboración propia, mediante <http://www.sapiensman.com/neumatica/neumatica_hidraulica30.htm>, Consulta 2010.

2.5.2. Válvulas de alivio

Las válvulas de alivio son conocidas generalmente como válvulas de seguridad, esto se debe a la capacidad que poseen de limitar la presión de trabajo del fluido hidráulico dentro del sistema, conocido como límite de seguridad, sin embargo, las válvulas de alivio también pueden ser utilizadas para el establecimiento adecuado de la presión de trabajo del fluido hidráulico dentro del sistema.

Una de las principales aplicaciones de las válvulas de alivio es cuando se utilizan como válvulas de seguridad. Debido a que cada sistema hidráulico diseñado posee bombas de desplazamiento positivo, es necesario instalar una válvula de alivio de seguridad para garantizar el alivio de la presión del fluido hidráulico, cuando se presente un incremento accidental o inesperado por encima del límite establecido como presión de trabajo. En muchos sistemas hidráulicos la válvula de alivio de seguridad no es un componente activo durante el ciclo de trabajo.

Otra aplicación de las válvulas de alivio es el establecimiento de la presión de trabajo dentro del sistema hidráulico, esto permite mantener un nivel de presión constante y estable los circuitos hidráulicos del sistema. La válvula de alivio con pilotaje es la más utilizada para esta aplicación y se considera como un componente activo dentro del ciclo de trabajo.

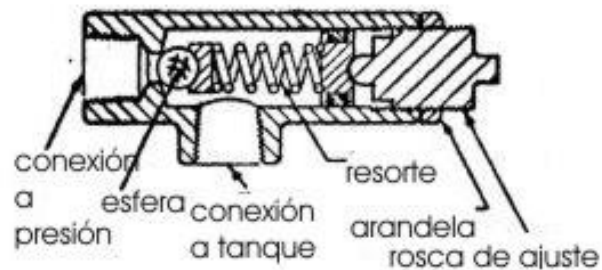
El establecimiento de dos o más presiones de trabajo en un sistema hidráulico es otra de las aplicaciones que tienen las válvulas de alivio, esto debido a que muchos componentes que se utilizan en los sistemas requieren de variaciones y cambios de nivel de presión durante el ciclo de trabajo regular, para esto se utilizan válvulas de alivio con pilotaje que pueden ser controladas de forma automática por accionamientos manuales o eléctricos.

- Válvula de alivio de acción directa

La válvula de alivio de acción directa es una válvula que se utiliza únicamente como válvula de seguridad, su funcionamiento y rendimiento son muy inferiores a las de las válvulas de alivio compensadas o pilotadas. La válvula está compuesta por un elemento de cierre y un resorte, generalmente el elemento de cierre es una esfera, pero se pueden utilizar otros

elementos mecánicos que cumplan con esta función. La esfera entonces es cargada por el resorte para generar el cierre de la válvula. La figura 41 muestra un corte transversal de una válvula de alivio de acción directa.

Figura 41. **Válvula de alivio de acción directa**



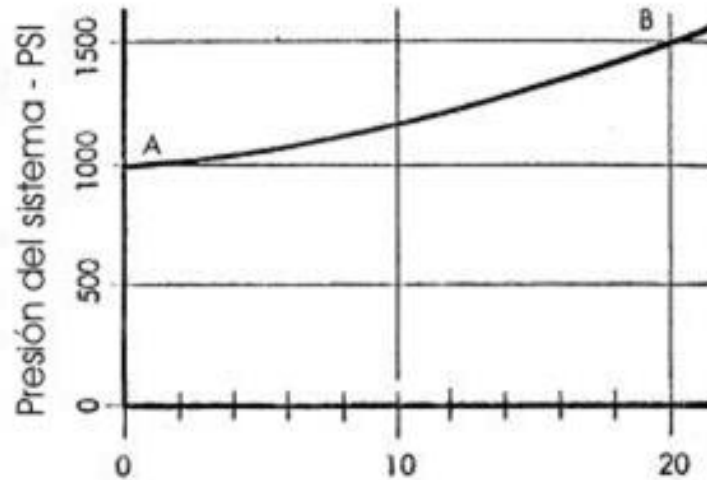
Fuente: diagrama de válvula de alivio. Elaboración propia, mediante <http://www.sapiensman.com/neumatica/neumatica_hidraulica12.htm>, Consulta 2010.

El funcionamiento ideal de una válvula de alivio de acción directa es la de evacuar el flujo total de fluido hidráulico que genera la bomba del sistema, cuando se llegue al límite de presión que fue fijado mediante la carga del resorte. Desafortunadamente esta condición es prácticamente imposible de lograr. La presión de ruptura está definida por el valor de presión al cual el fluido hidráulico comienza a pasar del circuito principal al depósito. En las válvulas de alivio de acción directa, para que esto ocurra, el sistema de presión tiene que balancear la tensión de oposición del resorte. La compresión de este resorte hace que para obtener una apertura total de la válvula se deba incrementar la presión a valores no aceptables en un circuito bien diseñado.

La figura 42 muestra el desempeño de una válvula típica de alivio de acción directa, cuya construcción es sumamente económica. La válvula tiene por diseño un ajuste de presión de ruptura en 1000 psi y está conectada a un

sistema hidráulico que entrega 20 galones por minuto hacia un cilindro hidráulico.

Figura 42. **Desempeño de válvula de alivio de acción directa**



Fuente: gráfica de desempeño de válvula de alivio. Elaboración propia, mediante <http://www.sapiensman.com/neumatica/neumatica_hidraulica12.htm>, Consulta 2010.

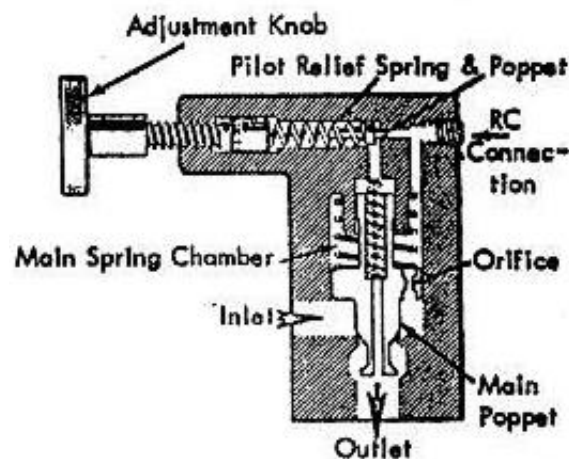
Cuando el cilindro hidráulico alcanza el final de su carrera o se detiene por acción de su trabajo, la presión se incrementa llegando al punto A del diagrama, justo en 1000 psi. Cuando la carga se incrementa, parte del fluido hidráulico que entrega la bomba es descargado al depósito y el cilindro desciende su velocidad de trabajo. Por ejemplo, cuando la presión está a 1200 psi, aproximadamente 10 galones por minuto son entregados al cilindro, esto implica que el movimiento del cilindro está a la mitad de su velocidad nominal.

En la posición B, justo en 1500 psi, el cilindro se detiene debido a que toda la descarga de la bomba es aliviada al depósito a través de la válvula de alivio. De este hecho se puede deducir que no solo la velocidad del cilindro se ve afectada, ya que también se produce una gran pérdida de energía transformada en calor que concluye con el sobrecalentamiento de todo el sistema hidráulico.

- Válvula de alivio con pilotaje

Una válvula de alivio accionada por pilotaje está constituida por un vástago principal encerrado en una cámara primaria donde se hace presente la presión hidráulica, el nivel de regulación es efectuado por una pequeña válvula de alivio de acción directa, ubicada sobre el cuerpo de la válvula principal y controlada a través de un volante de ajuste. El resorte principal es relativamente liviano, debido a que el vástago principal está compensado en cualquier rango de presión a que opera la válvula, por otra parte puede ser montado en cualquier posición. La figura 43 muestra un corte transversal de una válvula de alivio con pilotaje.

Figura 43. Válvula de alivio con pilotaje

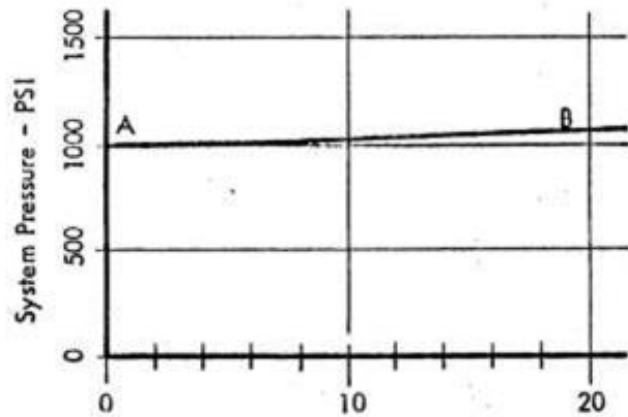


Fuente: diagrama de válvula de alivio con pilotaje. Elaboración propia, mediante <http://www.sapiensman.com/neumatica/neumatica_hidraulica12.htm>, Consulta 2010.

La figura 44 muestra el desempeño de una válvula de alivio con pilotaje, se puede observar que el diferencial de presión entre la presión de ruptura y la presión de alivio es solo de 100 psi, esto permitiría que el

cilindro hidráulico se detuviera completamente con una presión sobrecargada.

Figura 44. **Desempeño de válvula de alivio con pilotaje**



Fuente: gráfica de desempeño de válvula de alivio con pilotaje. Elaboración propia, mediante http://www.sapiensman.com/neumatica/neumatica_hidraulica12.htm, Consulta 2010.

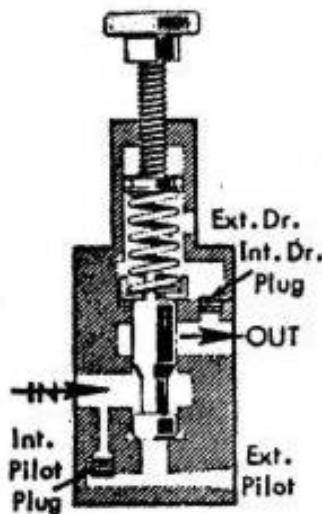
Las ventajas que posee una válvula de alivio con pilotaje respecto a una válvula de alivio de acción directa son las siguientes:

- La diferencia que existe entre la presión de ruptura y la presión de alivio es mucho menor a la que maneja una válvula de acción directa.
- El rango de ajuste de la válvula es mucho mayor al de una válvula de acción directa.
- El control de la válvula puede ser de forma remota, esto hace que la válvula sea capaz de cambiar y de variar la presión de servicio para ser desviada totalmente, permitiendo descargar la bomba libremente al depósito.

2.5.3. Válvulas de secuencia

Las válvulas de secuencia están diseñadas para permitir el control de presión de un circuito hidráulico, pueden operar como contrabalanceo, secuencia y descarga. Las válvulas de secuencia pueden construirse con retención o sin ella, la diferencia es que, si la válvula no posee retención, permitirá el libre flujo de fluido hidráulico en ambos sentidos, mientras que la válvula de secuencia con retención no permite flujo en el sentido inverso.

Figura 45. Válvula de secuencia sin retención

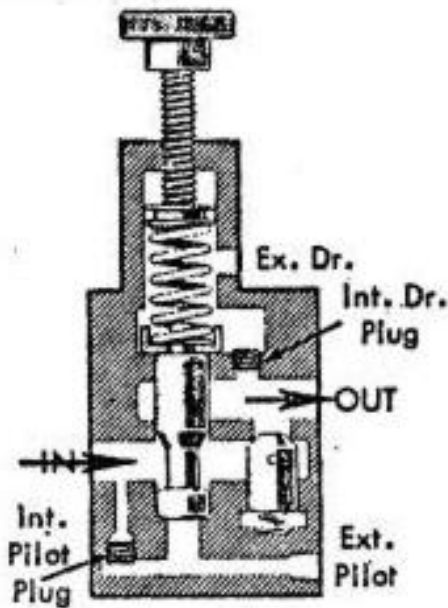


Fuente: vista lateral de válvula de secuencia. Elaboración propia, mediante <http://www.sapiensman.com/neumatica/neumatica_hidraulica13.htm>, Consulta 2010.

La figura 45 muestra un corte transversal de una válvula de secuencia sin retención, este tipo de válvula es utilizada generalmente como descarga de bombas hidráulicas, en esta aplicación el flujo de fluido hidráulico siempre es de entrada a salida y nunca en dirección opuesta. La válvula de secuencia con retención incorporada es utilizada generalmente como secuencia de

contrabalanceo, esto para aplicaciones en donde el flujo del fluido hidráulico será reverso durante cierta parte del ciclo de trabajo. La figura 46 muestra una válvula de secuencia con retención.

Figura 46. **Válvula de secuencia con retención**



Fuente: diagrama de válvula de secuencia. Elaboración propia, mediante <http://www.sapiensman.com/neumatica/neumatica_hidraulica13.htm>, Consulta 2010.

La válvula de secuencia con retención es operada mediante la aplicación de un pilotaje que puede ser interno o externo, el vástago está compensado a la presión que se encuentra la válvula y está normalmente cerrado mediante la acción del resorte ajustable. Para que se realice la apertura, se debe aplicar una presión al pilotaje en el extremo del vástago que está opuesto al resorte, la tensión que tiene el resorte determina el nivel de presión que debe tener el pilotaje para efectuar la apertura de la válvula.

La válvula está diseñada para recibir señales de pilotaje procedentes del suministro interno de presión o de un suministro externo; si el pilotaje es externo deberá ser conectado en el puerto de pilotaje externo de la válvula. Si la válvula se trabaja de esta manera es necesario taponear el puerto de pilotaje interno de la válvula.

El suministro de presión piloto externo es empleado en los casos de descarga de bomba y en ciertos tipos de contrabalanceo, mientras que el pilotaje interno es empleado en otros casos de contrabalanceo y para aplicaciones de secuencia. Es necesario una especial atención para el venteo de la recámara en la cual actúa el resorte del vástago principal de la válvula, ya que cuando el vástago se mueve el volumen de la recámara del resorte varía, de esta forma es necesario mantener esta recámara a presión atmosférica para que no haya efecto de interferencia en la acción del vástago principal. Es por esto que la recámara está diseñada con un drenaje externo que conduce el fluido hidráulico al depósito sin restricciones apreciables. La recámara del resorte también puede ser drenada internamente, esto se consigue con la apertura del puerto de pilotaje interno que estaba taponeado, sin embargo, esto solo es posible si la salida principal de la válvula de secuencia está conectada al depósito.

2.5.4. Válvulas direccionales

Las válvulas de control direccional se diseñan para dirigir el flujo de fluido hidráulico, en el tiempo deseado y al punto en el sistema de potencia fluida donde hará el trabajo. El desplazamiento de un émbolo de un cilindro hidráulico, hacia adelante y hacia atrás, es un ejemplo de la utilización de las válvulas de control direccional.

Las válvulas de control direccional para sistemas hidráulicos y neumáticos son muy similares en diseño y operación, sin embargo, hay una diferencia fundamental: en las válvulas hidráulicas existe un puerto de retorno que canaliza todo el fluido hidráulico hacia el depósito de fluido hidráulico, mientras que en las válvulas neumáticas, los puertos que son similares a este, se utilizan para escape y generalmente ventean a la atmósfera.

Las válvulas de control direccional pueden ser operadas por diferencia de presión, pueden accionarse manualmente, mecánicamente o eléctricamente. Generalmente se utilizan varios métodos de funcionamiento para las fases de acción de una misma válvula.

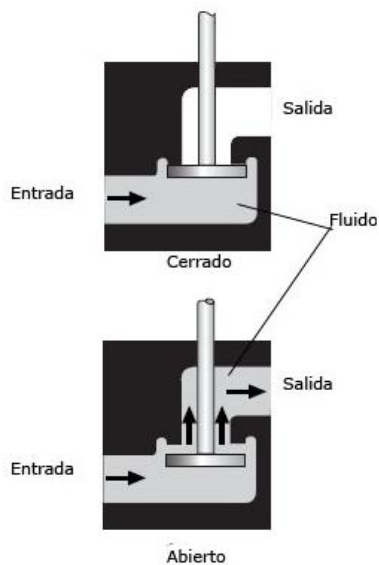
Las válvulas de control direccional pueden clasificarse por el tipo de control, por el número de puertos que posee el cuerpo de la válvula o por la función específica de la válvula. Generalmente la clasificación más utilizada es por la cantidad de puertos o vías que posee, es por esto que son conocidas como válvulas de vías. La cantidad de vías que posee una válvula direccional determinará su capacidad de flujo, su funcionamiento y su aplicación dentro del sistema de potencia fluida.

Los componentes mecánicos que se utilizan para construir las válvulas de vías son usualmente partes comunes que se utilizan en cualquier otra válvula hidráulica. Los componentes más utilizados son: bolas, cono o la manga, la válvula de husillo vertical, el carrete rotatorio y el carrete móvil.

- Válvula de husillo vertical

La válvula de husillo vertical es una válvula de disco que permite un movimiento vertical, esta se ubica en la perforación central del asiento como lo muestra la figura 47. Las superficies de asiento de la válvula y la superficie del asiento son maquinadas con mucha precisión para que, cuando el asiento esté en la posición cerrada, el sello sea perfecto. La función de la válvula de husillo vertical es similar a la de las válvulas de un motor de automóvil, el disco de la válvula se mantiene asentado en su posición mediante la utilización de un resorte.

Figura 47. **Válvula de husillo vertical**



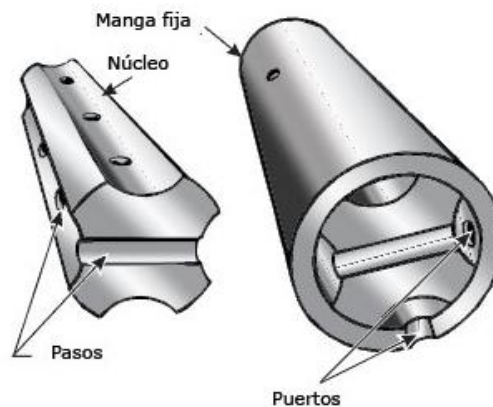
Fuente: diagrama de válvula de husillo. Elaboración propia, mediante <http://www.sapiensman.com/neumatica/neumatica_hidraulica31.htm>, Consulta 2010.

Su funcionamiento consiste básicamente en trabajar cerrada cuando la presión de fluido hidráulico está en el lado de la entrada. La válvula de husillo está cerrada contra el asiento de la válvula. Cuando el vástago de la válvula de husillo genera un movimiento vertical por la aplicación de una fuerza en el vástago, se generará un desplazamiento de la válvula verticalmente, lo que permitirá que el fluido hidráulico empiece a fluir y, por lo tanto, atraviese la válvula.

- Carrete rotatorio

El carrete rotatorio tiene un núcleo redondo con uno o más pasos o hendiduras en el mismo, y el núcleo se monta dentro de una manga inmóvil. Su funcionamiento consiste en girar dentro de la manga inmóvil para habilitar o bloquear los puertos en la manga y con esto permitir y direccionar el flujo de fluido hidráulico hacia el lugar en el sistema donde se realizará el trabajo. La figura 48 muestra el núcleo y la manga de un carrete rotatorio.

Figura 48. **Carrete rotatorio**

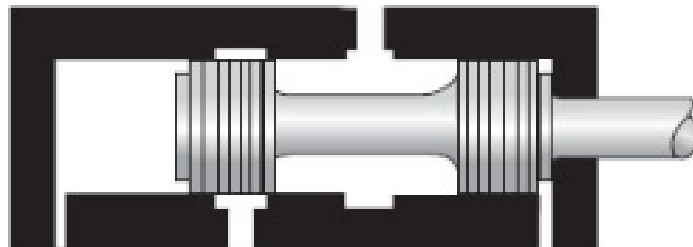


Fuente: diagrama de carrete rotatorio. Elaboración propia, mediante <http://www.sapiensman.com/neumatica/neumatica_hidraulica31.htm>, Consulta 2010.

- Carrete de desplazamiento

El carrete de desplazamiento es uno de los elementos más utilizados en las válvulas de control direccional, se denominan de esta manera debido a que el carrete se desplaza hacia adelante o hacia atrás para bloquear o abrir los puertos dentro de la cubierta. El carrete es diseñado con pistones, cada uno con la misma área transversal, esto permite mantener la presión del fluido hidráulico que entra por los puertos de la válvula sin importar la posición del carrete. El sello se logra por el ajuste preciso con el que se fabrica el carrete y el cuerpo de la válvula o la manga. Las válvulas que poseen más vías se diseñan con un carrete con más pistones. La figura 49 muestra un carrete de desplazamiento en posición abierta y cerrada.

Figura 49. **Carrete de desplazamiento**



Fuente: vista lateral de carrete de desplazamiento. Elaboración propia, mediante <http://www.sapiensman.com/neumatica/neumatica_hidraulica31.htm>, Consulta 2010.

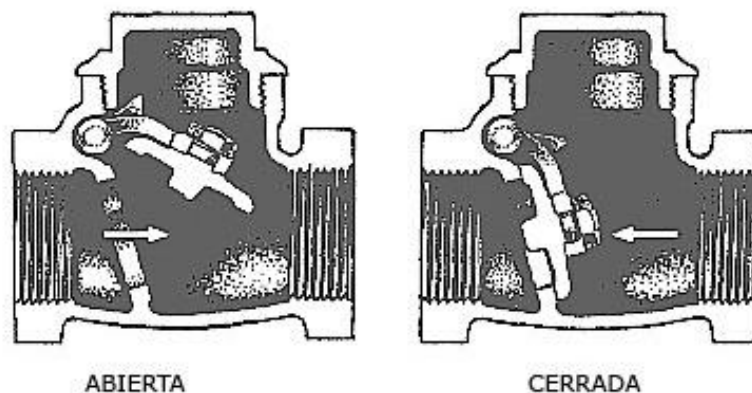
- Válvulas unidireccionales

Las válvulas de una vía se utilizan en los sistemas de potencia fluida para permitir el flujo de fluido hidráulico en una dirección y para bloquear el flujo en la dirección opuesta. Se clasifican como válvulas de control direccional de

una sola vía o unidireccionales. Este tipo de válvula puede instalarse independientemente en una línea, para permitir el flujo en una sola dirección, o puede utilizarse como parte integrante de válvulas de globo, válvulas de secuencia y otras válvulas hidráulicas. Las válvulas unidireccionales están disponibles en varios diseños, generalmente se utiliza un resorte para ayudar a la válvula en la posición de cierre, mientras que en la posición de apertura el fluido hidráulico fluye sin restricción.

La figura 50 muestra una válvula unidireccional oscilante, esta válvula utiliza la fuerza de gravedad para hacer sello, ya que en la posición abierta el flujo de fluido hidráulico empuja el disco hacia arriba y permite el flujo libre, mientras que cuando el flujo intenta retornar, la gravedad fuerza el disco a cerrar y bloquear el paso de fluido. Se puede agregar al diseño de la válvula un resorte para mejorar el sello en la posición de cierre.

Figura 50. **Válvula unidireccional oscilante**

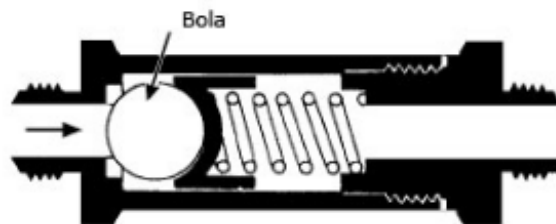


Fuente: vista lateral de válvula unidireccional. Elaboración propia, mediante <http://www.sapiensman.com/neumatica/neumatica_hidraulica31.htm>, Consulta 2010.

La válvula unidireccional por resorte es el tipo más común de válvula unidireccional utilizada en los sistemas de potencia fluida, utiliza una bola o cono como elemento de obturación, a medida que la presión del fluido hidráulico acciona en la dirección del flujo, la bola o el cono son forzados a salir de su asiento, permitiendo el flujo libre del fluido a través de la válvula.

El resorte está instalado en la válvula para cumplir dos funciones, una de ellas es para sostener la bola o el cono en su asiento cuando no hay flujo, y la otra es para forzar a la bola y el cono contra el asiento cuando el fluido hidráulico intenta fluir en la dirección opuesta. Este tipo de válvula no tiene un diseño que dependa de la gravedad, por esto la posición de la válvula no está limitada a una posición vertical. La figura 51 muestra una válvula unidireccional por resorte.

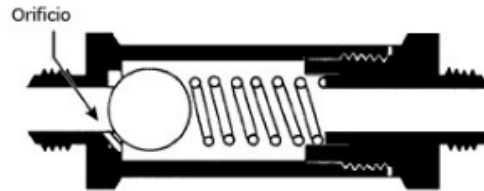
Figura 51. **Válvula unidireccional por resorte**



Fuente: vista lateral de válvula unidireccional por resorte. Elaboración propia, mediante <http://www.sapiensman.com/neumatica/neumatica_hidraulica31.htm>, Consulta 2010.

Una modificación de la válvula unidireccional por resorte es la válvula unidireccional de orificio, esta permite el flujo normal en una dirección y el flujo restringido en la otra, generalmente se conoce como restrictor unidireccional. La figura 52 muestra una válvula unidireccional de orificio.

Figura 52. **Válvula unidireccional de orificio**

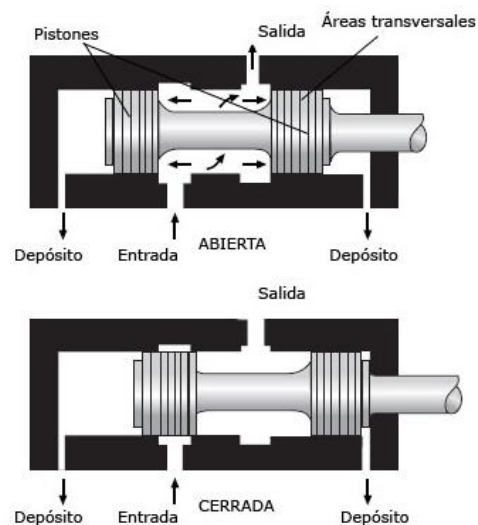


Fuente: vista lateral de válvula unidireccional de orificio. Elaboración propia, mediante <http://www.sapiensman.com/neumatica/neumatica_hidraulica31.htm>, Consulta 2010.

- Válvulas de dos vías

Una válvula de dos vías es una válvula de control direccional que, como su nombre lo indica, contiene y controla el flujo de fluido hidráulico en dos puertos, una entrada y una salida. La figura 53 muestra una válvula de control direccional de dos vías que utiliza un carrete desplazable.

Figura 53. **Válvula de control direccional de dos vías**



Fuente: válvula de control direccional de dos vías. Elaboración propia, mediante <http://www.sapiensman.com/neumatica/neumatica_hidraulica31.htm>, Consulta 2010.

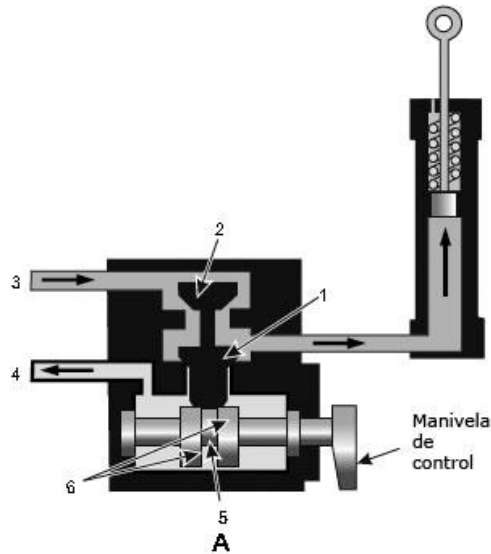
Mientras que el carrete se mueve hacia adelante o hacia atrás, este permite que el fluido hidráulico atraviese la válvula o bloquee su paso. En la posición abierta, el fluido entra en el puerto de entrada, fluye alrededor del eje del carrete y sale por el puerto de salida.

El carrete no podrá moverse ni hacia adelante ni hacia atrás debido a la diferencia de fuerzas establecida dentro del cilindro, ya que las fuerzas en la recámara interior son iguales, esto se debe a que la presión que ejerce el fluido hidráulico se realiza en áreas iguales sobre la superficie de los pistones del carrete. En la posición cerrada, uno de los pistones del carrete simplemente boquea el puerto de entrada, evitando el flujo de fluido hidráulico por la válvula.

- Válvulas de tres vías

Las válvulas de control direccional de tres vías poseen tres puertos: un puerto de entrada conocido como puerto de presión, un puerto de salida y un puerto de retorno a tanque. Se diseñan para accionar unidades de impulsión en una sola dirección, el retorno del cilindro actuador se realiza mediante un resorte. La figura 54 muestra la operación de una válvula de control direccional de tres vías.

Figura 54. Operación de válvula de tres vías

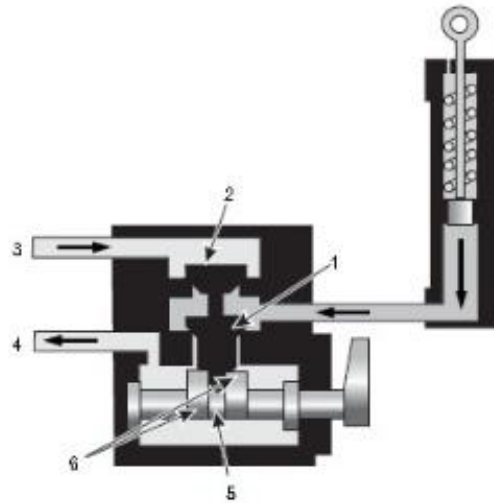


Fuente: operación de carrete de válvula de tres vías. Elaboración propia, mediante http://www.sapiensman.com/neumatica/neumatica_hidraulica31.htm, Consulta 2010.

El fluido hidráulico fluye por el puerto de presión hacia el pistón del cilindro, mientras que el puerto de retorno a tanque es bloqueado por el mecanismo interno, provocando el movimiento hacia afuera del pistón y comprimiendo el resorte que está en la recámara interior del cilindro actuador.

Si se invierte la posición del mecanismo interno, bloqueando el puerto de entrada de presión y habilitando el puerto de retorno a tanque, el fluido hidráulico evacuará la recámara del cilindro actuador y con esto se liberará la presión, el resorte se podrá extender y provocará que el pistón retorne a su posición inicial. La figura 55 muestra una válvula de tres vías con el puerto de retorno a tanque habilitado.

Figura 55. **Válvula de tres vías con puerto a tanque habilitado**



Fuente: diagrama de válvula de tres vías a tanque. Elaboración propia, mediante <http://www.sapiensman.com/neumatica/neumatica_hidraulica31.htm>, Consulta 2010.

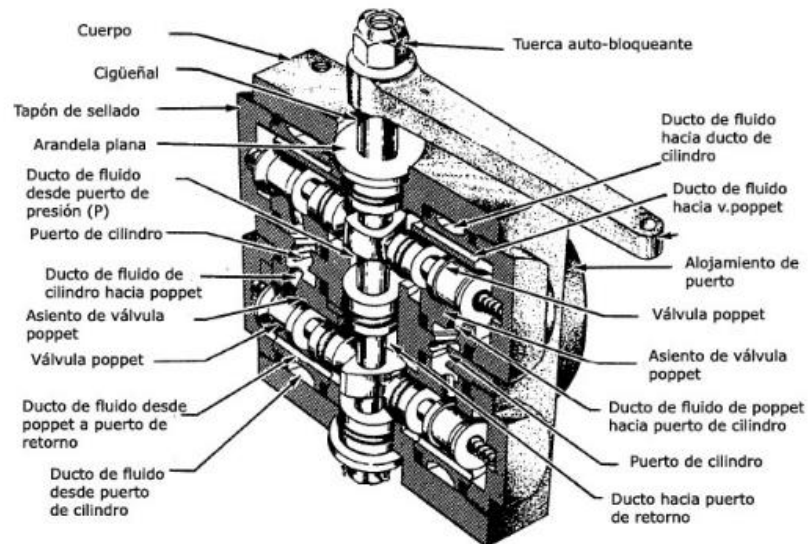
- **Válvulas de cuatro vías**

Las válvulas de control direccional de cuatro vías están diseñadas con cuatro puertos: un puerto de entrada o presión, un puerto de retorno a tanque y dos puertos de salida. Generalmente son utilizadas para la operación de cilindros actuadores que requieren de la presión del sistema hidráulico para realizar sus movimientos en cualquier dirección, además son utilizadas para controlar la operación de otras válvulas. Esta versatilidad en su uso las convierte en el tipo de válvulas de control direccional más utilizadas en los sistemas de potencia fluida.

El puerto de entrada o presión está conectado con la línea de presión del sistema hidráulico, la línea de retorno está conectada al tanque y permitirá retornar todo el fluido hidráulico hasta el depósito y los puertos de salida, conocidos también como puertos de trabajo, que están conectados a los

cilindros actuadores o unidades de impulsión. La figura 56 muestra una válvula de control direccional de cuatro vías.

Figura 56. Válvula de cuatro vías



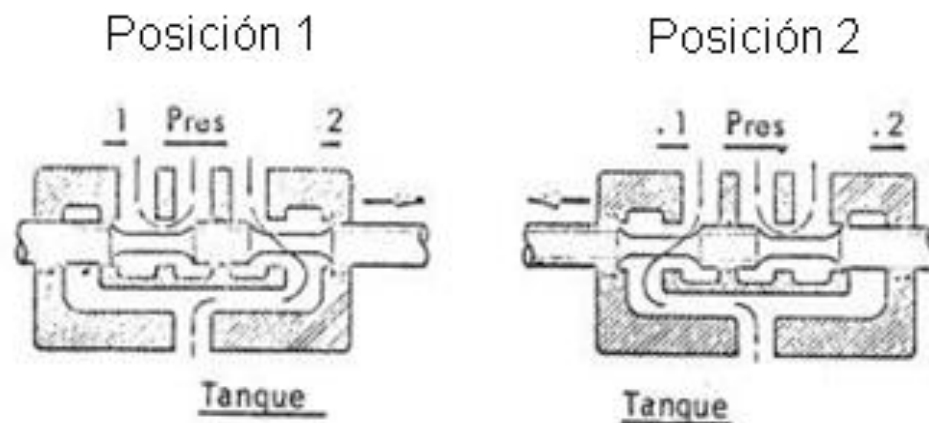
Fuente: diagrama de partes de válvula de cuatro vías. Elaboración propia, mediante <http://www.sapiensman.com/neumatica/neumatica_hidraulica31.htm>, Consulta 2010.

- Válvulas de cuatro vías y dos posiciones

Cuando se trata de gobernar cilindros hidráulicos de doble efecto, o motores hidráulicos que requieren control direccional de flujo en ambos sentidos de circulación, debe aplicarse una válvula de cuatro vías y dos posiciones. La válvula de cuatro vías y dos posiciones, como su nombre lo indica, estará únicamente situada en cualquiera de ambas posiciones extremas, a un lado o en el otro. Cuando la válvula no esté actuada, la presión del sistema se comunica con la cara uno del cilindro, mientras que la cara dos se encuentra conectada a la descarga al tanque. Al invertir la posición del husillo, como se muestra en la figura 57, también se invierten las conexiones y ahora la línea de

presión está conectada a la cara dos del cilindro, mientras que la cara uno se conecta a la descarga al tanque.

Figura 57. **Válvula de cuatro vías dos posiciones**

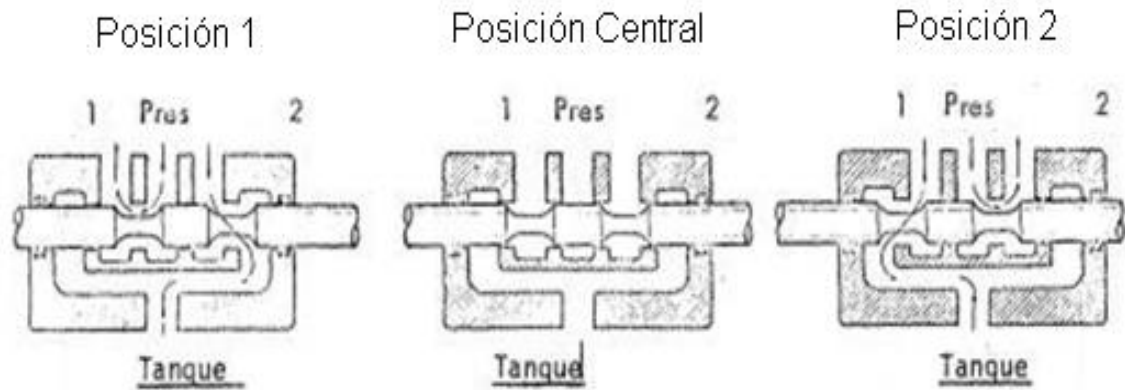


Fuente: diagrama de posiciones de válvulas de cuatro vías. Elaboración propia, mediante <http://www.sapiensman.com/neumatica/neumatica_hidraulica31.htm>, Consulta 2010.

- **Válvulas de cuatro vías y tres posiciones**

La válvula de cuatro vías y tres posiciones es la válvula de control direccional más popular y más conocida, esto debido a que la corredera, aparte de tener dos posiciones extremas, tiene la capacidad de permanecer detenida justo en el centro del cuerpo de la válvula. Esto se logra mediante un sistema de centrado por resorte o retención de bolilla, o por cualquier otro mecanismo de retención. La figura 58 muestra un esquema de cada posición de una válvula de cuatro vías y tres posiciones.

Figura 58. **Válvula de cuatro vías y tres posiciones**



Fuente: diagrama de posiciones de válvulas de cuatro vías y tres posiciones. Elaboración propia, mediante <http://www.sapiensman.com/neumatica/neumatica_hidraulica31.htm>, Consulta 2010.

Este tipo de válvula se encuentra siempre en su posición central, si no está actuada en el momento que se genere un mando, la corredera se deslizará en el sentido del accionamiento y se colocará en la posición correspondiente al extremo donde se produjo el pulso. Debido a su gran aplicación en el mercado, las válvulas direccionales de cuatro vías y tres posiciones poseen una nomenclatura estandarizada, sin importar el fabricante: generalmente se utiliza el símbolo P para presión, T para Tanque, A para uno de los puertos de trabajo y B para el otro puerto de trabajo. Sin embargo, puede que en algunos casos se utilice el número 1 para identificar uno de los puertos de trabajo y 2 para el otro puerto de trabajo.

- Tipos de centros

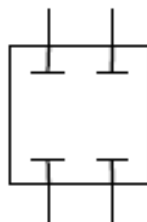
El tipo de centro que posee una válvula de control direccional de cuatro vías y tres posiciones es el que define la aplicación, desenvolvimiento y efectividad de la válvula. Esto debido a que la válvula tiene como su mayor

característica permanecer detenida en la posición central, sin embargo, debido a los distintos tipos de centros que existen, la válvula se comportará de distintas maneras estando en la posición central. Los tipos de centros que existen son los siguientes:

- Centro cerrado

En este tipo de centro todas las vías permanecen cerradas, lo que impide hacer movimientos manuales con los equipos, por ejemplo, mover el vástago de cualquiera de los cilindros hidráulicos del sistema manualmente. Además, ya que la línea de presión está cerrada, el fluido hidráulico no encuentra más alternativa que regresar hacia el tanque a través de la válvula de alivio o de seguridad. Esta condición origina que el fluido hidráulico deba vencer toda la resistencia que opone el resorte de dicha válvula, por lo cual se eleva la presión hasta el nivel máximo, punto en el cual la válvula se abre y permite la descarga de la bomba a alta presión. La figura 59 muestra cómo se representa el centro cerrado en una válvula de control direccional de cuatro vías y tres posiciones.

Figura 59. **Centro cerrado**

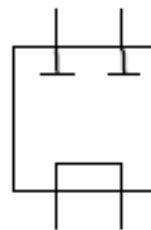


Fuente: centro cerrado. Elaboración propia, mediante <http://www.sapiensman.com/neumatica/neumatica_hidraulica25.htm>, Consulta 2010.

- Centro tándem

En el centro tándem ambos puertos de trabajo están bloqueados, por esto no es posible hacer movimientos con los cilindros hidráulicos manualmente. Por otro lado, los puertos de presión y tanque están conectados, esto permite que la bomba descargue directo a tanque y que lo haga a baja presión. Debido a la configuración del centro tándem, la reacción del sistema hidráulico, cuando la válvula pasa de la posición central a una posición de trabajo, será más lenta que en el caso del centro cerrado. La figura 60 muestra cómo se representa en una válvula de control direccional de cuatro vías y tres posiciones el centro tándem.

Figura 60. **Centro tándem**



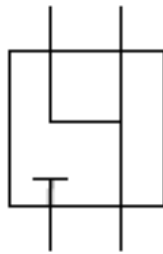
Fuente: centro tándem. Elaboración propia, mediante <http://www.sapiensman.com/neumatica/neumatica_hidraulica25.htm>, Consulta 2010.

- Centro flotante

En un centro tipo flotante, los puertos de trabajo y tanque están conectados, por lo que se encuentran a baja presión, esto permite que se puedan realizar maniobras con los equipos manualmente. Por ejemplo, mover el vástago de cualquiera de los cilindros hidráulicos manualmente. El puerto de presión se encuentra bloqueado en el centro flotante, por lo cual el fluido hidráulico deberá retornar al tanque a través de la válvula de seguridad.

La presión se eleva a nivel máximo y esto provoca que la descarga de la bomba sea a alta presión. La figura 61 muestra cómo se representa un centro flotante.

Figura 61. **Centro flotante**

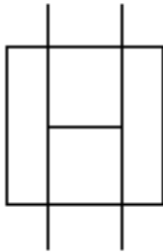


Fuente: centro flotante. Elaboración propia, mediante <http://www.sapiensman.com/neumatica/neumatica_hidraulica25.htm>, Consulta 2010.

- **Centro abierto**

En un centro de tipo abierto, todos los puertos de la válvula están conectados, esto significa que todas las vías están conectadas a la línea de tanque, es decir a baja presión la bomba descarga a baja presión. Debido a esta configuración es posible realizar movimientos con los equipos manualmente, por ejemplo, mover el vástago de cualquiera de los cilindros hidráulicos manualmente. La reacción del sistema hidráulico cuando se utiliza un centro de tipo abierto es más lenta que con cualquier otro tipo de centro. La figura 62 muestra cómo se representa un centro de tipo abierto.

Figura 62. **Centro abierto**



Fuente: centro abierto. Elaboración propia, mediante <http://www.sapiensman.com/neumatica/neumatica_hidraulica25.htm>, Consulta 2010.

- Tipos de accionamientos

Los accionamientos de una válvula de control direccional son aquellos mecanismos que se eligieron para que la válvula pueda actuar, es decir que estos serán el medio de apertura o cierre, acción o paro, operación o pausa de la válvula de control direccional. Existen distintos tipos de accionamientos pero cada tipo deberá agruparse dentro de los siguientes grupos:

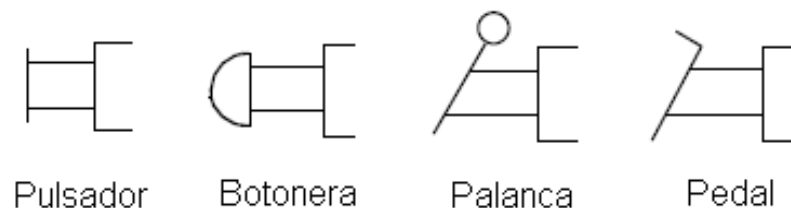
- Accionamiento manual

El accionamiento manual es todo aquel accionamiento que es activado mediante la intervención humana, para este tipo de accionamiento se utilizan botoneras, pulsadores, selectores, botoneras con enclavamiento, palancas, pedales y cualquier otro tipo de mecanismo. Este tipo de accionamiento es principalmente utilizado en operaciones que requieren de la atención continua del operador.

Uno de los ejemplos de la utilización del accionamiento manual es la prensa hidráulica, en la que se utilizan pulsadores o botoneras que deben accionarse manualmente para que la válvula de control direccional sea actuada,

generalmente se colocan dos o más pulsadores para obligar al operador a tener libres las manos cuando se accione la válvula, con esto se asegura que no existe riesgo de cualquier tipo de accidente debido al contacto de la máquina con el operador. La figura 63 muestra cómo se representan algunos de los distintos tipos de accionamientos manuales.

Figura 63. **Accionamiento manual**



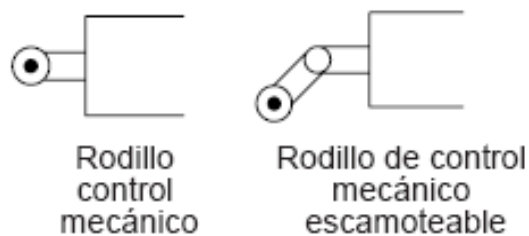
Fuente: tipos de accionamientos manuales para válvulas. Elaboración propia, mediante <http://www.sapiensman.com/neumatica/neumatica_hidraulica25.htm>, Consulta 2010.

- **Accionamiento mecánico**

El accionamiento mecánico es todo aquel accionamiento que se realiza de forma automática, mediante la utilización de rodillos, también conocidos como finales de carrera. Los rodillos se diseñan con la capacidad de resistir la compresión del vástago del cilindro hidráulico cuando este realice su carrera. Se colocan en la posición que se necesita dependiendo de la aplicación y, cuando el vástago pase por su posición, estos harán actuar la válvula de control direccional. Se diseñan de dos tipos: los normalmente conocidos como rodillo de control mecánico y el rodillo de control mecánico escamoteable. El rodillo escamoteable es diseñado con un pivote, esto le permite accionarse en una sola dirección, es decir que el rodillo escamoteable solo accionará la válvula de control direccional en una dirección.

Por ejemplo, si se coloca un rodillo escamoteable en un segmento de la carrera del vástago del cilindro hidráulico, cuando el vástago salga del cilindro y pase accionando el rodillo escamoteable, este hará actuar la válvula, se dará la secuencia del sistema y, al finalizarla, el vástago retorna a su posición de reposo y pasa nuevamente por el rodillo, debido a que este movimiento es en la dirección opuesta, y el rodillo escamoteable no hará actuar la válvula y permitirá retornar a la válvula de control direccional a su posición de reposo. La figura 64 muestra cómo se representa un accionamiento mecánico con rodillo y con rodillo escamoteable.

Figura 64. **Accionamiento mecánico**



Fuente: accionamiento mecánico. Elaboración propia, mediante <http://www.sapiensman.com/neumatica/neumatica_hidraulica26.htm>, Consulta 2010.

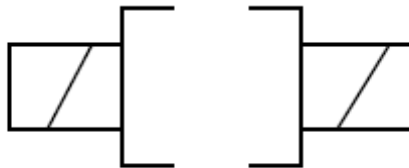
- **Accionamiento eléctrico**

El accionamiento eléctrico es uno de los accionamientos más utilizados para la operación de las válvulas de control direccional. Se utilizan solenoides, denominados de esta manera debido a que para activarse utilizan un pulso de corriente continua, mientras que si el pulso es por corriente alterna, son denominados electroimanes; ambos casos serán utilizados para actuar la válvula. Mediante un pulso eléctrico se energiza el solenoide, esto genera un

campo magnético capaz de hacer que el carrete de la válvula de control direccional se ubique en la posición de trabajo deseada. El carrete se mantendrá en la misma posición, siempre y cuando el pulso eléctrico en el solenoide o electroimán se mantenga.

Cuando se retire el pulso eléctrico, se retira el efecto del campo magnético, el carrete regresará a la posición neutral de la válvula si posee un mecanismo de retorno por muelle o resorte; si no posee el mecanismo, la válvula se quedará en la misma posición hasta que un nuevo pulso haga actuar la válvula y se cambie de posición de trabajo. La figura 65 muestra cómo se representa un accionamiento eléctrico para una válvula de control direccional.

Figura 65. **Accionamiento eléctrico**



Fuente: accionamiento eléctrico. Elaboración propia, mediante <http://www.sapiensman.com/neumatica/neumatica_hidraulica26.htm>, Consulta 2010.

En la industria, una válvula de control direccional que utiliza accionamientos eléctricos es conocida como una electroválvula. Debido a la posibilidad que existe de que el sistema se quede sin alimentación eléctrica, las electroválvulas generalmente poseen un accionamiento manual en cada solenoide o electroimán, que permite actuar la válvula sin un pulso eléctrico.

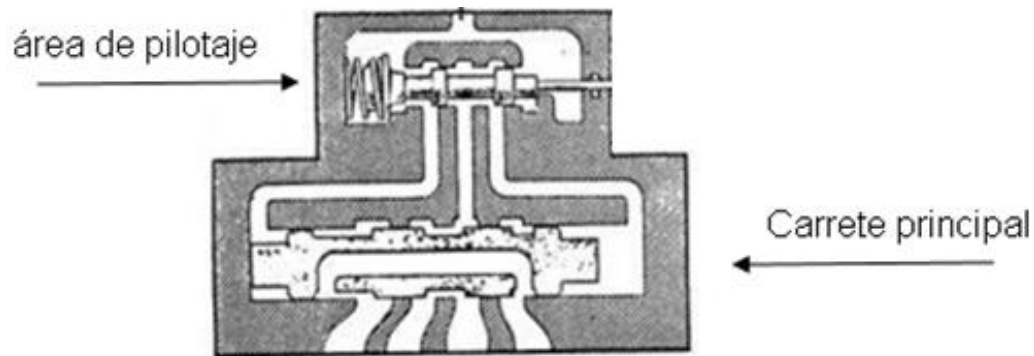
- Accionamiento con pilotaje

El accionamiento con pilotaje es utilizado en válvulas hidráulicas de control direccional destinadas a manejar flujos elevados de fluido hidráulico, las dimensiones se incrementan y los componentes mecánicos son más robustos y requieren de esfuerzos mayores para realizar el movimiento. Es decir que para mover el carrete de una válvula de control direccional de este tipo se requiere de un esfuerzo mayor, por esto se utiliza un pilotaje que permite aliviar el esfuerzo mediante la utilización de un agente intermedio, que puede ser aire comprimido o fluido hidráulico.

Es por esto que los pilotajes se conocen como pilotaje neumático, cuando se utiliza aire comprimido, y pilotaje hidráulico cuando se utiliza fluido hidráulico. La mejor cualidad de un pilotaje es que permitirá, mediante la utilización de un pulso de baja presión y bajo flujo, el accionamiento de una válvula hidráulica de control direccional de alto flujo y alta presión.

El pilotaje permite actuar la válvula hidráulica de control direccional mediante un pulso de aire comprimido o de fluido hidráulico. Se utiliza una válvula de control direccional de menor tamaño que se encuentra colocada dentro de la válvula de control direccional principal. La figura 66 muestra una válvula de control direccional con pilotaje.

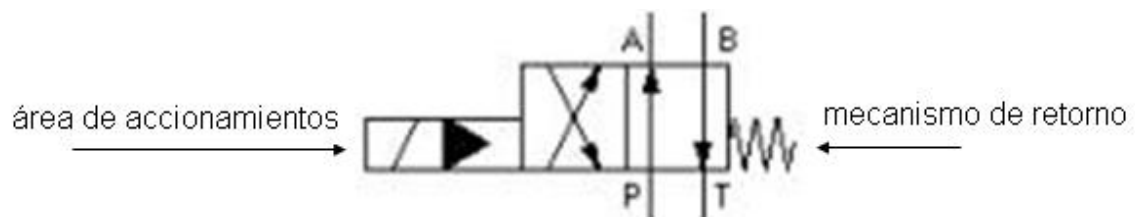
Figura 66. **Válvula de control direccional con pilotaje**



Fuente: válvula de control direccional con pilotaje. Elaboración propia, mediante <http://www.sapiensman.com/neumatica/neumatica_hidraulica31.htm>, Consulta 2010.

El aire comprimido o el fluido hidráulico mueven el carrete de la válvula de menor tamaño y conectan con la recámara de la válvula principal, la misma presión de alimentación de la válvula principal hace que la válvula conmute y se mueva el carrete principal, así la válvula trabaja con alto flujo y alta presión de fluido hidráulico. La figura 67 muestra cómo se representa una válvula de control direccional de cuatro vías, dos posiciones, con accionamiento eléctrico y pilotaje hidráulico.

Figura 67. **Válvula de control direccional con pilotaje hidráulico**



Fuente: válvula de control direccional con pilotaje hidráulico. Elaboración propia, mediante <http://www.sapiensman.com/neumatica/neumatica_hidraulica25.htm>, Consulta 2010.

- Válvula de control direccional monoestable

Una válvula de control direccional se define como monoestable cuando solo tiene accionamientos en uno de los extremos de la válvula, este es el caso de la válvula que se representa en la figura 67. La válvula conmuta cuando se presenta el pulso y se mantiene actuada mientras el pulso se mantenga; cuando se retire el pulso, la válvula retornará a su posición de reposo mediante un mecanismo de retorno que utiliza un muelle o resorte. El accionamiento de la válvula puede ser de un solo tipo o una combinación de varios tipos, es decir, la válvula puede tener un accionamiento manual o un accionamiento eléctrico, o bien, una combinación de accionamiento eléctrico con pilotaje hidráulico.

- Válvula de control direccional biestable

Una válvula de control direccional se define como biestable cuando tiene accionamientos en ambos extremos de la válvula, esto implica que cuando se presente un pulso en cualquiera de los extremos de la válvula, este hará actuar la misma, haciendo que el carrete se coloque en la posición de trabajo y aun retirándose el pulso del accionamiento. La válvula se mantendrá en esa posición hasta que se presente un nuevo pulso en el accionamiento contrario, por lo tanto, la válvula se mantendrá en la última posición de trabajo que tuvo hasta que se presente el nuevo pulso, es por esto que a las válvulas de control direccional biestables se les conoce como válvulas de memoria.

2.6. Cilindros hidráulicos

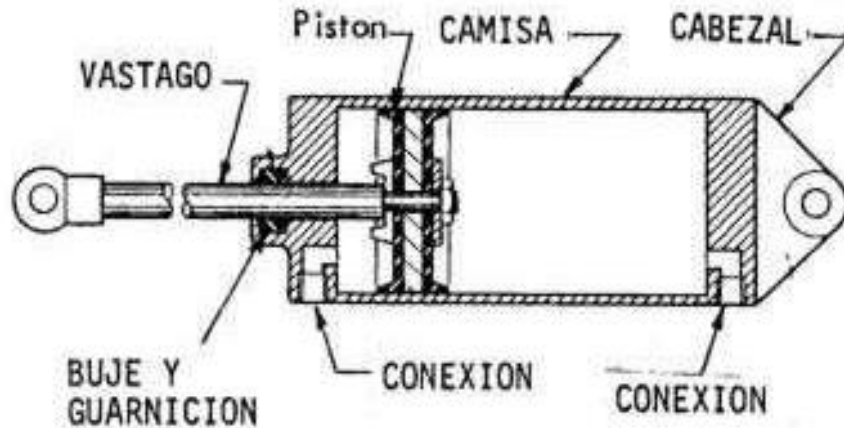
Los cilindros hidráulicos, también conocidos como actuadores, son dispositivos que convierten la potencia fluida en potencia mecánica, utilizados en los sistemas hidráulicos para realizar movimientos tanto lineales como

rotativos, permiten aprovechar toda la energía de presión que posee el fluido hidráulico en fuerza y movimiento mecánico. Una de las características más importantes que poseen los cilindros hidráulicos es que pueden hacer posible esta conversión de potencia en cualquier punto del sistema hidráulico, esto se traduce en fuerza y movimiento mecánico; movimientos que pueden ser lineales o rotativos. Puesto que el movimiento lineal es un movimiento hacia adelante y hacia atrás a lo largo de una línea recta, este tipo de actuadores se conoce generalmente como motor recíproco o motor lineal.

La presión del fluido hidráulico determina la fuerza de empuje del cilindro hidráulico, mientras que el caudal del fluido hidráulico es el que determina la velocidad de desplazamiento del cilindro hidráulico. La combinación de fuerza y desplazamiento produce trabajo, cuando este trabajo es realizado en un determinado tiempo produce potencia. El cilindro hidráulico consiste en un émbolo o pistón que opera dentro de un tubo cilíndrico, puede ser instalado de manera que el cilindro esté anclado a una estructura fija y el émbolo o pistón sea fijado al mecanismo móvil, o que el pistón o émbolo sea anclado a la estructura fija y el cilindro sea fijado al mecanismo móvil. Los cilindros actuadores para los sistemas neumáticos e hidráulicos son similares en diseño y operación.

Un cilindro hidráulico en el cual la superficie transversal del pistón es menos de la mitad de la superficie transversal del elemento móvil se conoce como cilindro hidráulico tipo pistón. La figura 68 muestra un cilindro hidráulico tipo pistón.

Figura 68. **Cilindro hidráulico tipo pistón**



Fuente: diagrama de cilindro hidráulico. Elaboración propia, mediante http://www.sapiensman.com/neumatica/neumatica_hidraulica22.htm, Consulta 2010.

Este tipo de cilindro hidráulico se utiliza normalmente para aplicaciones que requieran funciones tanto de empuje como de tracción. El cilindro hidráulico tipo pistón es el tipo más utilizado en los sistemas de potencia fluida. Las partes esenciales de un cilindro hidráulico tipo pistón son:

- Camisa cilíndrica
- Pistón
- Vástago
- Cabezales extremos
- Sellos

Los cabezales se encuentran fijados en los extremos de la camisa, estos cabezales extremos contienen generalmente los puertos fluidos. Uno de los cabezales está perforado para que el vástago del pistón pase a través de este.

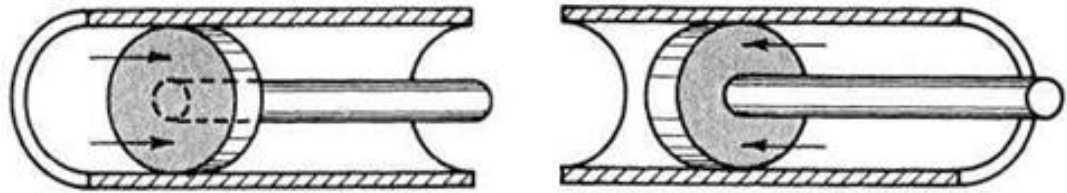
El cabezal del extremo contrario generalmente está provisto de un vínculo mecánico, esto para permitir que el cilindro hidráulico pueda ser asegurado a una estructura, este cabezal extremo se conoce como el cabezal de anclaje. Los sellos se utilizan entre la perforación y el vástago del pistón para evitar fugas de fluido hidráulico y para que la suciedad y otros contaminantes no entren en la camisa.

El vástago del pistón se puede extender a través de cualquiera de los extremos del cilindro, el extremo extendido del vástago es normalmente roscado para poder fijar un vínculo mecánico, se pueden utilizar pernos de argolla, horquillas o tuercas de fijación. La conexión que existe entre el vínculo mecánico y la unidad que será accionada por este, deberá ser ajustada correctamente para evitar que el vínculo mecánico gire. El otro extremo del vínculo mecánico queda fijo directamente mediante la utilización de un acoplamiento mecánico adicional.

- Fuerza de empuje

La figura 69 muestra el vástago de un cilindro hidráulico trabajando dentro de la camisa cilíndrica. El fluido hidráulico que actúa sobre la cara anterior y posterior del pistón provoca el desplazamiento de este a lo largo de la camisa, con esto se realiza la transmisión de movimiento hacia afuera a través del vástago.

Figura 69. **Vástago de cilindro hidráulico**

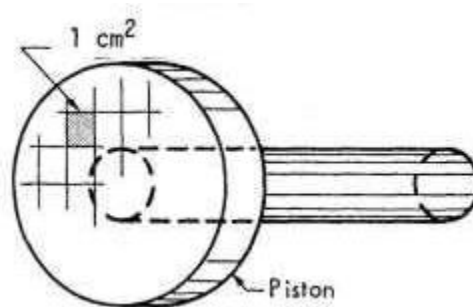


Fuente: vista lateral de vástago de cilindro hidráulico. Elaboración propia, mediante <http://www.sapiensman.com/neumatica/neumatica_hidraulica22.htm>, Consulta 2010.

El desplazamiento hacia adelante y hacia atrás del cilindro se denomina carrera. La carrera de empuje es la carrera que realiza el cilindro hidráulico cuando el fluido hidráulico entra en la recámara del cilindro donde no hay vástago, mientras que la carrera de tracción es la carrera que realiza el cilindro hidráulico cuando el fluido hidráulico entra en la recámara donde se encuentra el vástago.

Debido a la diferencia de áreas transversales que existe entre cada una de las recámaras, la fuerza de empuje realizada por la carrera de empuje siempre será mayor a la fuerza generada por la carrera de tracción. La figura 70 muestra un émbolo de un cilindro hidráulico y la diferencia en área transversal de cada recámara. La fuerza de empuje es igual a la presión manométrica del fluido hidráulico multiplicada por la superficie total del émbolo del pistón.

Figura 70. **Émbolo de cilindro hidráulico**



Fuente: diagrama de émbolo de cilindro hidráulico. Elaboración propia, mediante <http://www.sapiensman.com/neumatica/neumatica_hidraulica22.htm>, Consulta 2010.

La diferencia en área transversal se define claramente debido a la presencia del vástago del cilindro en una de las caras del émbolo o pistón, esto produce que el fluido hidráulico tenga menos área transversal para aplicar la fuerza de empuje en esa cara del pistón, mientras que en la cara opuesta el fluido hidráulico tiene toda la superficie para realizar la fuerza. Es importante mencionar que la fuerza de empuje es directamente proporcional al área del pistón, el aumento del área del pistón aumenta la potencia del cilindro.

- Dimensionamiento de un cilindro hidráulico

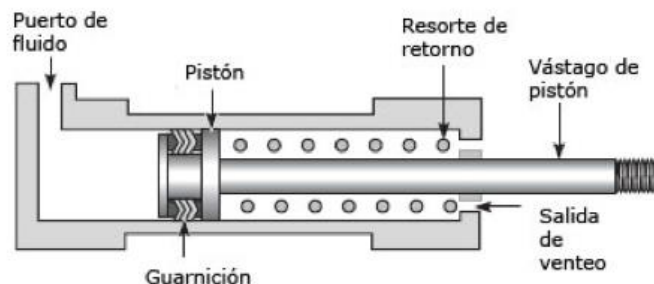
El dimensionamiento del cilindro hidráulico define la capacidad de carga que podrá manejar una aplicación, se recomienda que cuando se realiza el diseño del cilindro siempre se sobredimensione, esto permitirá que el cilindro hidráulico pueda tener un empuje mayor al requerido para contrarrestar las cargas de manera más rápida y eficiente. La cantidad de sobredimensionamiento se determina en función de la velocidad deseada, cuanto mayor sea el sobredimensionamiento mayor será la rapidez con la que se realizará la carrera del cilindro con carga. Un criterio general de sobredimensionamiento para cilindros hidráulicos es cuando la velocidad del

movimiento no es importante, para estos casos se recomienda un 25 % superior a la carga necesaria, mientras que cuando la velocidad del movimiento del cilindro es importante, se recomienda un 100 % superior a la carga requerida.

- **Cilindro de simple efecto**

Los cilindros de simple efecto aplican la fuerza de trabajo solo en una dirección, el fluido hidráulico desplaza el émbolo y lo fuerza hacia afuera. Este movimiento se transmitirá hacia el vástago del cilindro y, por consiguiente, hacia el objeto que el cilindro está destinado a mover. Puesto que no hay dispositivo que permita contraer el émbolo por medio de potencia fluida, cuando se libere la presión hidráulica, el émbolo solo regresará a su posición inicial por medio del peso del objeto que movió o por medio de algún elemento mecánico. Es en este caso en donde se utiliza un resorte como el elemento mecánico que permite al cilindro de simple efecto retornar a su posición inicial. El cilindro de simple efecto no podrá mover ningún objeto a menos que la presión hidráulica del fluido dentro de este comprima el resorte y force el movimiento, de lo contrario el resorte mantendrá el émbolo en su posición de arranque. La figura 71 muestra un cilindro de simple efecto.

Figura 71. **Cilindro de simple efecto**



Fuente: vista lateral de cilindro hidráulico de simple efecto. Elaboración propia, mediante <http://www.sapiensman.com/neumatica/neumatica_hidraulica22.htm>, Consulta 2010.

- Cilindro de doble efecto

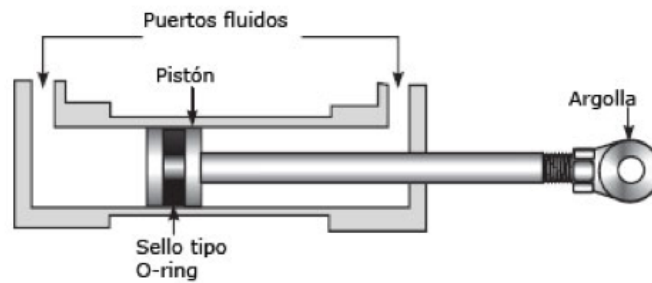
Los cilindros hidráulicos de doble efecto permiten dos movimientos al émbolo, ambos movimientos son producto del fluido hidráulico a presión. El cilindro posee dos puertos de entrada de fluido hidráulico, cada uno colocado cerca del extremo del cilindro. El fluido hidráulico se dirige hacia el extremo cerrado del cilindro para aplicar la fuerza de empuje sobre el émbolo y con esto extender el vástago del cilindro. Luego, para contraer el mismo vástago, se deberá aplicar sobre el émbolo una fuerza en la dirección contraria al movimiento inicial, para esto el fluido hidráulico deberá ingresar al cilindro por el puerto que se encuentra en el extremo opuesto y provocar un empuje de tal manera que el émbolo regrese a la posición de arranque.

Por lo general, se utiliza una válvula de control direccional de cuatro vías para controlar un cilindro de doble efecto, cuando la válvula es posicionada para extender el vástago del émbolo, el fluido hidráulico presurizado entra al puerto A y actúa sobre la superficie base del émbolo, esto fuerza el émbolo y queda afuera. El fluido sobre el labio del émbolo queda libre para fluir y se dirige hacia el puerto B, esto a través de la válvula de control y a la línea de retorno.

Normalmente, la presión del fluido hidráulico es igual para cualquier movimiento del émbolo, sin embargo se debe recordar que la fuerza ejercida en el émbolo varía en función del área transversal. La presión de fluido hidráulico actúa sobre la superficie de mayor área en el émbolo durante el movimiento de extensión del cilindro, mientras que para el movimiento de contracción se utiliza la cara del émbolo que posee el vástago, este lado del émbolo es considerado de menor área transversal debido al área que ocupa el vástago del cilindro. Debido al cambio de área transversal que posee el émbolo en cada una de sus

caras, se define que la fuerza de extensión siempre será mayor a la fuerza de contracción. La figura 72 muestra un cilindro de doble efecto.

Figura 72. **Cilindro de doble efecto**



Fuente: vista lateral de cilindro hidráulico de doble efecto. Elaboración propia, mediante <http://www.sapiensman.com/neumatica/neumatica_hidraulica22.htm>, Consulta 2010.

3. DISEÑO DE CIRCUITOS HIDRÁULICOS

3.1. Simbología hidráulica

Los sistemas de potencia hidráulicos son aquellos que transmiten y controlan la potencia mediante el uso de un fluido hidráulico a presión dentro de un circuito cerrado. Los símbolos que se utilizan comúnmente para dibujar diagramas de circuitos hidráulicos en un sistema de potencia fluida son los pictóricos, en corte y gráficos.

Los símbolos pictóricos son muy útiles para mostrar las interconexiones de los componentes, sin embargo, son muy difíciles de estandarizar para un funcionamiento base.

Los símbolos en corte enfatizan la construcción, son mucho más complejos para dibujar y no muestran fácilmente el funcionamiento del componente dentro del sistema.

Los símbolos gráficos enfatizan el funcionamiento del componente, su método de trabajo y su operación. Estos símbolos son simples de dibujar, además muestran el funcionamiento y el método de trabajo del componente de manera obvia, esto permite que la simbología gráfica para la representación de circuitos hidráulicos sea capaz de cruzar las barreras del lenguaje y con esto promover el entendimiento universal de los sistemas de potencia fluida.

Lo símbolos gráficos completos son aquellos que muestran una representación simbólica del componente con todas las características

involucradas en el diagrama del circuito hidráulico, mientras que los símbolos gráficos simplificados son versiones estilizadas de un símbolo gráfico completo.

Por otra parte, los símbolos gráficos compuestos son aquellos que utilizan de manera organizada parte del símbolo completo como del símbolo simplificado, esto debido a que usualmente este tipo de símbolo representa un componente complejo.

- Norma ANSI Y32.10

La norma ANSI Y32.10 *Fluid Power Graphic Symbols*, presenta un sistema de símbolos gráficos para sistemas de potencia hidráulicos y neumáticos. Los propósitos de esta norma son:

- Proveer un sistema de símbolos gráficos para sistemas de potencia fluida con fines industriales y educativos.
- Permitir simplificar el diseño, fabricación, análisis y servicio de los circuitos de potencia fluida.
- Proveer de símbolos gráficos a sistemas de potencia fluida que son reconocidos internacionalmente.
- Promover el entendimiento universal de los sistemas de potencia fluida.

Según la norma ANSI Y32.10, los elementos básicos para la construcción de los símbolos gráficos que esta presenta son:

- Círculos
- Rectángulos
- Arcos

- Puntos
- Cuadrados
- Triángulos
- Flechas
- Cruces

Los símbolos que la norma presenta no utilizan abreviaturas o palabras, esto permite que sean capaces de cruzar las barreras del lenguaje donde se presente este documento. Es importante mencionar que la norma enfatiza el funcionamiento del componente y no en su construcción. Según la norma ANSI Y32.10 las reglas de la simbología gráfica son las siguientes:




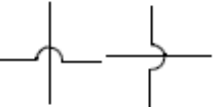
- Los símbolos muestran conexiones, líneas de flujo y funcionamiento de los componentes representados, estos pueden indicar condiciones que ocurren durante la transición de una línea de flujo a otra, sin embargo, no indican la construcción, tampoco indican valores como presión de trabajo, tasas de flujo y ningún otro valor que maneje el componente.
- Los símbolos no indican la localización de los puertos, la dirección de los carretes en movimiento o la posición física de los actuadores en los componentes.
- Los símbolos pueden ser rotados o colocados de manera invertida sin alterar su significado, exceptuando los siguientes:
 - Líneas que regresan a los depósitos
 - Venteos de cabezales
 - Acumuladores

La norma ANSI Y32.10 define la técnica para representar los distintos símbolos que se necesitan en los sistemas de potencia fluida de la siguiente manera:

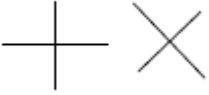
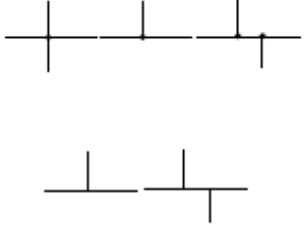
- Líneas:

La técnica para dibujar las líneas que poseen los símbolos gráficos debe mantener un ancho aproximadamente igual, sin embargo, el ancho de las líneas no altera el significado del símbolo. La tabla I muestra los distintos tipos de líneas y su funcionalidad dentro de la construcción de símbolos gráficos en la norma.

Tabla I. **Características del dibujo de líneas de trabajo en simbología gráfica de sistemas de potencia fluida, según norma ANSI Y32.10**

Tipo de línea	Descripción de línea	Representación gráfica
Línea de presión	Línea sólida	
Línea de pilotaje para control	Línea discontinua	
Línea de escape o drenaje	Línea punteada	
Línea de medición	Se dibuja igual a la línea a la cual está conectada	
Líneas de trabajo que se interceptan	Las líneas que se interceptan no deben dibujarse necesariamente a 90 grados	

Continuación Tabla I.

		
Líneas de trabajo que se unen	Las líneas de trabajo que se unen pueden dibujarse colocando un punto entre ellas o sin este	

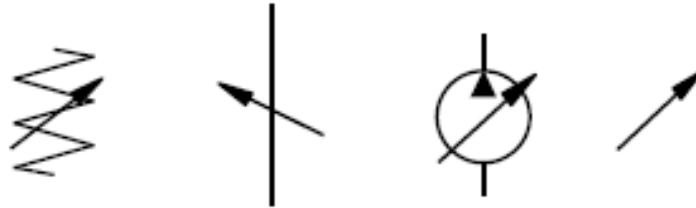
Fuente: Norma ANSI Y32.10. *Líneas de trabajo*. Pág. 3.

- Símbolos básicos

Los símbolos básicos pueden mostrarse en cualquier tamaño, sin embargo, el tamaño del símbolo puede ser variado para enfatizar o clarificar su significado y funcionamiento dentro del sistema. Cada símbolo es dibujado en su posición normal de trabajo, usualmente se muestran en la posición de reposo o en la condición neutra del componente, si es que posee una, sin embargo, cuando se dibujan diagramas de circuitos múltiples que muestran cada una de las fases de la operación del sistema hidráulico, el símbolo del componente cambiará en función de la operación que realice en cada diagrama de circuitos hidráulicos.

La norma indica que una flecha que atraviesa un símbolo a 45 grados aproximadamente indica que este componente puede ser ajustado variablemente. La figura 73 muestra cómo se representa el ajuste variable en los símbolos gráficos.

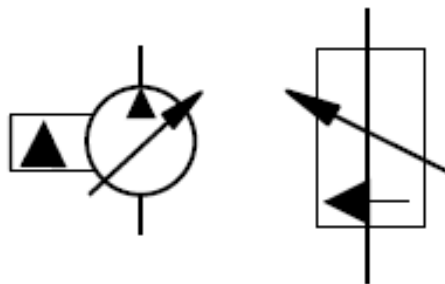
Figura 73. **Símbolos de componentes con ajuste variable**



Fuente: Norma ANSI Y32.10. *Líneas de trabajo*. Pág. 3.

La norma también determina que una flecha que se dibuja de forma paralela a la parte más pequeña del símbolo, y que se encuentra dentro del mismo, indica que el componente es compensado por presión. La figura 74 muestra cómo se representa un símbolo que es compensado por presión.

Figura 74. **Símbolos de componentes compensados por presión**



Fuente: Norma ANSI Y32.10. *Líneas de trabajo*. Pág. 4.

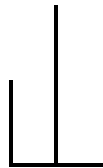
- Depósitos

La norma ANSI Y32.10 define que los depósitos de fluido hidráulico o reservorios son convencionalmente dibujados en el plano horizontal, esto debido a que todas las líneas de trabajo entran y salen por la parte de arriba del símbolo. Sin embargo, cuando es esencial para la comprensión del

funcionamiento del circuito, el símbolo se representará con las entradas y salidas por la parte inferior.

Debido a la gran cantidad de veces que durante la construcción de un diagrama de circuitos hidráulicos se dibuja el depósito de fluido hidráulico, es vital que exista un símbolo simplificado de este componente. La norma ANSI Y32.10 define el símbolo simplificado de un depósito o reservorio de fluido hidráulico como se muestra en la figura 75.

Figura 75. **Símbolo simplificado de un depósito de fluido hidráulico**



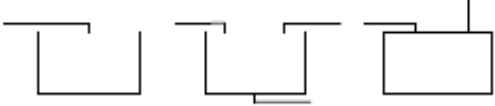
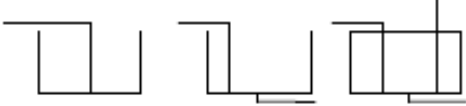




Fuente: Norma ANSI Y32.10. *Depósitos de fluido hidráulico*. Pág. 5.

El símbolo del depósito de fluido hidráulico es comúnmente conocido en los circuitos hidráulicos como referencia al tanque de aceite del sistema, debido a la gran cantidad de veces que se hace referencia al símbolo cuando se construyen circuitos hidráulicos. Es importante recalcar que aun cuando el símbolo aparezca representado en varias partes diferentes del circuito, sigue haciendo referencia al mismo tanque o depósito y no a varios, esto es vital para evitar confusiones cuando se analice el sistema hidráulico.

La tabla II muestra cómo se representan los símbolos gráficos completos de los distintos tipos de depósitos que la norma define.

Tabla II. **Símbolos gráficos para representar depósitos de fluido hidráulico, según norma ANSI Y32.10**







Descripción del símbolo	Representación gráfica del componente
Depósito de fluido hidráulico con venteo	
Depósito de fluido hidráulico a presión	
Depósitos con conexiones por encima del nivel de fluido hidráulico	
Depósitos con conexiones por debajo del nivel de fluido hidráulico	
Símbolo simplificado de un depósito con conexiones por debajo del nivel de fluido hidráulico	
Símbolo simplificado de un depósito con conexiones por encima del nivel de fluido hidráulico	

Fuente: Norma ANSI Y32.10. *Depósitos de fluido hidráulico*. Pág. 5.

- Acumuladores

La norma ANSI Y32.10 define que los acumuladores hidráulicos se representen como se muestra a continuación en la tabla III.

Tabla III. **Símbolos gráficos para representar acumuladores hidráulicos según norma ANSI Y32.10**



Descripción del símbolo	Representación gráfica del componente
Manifold con venteo	
Acumulador hidráulico	
Acumulador hidráulico con resorte cargado	
Acumulador hidráulico cargado con gas	
Acumulador hidráulico cargado	
Recibidor de fluido hidráulico	

Fuente: Norma ANSI Y32.10. *Acumuladores hidráulicos*. Pág. 5.

- Fuente de energía

La norma ANSI Y32.10 define que el símbolo para representar el fluido de trabajo dentro de un sistema de potencia fluida siempre será el mismo, no importando si la fuente de energía es una bomba, compresor, acumulador o cualquier otro. La tabla IV muestra cómo se representa el fluido hidráulico en un sistema hidráulico.

Tabla IV. **Símbolos gráficos para representar el fluido de trabajo en un sistema de potencia fluida según norma ANSI Y32.10**

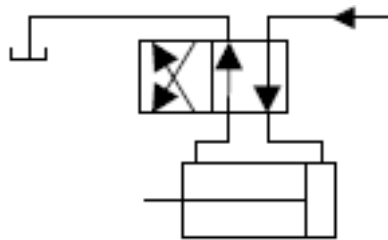
Descripción del símbolo	Representación gráfica del componente
Fluido hidráulico	
Aire comprimido	

Fuente: Norma ANSI Y32.10. *Fluidos de trabajo*. Pág. 5.

El símbolo del fluido hidráulico será utilizado para representar muchos otros símbolos, ya que este se usa en símbolos de pilotajes, válvulas direccionales, *switch* de presión y otros. Es importante hacer notar que la diferencia entre un sistema hidráulico y un sistema neumático en cuestión de simbología es que el triángulo que representa al fluido de trabajo es negro, cuando es un fluido hidráulico o aceite, y cuando es aire comprimido el triángulo es blanco. Obviamente estos pueden interactuar entre sí, ya que como se hablará más adelante en este trabajo, las válvulas direccionales pueden tener pilotajes neumáticos e hidráulicos.

La figura 76 muestra un ejemplo básico de un circuito hidráulico, en este se presenta varias veces el símbolo del fluido hidráulico. Este circuito posee básicamente una válvula de control direccional de 4 vías y 2 posiciones, un cilindro hidráulico, una entrada de presión y un retorno a tanque.

Figura 76. **Símbolo del fluido hidráulico en un circuito hidráulico**



Fuente: Norma ANSI Y32.10. *Circuito hidráulico básico*. Pág. 6.


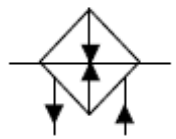
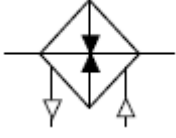
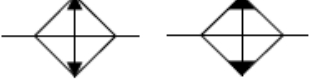
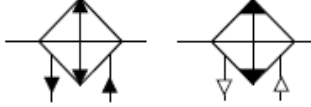
El funcionamiento de este circuito hidráulico es muy simple y consiste básicamente en que existe una entrada de presión que está representada por el símbolo del fluido hidráulico, es importante mencionar que el símbolo posee un triángulo para determinar dirección, o sea que el triángulo en realidad es una flecha que indica la dirección del flujo de trabajo, esto será vital conforme se avance en el estudio, ya que esto es lo que hace a la simbología gráfica ser tan universal y poder vencer las barreras del lenguaje, porque si se siguen las flechas se entenderá qué hace el fluido y cómo funciona el circuito.

Como se muestra, el fluido hidráulico entra a la válvula y la válvula acciona el cilindro; obviamente, siendo un circuito hidráulico, el circuito es cerrado, por esto todo el fluido retorna al depósito o tanque y este se representa con su respectivo símbolo. Más adelante en este documento se indagará más en el entendimiento y construcción de estos circuitos.

- Intercambiadores de calor

La norma ANSI Y32.10 define que los intercambiadores de calor se representen de la manera como se muestra en la tabla V.

Tabla V. **Símbolos gráficos para representar intercambiadores de calor según norma ANSI Y32.10**

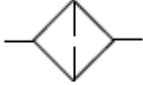


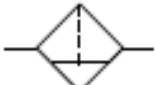
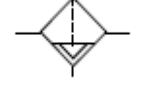
Descripción del símbolo	Representación gráfica del componente
Calentador de aceite, debido a que los triángulos están adentro del símbolo, esto representa que hay una entrada de calor en el componente	
Calentador de aceite, los triángulos negros afuera del símbolo representan que para calentar el aceite, el componente utiliza un medio líquido	
Calentador de aceite, los triángulos blancos afuera del símbolo representan que para calentar el aceite, el componente utiliza un medio gaseoso	
Enfriador de aceite	
Enfriador de aceite con disipador de calor	

Fuente: Norma ANSI Y32.10. *Intercambiadores de calor*. Pág. 7.

- Filtros

La norma ANSI Y32.10 define la simbología gráfica para los elementos filtrantes como se muestra en la tabla VI.

Tabla VI. **Símbolos gráficos para representar elementos filtrantes según norma ANSI Y32.10**

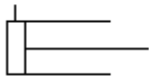

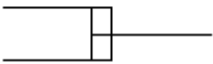
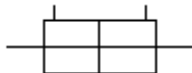

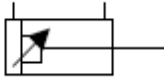
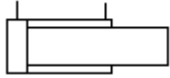
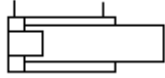
Descripción del símbolo	Representación gráfica del componente
Filtro con colador	
Filtro separador con purga manual	
Filtro separador con purga automática	
Filtro colador con purga manual	
Filtro colador con purga automática	

Fuente: Norma ANSI Y32.10. *Elementos filtrantes*. Pág. 7.

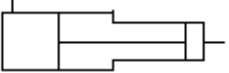
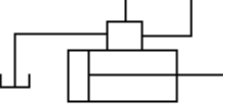
- Cilindros hidráulicos

La tabla VII muestra cómo la norma ANSI Y32.10 define cómo representar los símbolos gráficos de cualquier cilindro hidráulico dentro de un sistema de potencia fluida.

Tabla VII. **Símbolos gráficos para representar cilindros hidráulicos según norma ANSI Y32.10**

Descripción del símbolo	Representación gráfica del componente
Cilindro de simple efecto	
Cilindro de doble efecto	
Cilindro con un vástago, simple efecto	
Cilindro con doble vástago, doble efecto	
Cilindro con amortiguador fijo, doble efecto	
Cilindro con amortiguador ajustable, doble efecto	
Cilindro sin amortiguador, doble efecto, con diámetro de vástago significativo para funcionamiento del circuito hidráulico	
Cilindro con amortiguador fijo, doble efecto, con vástago de diámetro	

Continuación Tabla VII.




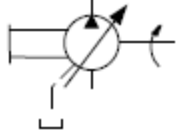
significativo para funcionamiento del circuito hidráulico	
Cilindro con amplificador de presión	
Cilindro hidráulico con servoposicionador	

Fuente: Norma ANSI Y32.10. *Cilindros hidráulicos*. Pág. 7.


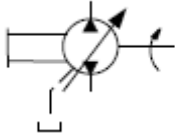

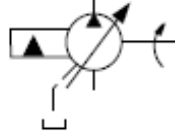

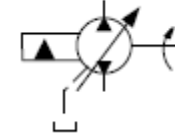
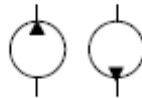

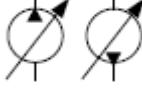

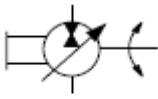
- Equipos rotativos

La norma define cómo representar los equipos rotativos como se muestra en la tabla VIII.







Tabla VIII. **Símbolos gráficos para representar equipos rotativos según norma ANSI Y32.10**

Descripción del símbolo	Representación gráfica del componente
Bomba hidráulica con desplazamiento fijo unidireccional	
Bomba hidráulica con desplazamiento fijo bidireccional	
Bomba hidráulica con desplazamiento variable, no compensada, unidireccional, símbolo gráfico simplificado	
Bomba hidráulica con desplazamiento variable, no compensada, unidireccional, símbolo gráfico completo	

Continuación Tabla VIII.

<p>Bomba hidráulica de desplazamiento variable, no compensada, bidireccional, símbolo gráfico simplificado</p>	
<p>Bomba hidráulica de desplazamiento variable, no compensada, bidireccional, símbolo gráfico completo</p>	
<p>Bomba hidráulica de desplazamiento variable, con presión compensada, unidireccional, símbolo gráfico simplificado</p>	
<p>Bomba hidráulica de desplazamiento variable, con presión compensada, unidireccional, símbolo gráfico completo</p>	
<p>Bomba hidráulica de desplazamiento variable, con presión compensada, bidireccional, símbolo gráfico simplificado</p>	
<p>Bomba hidráulica de desplazamiento variable, con presión compensada, bidireccional, símbolo gráfico completo</p>	
<p>Motor hidráulico con desplazamiento fijo, unidireccional</p>	
<p>Motor hidráulico con desplazamiento fijo, bidireccional</p>	
<p>Motor hidráulico con desplazamiento variable, unidireccional</p>	
<p>Motor hidráulico con desplazamiento variable, bidireccional</p>	
<p>Bomba hidráulica – Motor hidráulico, este componente tiene la versatilidad que en una dirección opera como bomba y en la otra como motor, símbolo gráfico completo</p>	

Continuación Tabla VIII.


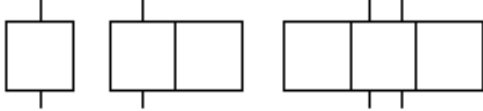
<p>Bomba hidráulica – Motor hidráulico, en una dirección opera como bomba y en la otra dirección opera como motor, símbolo gráfico simplificado</p>	
<p>Bomba hidráulica – Motor hidráulico, este componente utiliza el flujo en una dirección para operar como bomba y como motor, símbolo gráfico completo</p>	
<p>Bomba hidráulica – Motor hidráulico, utiliza el flujo en una dirección para operar como bomba y como motor, símbolo gráfico simplificado</p>	
<p>Bomba hidráulica – Motor hidráulico, este componente puede operar en ambas direcciones del flujo como bomba y como motor, posee desplazamiento variable, presión compensada, símbolo gráfico completo</p>	
<p>Bomba hidráulica – Motor hidráulico, componente que puede operar en ambas direcciones como bomba y como motor, posee desplazamiento variable, presión compensada, símbolo gráfico simplificado</p>	
<p>Motor hidráulico oscilante</p>	

Fuente: Norma ANSI Y32.10. *Equipos rotativos*. Págs.12-13.

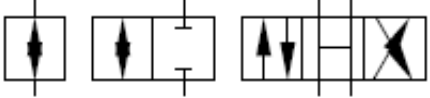
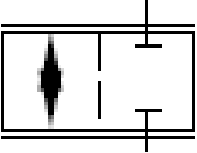
- Válvulas

La norma ANSI Y32.10 define que cualquier símbolo de una válvula está compuesto por uno o más cuadros, estos cuadros poseen líneas adentro que representan direcciones de flujo o condiciones de flujo entre los puertos que posee la válvula. La tabla IX muestra cómo se asocian estos cuadros para representar los símbolos de válvulas hidráulicas.

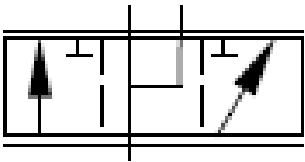
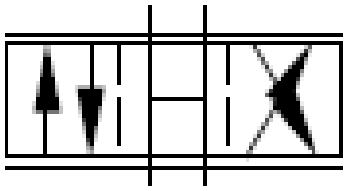
Tabla IX. **Símbolos gráficos para representar válvulas hidráulicas según norma ANSI Y32.10**

Descripción del símbolo	Representación gráfica del componente
Cuadros que conforman una válvula hidráulica, según la norma ANSI Y32.10 una válvula puede poseer infinitas posiciones, cada posición será representada por un cuadro	
Cuadros de posiciones de válvulas hidráulicas con sus respectivos puertos, la norma ANSI Y32.10 define que una válvula posee puertos que representan las entradas y salidas de la válvula	

Continuación Tabla IX.

<p>Cuadros, puertos y vías que conforman una válvula hidráulica, la norma define que una válvula posee líneas o flechas adentro de los cuadros para determinar las direcciones que puede tomar el flujo del fluido hidráulico dentro del componente y con esto comprender la operación de la válvula</p>	 <p>The image shows three hydraulic symbols in a row. The first is a check valve symbol: a square with a vertical line and a diamond-shaped arrowhead pointing downwards. The second is a flow control valve symbol: a square with a vertical line and a diamond-shaped arrowhead pointing downwards, with a horizontal line and a vertical tick mark on the right side. The third is a directional control valve symbol: a square with a vertical line and a diamond-shaped arrowhead pointing downwards, with a horizontal line and a vertical tick mark on the right side, and a diagonal line with a tick mark on the right side.</p>
<p>Válvula hidráulica que posee dos cuadros, estos representan dos posiciones, a su vez la válvula posee dos puertos. La válvula posee una posición cerrada y una abierta, debido a que los puertos están dibujados en el cuadro donde se indica la posición cerrada, esto determina que la válvula es normalmente cerrada</p>	 <p>The image shows a hydraulic symbol for a normally closed valve. It consists of a square divided into two vertical sections by a vertical line. The left section contains a diamond-shaped arrowhead pointing downwards. The right section contains a horizontal line with a vertical tick mark on the right side, representing a closed position.</p>

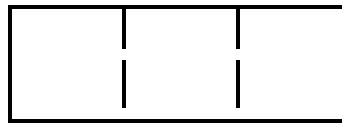
Continuación Tabla IX.

<p>Válvula hidráulica que posee tres cuadros, esto representa que posee tres posiciones, a su vez posee tres puertos. Debido a que los puertos están dibujados en el cuadro del centro, esto determina que la válvula está normalmente abierta. Además se muestran dos cuadros más que representan las otras dos posiciones de la válvula</p>	
<p>Válvula hidráulica que posee tres cuadros, esto representa tres posiciones, la válvula posee cuatro puertos que están dibujados en el cuadro central, esto indica que la válvula tiene un centro normalmente abierto, los dos cuadros restantes muestran dos posiciones de operación de la válvula, cada posición muestra cómo se direcciona el flujo dentro del componente. Como se mencionó anteriormente en este documento, esta válvula es una válvula de 4 vías y 3 posiciones, con centro abierto</p>	

Fuente: Norma ANSI Y32.10. *Válvulas hidráulicas*. Pág.15.

Las válvulas hidráulicas poseen elementos que cambian de posición de un momento a otro, regularmente estas transiciones pasan por una posición intermedia, y es esencial para explicar el funcionamiento del circuito hidráulico representar esa posición denominada en tránsito. Se deberá mostrar el símbolo de la válvula con la posición central dentro de un cuadro con líneas discontinuas. La figura 77 muestra cómo se representa una válvula hidráulica que posee una posición en tránsito.

Figura 77. **Símbolo de válvula hidráulica con posición en tránsito**



Fuente: Norma ANSI Y32.10. *Válvulas hidráulicas*. Pág.18.

3.2. Diagrama de circuitos hidráulicos

Un diagrama de circuitos hidráulicos es la representación gráfica del conjunto de componentes interconectados en un sistema hidráulico, estos conjuntos de componentes son los circuitos hidráulicos. Por otro lado, la creación de los diagramas de circuitos hidráulicos permite una idea clara de cómo realizar reparaciones en el sistema, así como analizar de manera adecuada la interacción de los componentes cuando se presentan fallas en el sistema que producen mal funcionamiento y que pueden ocasionar el fallo completo del sistema hidráulico.

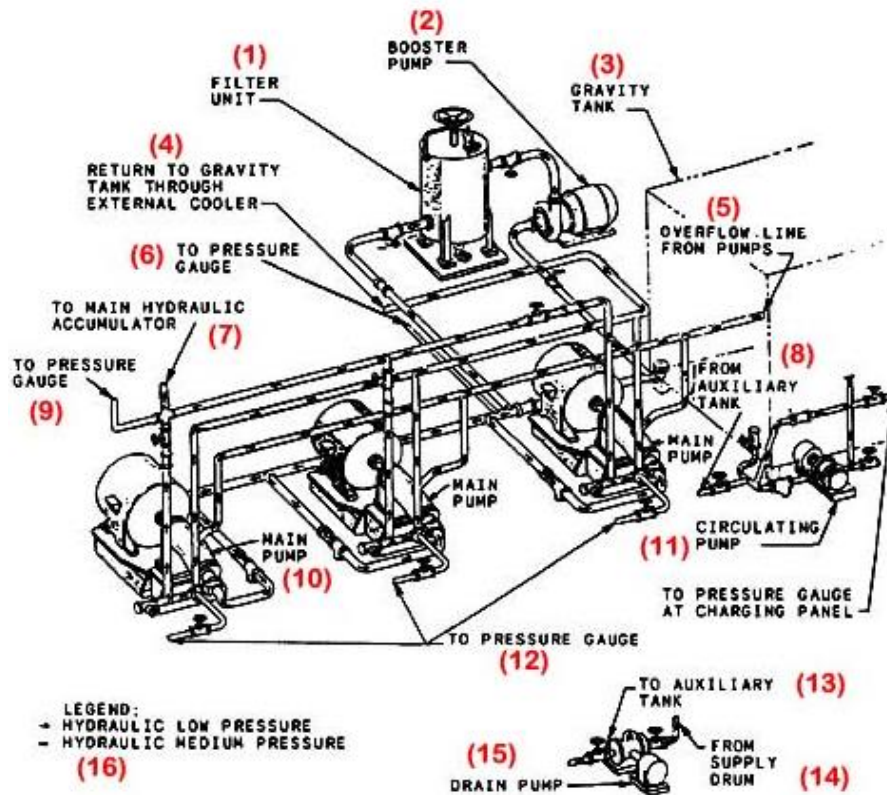
El análisis de los diagramas de circuitos hidráulicos requiere un conocimiento de los diferentes sistemas de símbolos que existen, además, es necesario crear una habilidad en los usuarios de las maquinarias que poseen

sistemas hidráulicos, para leer estos diagramas y comprenderlos. Existen muchos tipos de diagramas de circuitos hidráulicos, los más utilizados en la industria son los siguientes:

- Diagramas pictóricos

Los diagramas pictóricos muestran la ubicación general y la apariencia real de cada componente del sistema, las tuberías interconectadas y la distribución general de las mismas se incluye en este tipo de diagramas. Generalmente son conocidos como diagramas de instalación y se consideran invaluable para el personal de mantenimiento, ya que permiten una identificación fácil y rápida de los componentes, así como la localización de estos dentro del sistema hidráulico. La figura 78 muestra un ejemplo de un diagrama pictórico para un circuito hidráulico.

Figura 78. Diagrama pictórico de un circuito hidráulico

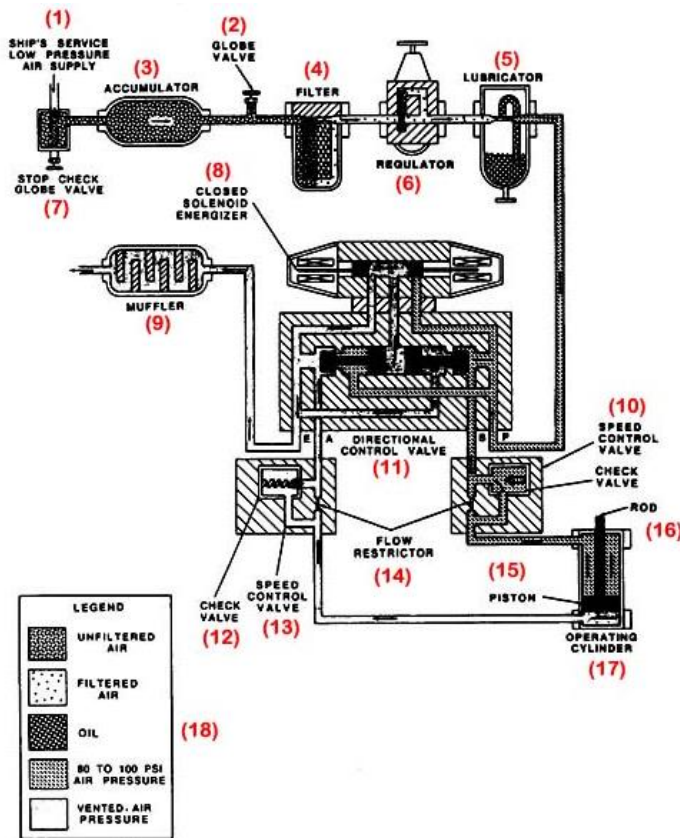


Fuente: Diagrama pictórico de circuito hidráulico. Elaboración propia, mediante http://www.sapiensman.com/neumatica/neumatica_hidraulica14A.htm, Consulta 2014.

- Diagramas en corte

Los diagramas en corte muestran las partes de trabajo internas de todos los componentes del sistema de potencia fluida. Esto incluye controles, mecanismos y actuadores que se encuentran en todas las tuberías interconectadas. Los diagramas en corte no usan símbolos para representar ningún componente y se enfocan directamente en cómo es la construcción del equipo. Estos diagramas son utilizados para realizar mantenimientos en los componentes, ya que ofrecen el detalle del diseño del equipo.

Figura 79. Diagrama en corte de un circuito hidráulico

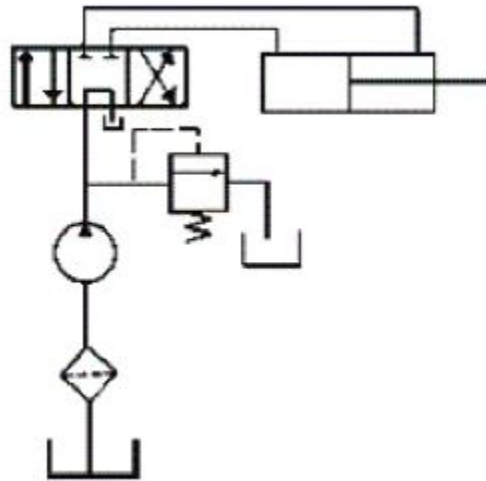


Fuente: Diagrama de corte de circuito hidráulico. Elaboración propia, mediante http://www.sapiensman.com/neumatica/neumatica_hidraulica14A.htm, Consulta 2014.

- Diagramas esquemáticos

El propósito principal de un diagrama esquemático, también conocido como gráfico, es permitir al personal de mantenimiento trazar el recorrido del fluido de componente a componente dentro del sistema hidráulico. Este tipo de diagrama usa símbolos estándar para mostrar cada componente e incluye todas las tuberías interconectadas. Además, el diagrama contiene una lista de componentes, tamaños de tuberías, datos sobre la secuencia de operación y otra información pertinente.

Figura 80. **Diagrama esquemático de un circuito hidráulico**



Fuente: Diagrama esquemático de circuito hidráulico. Elaboración propia, mediante http://www.sapiensman.com/neumatica/neumatica_hidraulica14A.htm, Consulta 2014.

El diagrama esquemático no indica la localización física de varios componentes, pero muestra la relación que posee cada componente con cualquier otro dentro del sistema.

3.3. **Diseño de circuitos hidráulicos**

Para poder diseñar circuitos hidráulicos es necesario entender cómo se vinculan los componentes dentro del circuito, cuál es la lógica estructural que tiene que emplearse para construirlo y, finalmente, que los componentes y las conexiones que se utilicen estén representados con la simbología apropiada.

El circuito hidráulico básico está formado por una bomba, una válvula de alivio, una válvula direccional y un actuador, cada elemento tiene una función dentro del sistema y para vincularlos en el diagrama existe una lógica

preestablecida que no debe modificarse. Esto debido a que existe una estructura que debe prevalecer cuando se diseñan los circuitos.

- Lógica estructural

La lógica estructural del diagrama empieza por la fuerza motriz o *input power*, en esta jerarquía se encuentran todos los motores eléctricos, motores de combustión interna, turbinas y cualquier otra máquina que entregue al sistema energía y potencia a través de un eje. Siempre que se inicia el diseño y construcción del circuito, se empieza por esta jerarquía, el símbolo representativo siempre se coloca en la parte inferior del diagrama. Este símbolo siempre está seguido de la fuerza de potencia hidráulica o *hydraulic power source*, mediante el cual se entrega al sistema la potencia fluida y la bomba. La forma como se conectan estos elementos es mediante un eje y solamente se deberá escoger el símbolo característico de la fuerza motriz y bomba que se utiliza en el sistema en particular.

El siguiente elemento en la lógica estructural son los dispositivos de control o *control devices*, en esta jerarquía se encuentran todas las válvulas de alivio, válvulas direccionales y válvulas de flujo. La forma como se conectan con la jerarquía anterior es mediante conductores. La forma como se representan gráficamente es mediante la simbología apropiada del conductor que se utiliza. No importa la cantidad de elementos de control que se utilicen en el diseño y construcción del circuito hidráulico, lo importante en el diseño es que estos elementos siempre se coloquen por encima de la jerarquía anterior.

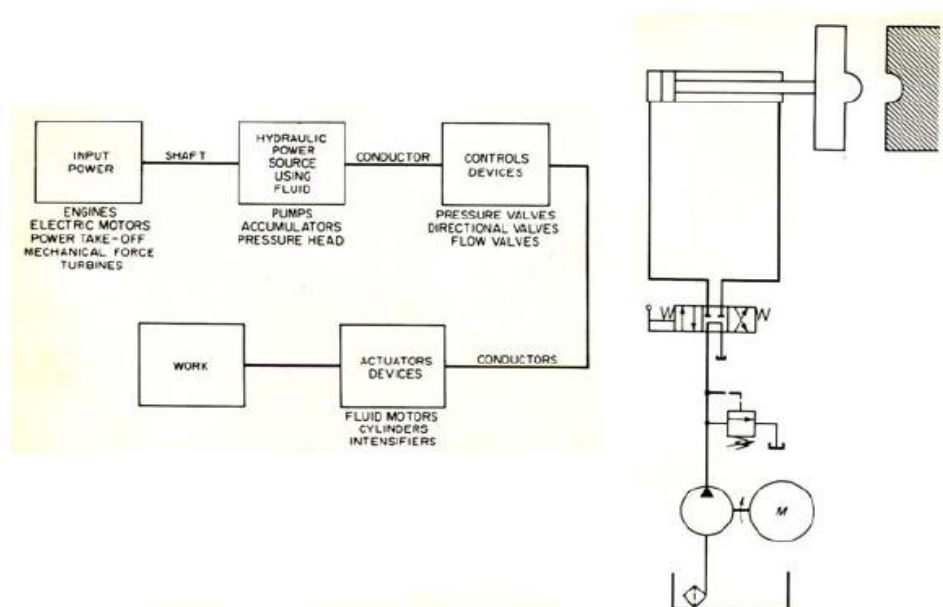
Debido a la función de protección que tienen las válvulas de alivio dentro del sistema, estas siempre se localizan por encima de la fuerza motriz; cuando se diseña, estos dispositivos de protección siempre se colocan por encima del

símbolo de la bomba y únicamente hay que escoger el símbolo característico de la válvula de alivio y luego colocar la simbología del retorno de aceite al tanque cuando la válvula abre como protección.

Aunque las válvulas direccionales y de flujo están en la misma jerarquía que las válvulas de alivio, siempre se colocan por encima de la válvula de alivio cuando se está diseñando. En esta parte del circuito se concentran todos los movimientos y estos se conectan mediante conductores a la última jerarquía que son los actuadores o *actuators devices*. Esta última jerarquía es la que posee todos los elementos que realizan trabajo, en ella se encuentran motores hidráulicos y cilindros hidráulicos o actuadores.

La figura 81 muestra la lógica estructural y cómo se plasma en el diagrama del circuito hidráulico.

Figura 81. **Lógica estructural para diseño de circuitos hidráulicos**



Fuente: SUNIL, Jha. *Hydraulic circuit design & analysis*. Pág. 5.

Partiendo de la lógica estructural que se acaba de definir, se empezará a discutir cómo se diseñan los diferentes circuitos que se estudiarán en este documento. Además se muestran otros elementos que no están definidos como jerarquía pero que cumplen un funcionamiento dentro del circuito, estos son los filtros, enfriadores y retornos a tanque.

Estos componentes deben respetar las jerarquías establecidas y conectarse con el símbolo característico del elemento. El tanque siempre será la partida del diseño y siempre estará conectado a la succión de la bomba mediante un símbolo representativo, esto implica que el tanque siempre se ubicará por debajo del símbolo de la bomba.

Los filtros generalmente se colocan entre la succión de la bomba y el tanque, cuando se diseña el circuito estos se conectan mediante su símbolo al símbolo del tanque y luego al símbolo de la bomba. Cuando el sistema posee enfriadores de aceite, estos se colocan en una de las líneas de retorno a tanque, cuando se diseña el circuito se elige una posición para colocar el enfriador de aceite, generalmente se coloca en una línea principal de retorno al tanque, el símbolo es el representativo del enfriador y será conectado al símbolo del tanque. Usualmente, todas las líneas que retornan al tanque físicamente pasan por el enfriador, sin embargo, cuando se diseña los circuitos es importante mantener el diseño y construcción del circuito lo más simple posible, por esto se hace referencia al enfriador con una sola conexión.

3.4. Análisis de circuitos hidráulicos

Mediante la utilización de ejemplos de circuitos hidráulicos básicos se evaluará cómo se realiza la construcción del circuito, específicamente cómo se

conectan los diferentes símbolos de los componentes mediante la lógica estructural que se debe respetar cuando se diseñan circuitos hidráulicos.

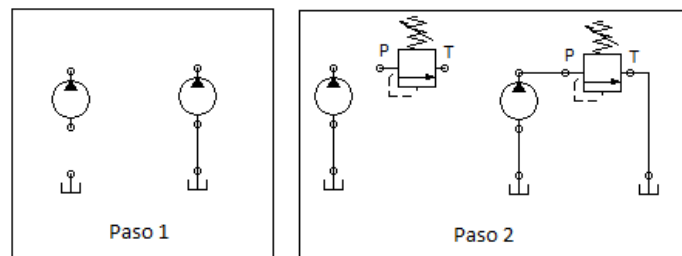
3.4.1. Control de un cilindro hidráulico de simple efecto

Para la construcción de este circuito se tiene que partir por la lógica estructural anteriormente definida. El paso 1 define la jerarquía inicial, que es la fuerza motriz, en este caso es una bomba de desplazamiento positivo. La colocación del símbolo del tanque y el símbolo de la bomba hidráulica es el punto de partida para la construcción del circuito.

Luego estos símbolos se unen mediante una línea sólida que significa una línea de presión hidráulica, la conexión implica que físicamente están conectados por una manguera o tubería. El paso 2 de la construcción es definir la siguiente jerarquía que serán los elementos de control, para este caso se utilizará una válvula de alivio y una válvula direccional de 3 vías y 2 posiciones.

Se colocarán los símbolos de ambas válvulas por encima del símbolo de la bomba hidráulica, primero la válvula de alivio y luego la válvula direccional. Estos símbolos se conectan entre sí nuevamente por medio de líneas sólidas.

Figura 82. **Conexión inicial del circuito hidráulico para control de un cilindro de simple efecto**

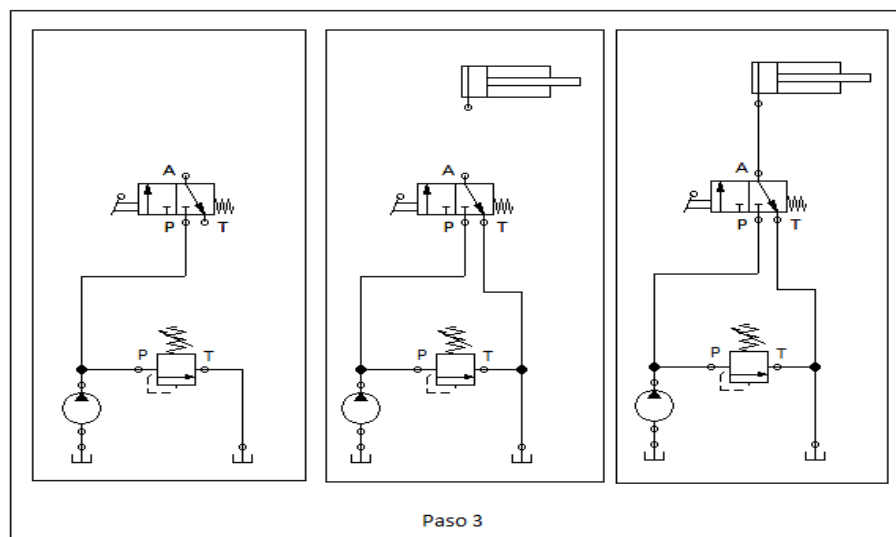


Fuente: elaboración inicial de circuitos hidráulicos. Elaboración propia, empleando *Fluidsim 4.2*.

La válvula direccional tiene un accionamiento por palanca y retorno por muelle, esta será conectada de igual forma por una línea sólida a uno de los nodos del circuito. La válvula posee en su símbolo la identificación de presión mediante la letra P y la identificación de la letra T que es de tanque. De igual forma, el símbolo tiene identificada la salida de la válvula con la letra A. La figura 83 muestra además cómo se conecta las terminales de la válvula de alivio en el circuito, de igual forma el símbolo tiene identificado con la letra P la línea de presión y con la letra T la línea de retorno a tanque. Por esto se conecta esa terminal del símbolo T al símbolo de tanque mediante una línea sólida.

La última jerarquía será definida en el paso 3, en este paso se ubica en el circuito el actuador de simple efecto y se conecta a la salida de la válvula direccional en A, nuevamente la conexión es mediante una línea sólida. El símbolo del actuador es el representativo y es el elemento que hará el trabajo.

Figura 83. **Conexión final del circuito hidráulico para control de un cilindro de simple efecto**



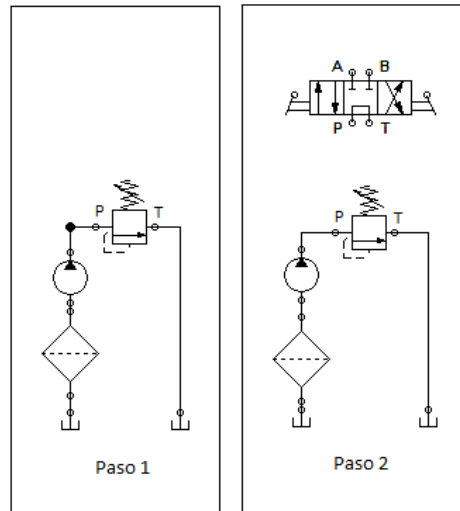
Fuente: elaboración esquemática de circuitos hidráulicos. Elaboración propia, empleando *Fluidsim 4.2*.

La figura 83 muestra además como se conecta la terminal T, es decir la línea de retorno a tanque de la válvula direccional. Esta debe conectarse a uno de los nodos del circuito, específicamente en la línea donde retorna a tanque la válvula de alivio. Para efectos de simplificación del circuito, el símbolo de tanque también pudo haberse colocado únicamente en la terminal T y esta representación sería correcta de igual forma.

3.4.2. Control de un cilindro hidráulico de doble efecto

Para la construcción de este circuito, se partirá de igual forma por la definición de la primera jerarquía, este será el paso 1: la fuerza motriz. Nuevamente se utilizará una bomba de desplazamiento positivo para generar la potencia fluida. En este ejemplo se colocará un filtro entre la succión de la bomba y el tanque. Estos símbolos, tanque, filtro y bomba, serán conectados mediante una línea sólida. En el paso 2 se definirá la segunda jerarquía, los elementos de control, nuevamente se utilizara una válvula de alivio y una válvula direccional. La válvula direccional será de 4 vías y 3 posiciones. Los símbolos se vuelven a unir mediante una línea sólida.

Figura 84. **Conexión inicial del circuito hidráulico para control de un cilindro de doble efecto**

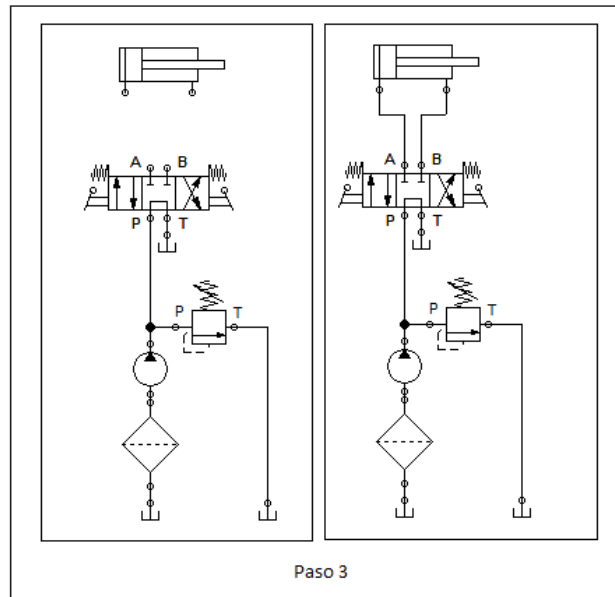


Fuente: construcción de circuito para control de cilindro. Elaboración propia, empleando *Fluidsim 4.2*.

La válvula direccional tiene accionamientos manuales en ambos lados mediante palanca, el símbolo de la válvula tiene identificadas las vías que posee. La letra P es la línea de presión, la letra T es la línea de retorno a tanque y las vías A y B son las salidas de la válvula. Todas las vías de la válvula serán conectadas con una línea sólida a los nodos del circuito. La línea de retorno a tanque de la válvula se conectará independientemente al símbolo de tanque, esto para ejemplificar otra forma de realizar el diseño del circuito.

La última jerarquía será definida en el paso 3, en esta se encuentra nuevamente el actuador, en este caso se utiliza un cilindro de doble efecto, este tiene dos conexiones y será conectado a las salidas de la válvula direccional mediante una línea sólida.

Figura 85. **Conexión final del circuito hidráulico para control de un cilindro de doble efecto**



Fuente: circuito hidráulico de control de cilindro de doble efecto. Elaboración propia, empleando *Fluidsim 4.2*.

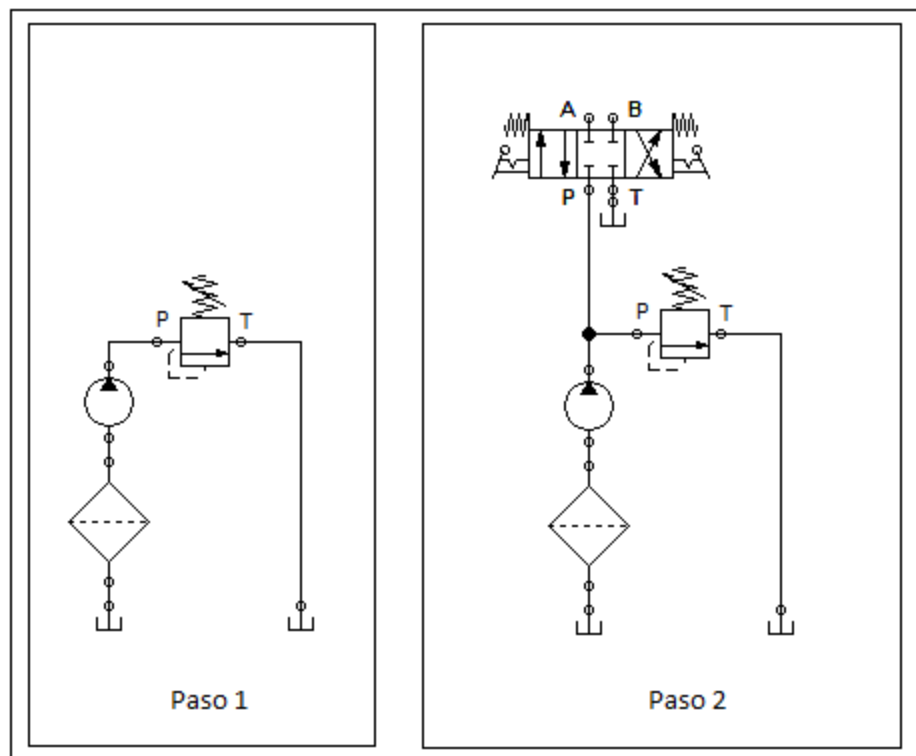
3.4.3. Circuito hidráulico con regeneración

Para construir este circuito se debe definir la primera jerarquía, el paso 1 será para definir la fuerza motriz, se utilizará una bomba y un filtro que estará conectado con la bomba desde el tanque. Todas las conexiones serán con línea sólida. El paso 2 será para definir la segunda jerarquía, en esta se encuentran los elementos de control. Se estará utilizando una válvula de alivio que será conectada con línea sólida a la descarga de la bomba, la salida de la válvula de alivio será conectada a tanque. La válvula direccional es una válvula de 4 vías y 3 posiciones.

Es importante mencionar que, para que la regeneración del circuito funcione, la válvula direccional debe conectarse de tal forma que la posición de

la válvula para la salida del actuador sea la que permita conducción de flujo de la línea de presión de la válvula hacia el actuador; si la válvula direccional no se conecta de esta forma, no solo no habrá regeneración sino que tampoco se generará ningún movimiento en el actuador, ya que este se quedará con una alimentación directa de presión que va de la bomba hacia la recámara de retorno del actuador y por esto no podrá salir y realizar su trabajo.

Figura 86. **Conexión inicial para un circuito hidráulico con regeneración**

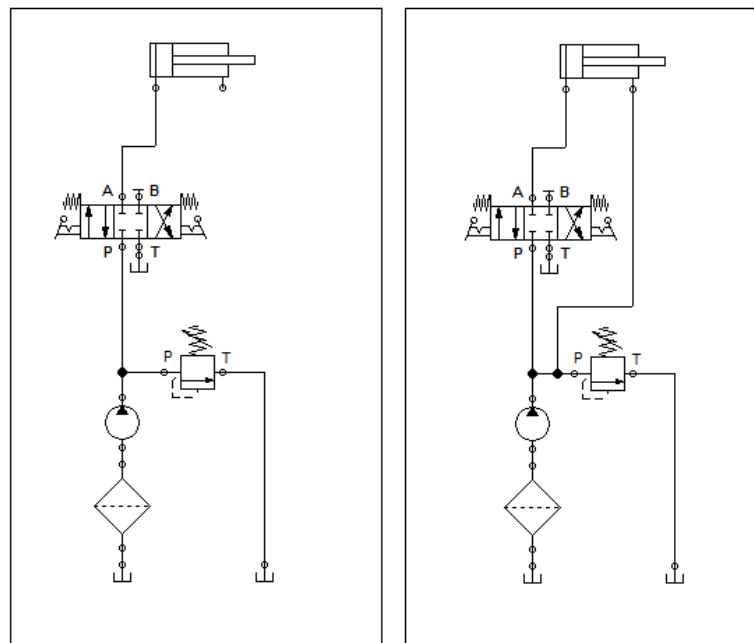


Fuente: circuito hidráulico con regeneración. Elaboración propia, empleando *Fluidsim 4.2*.

El paso 3 define la jerarquía final que nuevamente es el actuador, en este paso es donde se concreta la conexión que permite la regeneración del circuito. Esta regeneración principalmente busca que el actuador regrese a su posición inicial para realizar trabajo lo más pronto posible.

La regeneración se logra mediante la conexión del puerto de retorno del actuador hacia uno de los nodos del circuito, exactamente entre la descarga de la bomba y la entrada a la válvula de alivio. Normalmente este puerto sería conectado a una de las salidas de la válvula direccional para que, cuando la válvula conmute, el fluido hidráulico fluya hacia el tanque a través de la válvula direccional. Sin embargo, esto provocaría una pérdida de presión en el fluido hidráulico por la restricción a través de la válvula, por esto el fluido se retorna con presión hacia la línea de descarga de la bomba y se utiliza como una fuente extra de alimentación hacia la válvula direccional para que el movimiento del actuador sea más rápido. Es importante mencionar que la línea de retorno del actuador para la regeneración también está siendo protegida por la válvula de alivio. La figura 87 muestra el paso 3 de jerarquía para el circuito hidráulico con regeneración.

Figura 87. **Conexión final para un circuito hidráulico con regeneración**



Paso 3

Fuente: diagrama de circuito hidráulico con regeneración. Elaboración propia, empleando *Fluidsim 4.2*.

4. DISEÑO DE CIRCUITO HIDRÁULICO PARA GRÚA DE DESCARGA DE CAÑA

Los diagramas existentes para el análisis de los circuitos hidráulicos de la grúa de descarga de caña no representan la situación actual de los equipos instalados en la grúa. Es por esto que será necesario hacer el levantamiento de equipos y construir un diagrama de acuerdo a la simbología de la norma ANSI Y32.10, y con esto realizar un diseño que cumpla con los requerimientos que se han venido desarrollando en este documento para el entendimiento y análisis del sistema hidráulico, así como para garantizar la operatividad y óptimo funcionamiento de la grúa de descarga de caña en zafra.

4.1. Estructura de la grúa

La estructura de la grúa consiste en una estructura metálica a base de tubería de acero al carbón con refuerzos, que permite la rigidez y flexibilidad que el equipo requiere.

4.2. Sistema hidráulico

Un sistema hidráulico contiene cinco componentes mecánicos básicos: un recipiente, un filtro, una bomba, válvulas de control de flujo y un actuador.

4.2.1. Descripción del sistema

La representación gráfica de los circuitos hidráulicos varía en función de la simbología que se utilice, la razón fundamental de los diagramas de circuitos

hidráulicos es crear una representación entendible de las interacciones que los componentes poseen entre sí, además se busca determinar el funcionamiento de cada componente dentro de cada circuito del sistema y con esto entender la operación del sistema hidráulico.

4.2.2. Componentes del sistema

Los componentes de un sistema hidráulico incluyen el fluido hidráulico que se utiliza, ya que la presión aplicada al fluido dará la potencia necesaria para transmitir las fuerzas dentro del sistema.

4.2.2.1. Análisis

Se debe analizar las condiciones de operación para el diseño del sistema para determinar la eficiencia de la línea.

4.2.2.2. Capacidad

La capacidad varía en función de las toneladas a procesar para determinar el peso de la carga.

4.2.2.3. Simbología

Según la norma ANSI Y32.10, los elementos básicos para la construcción de los símbolos gráficos que esta presenta son:

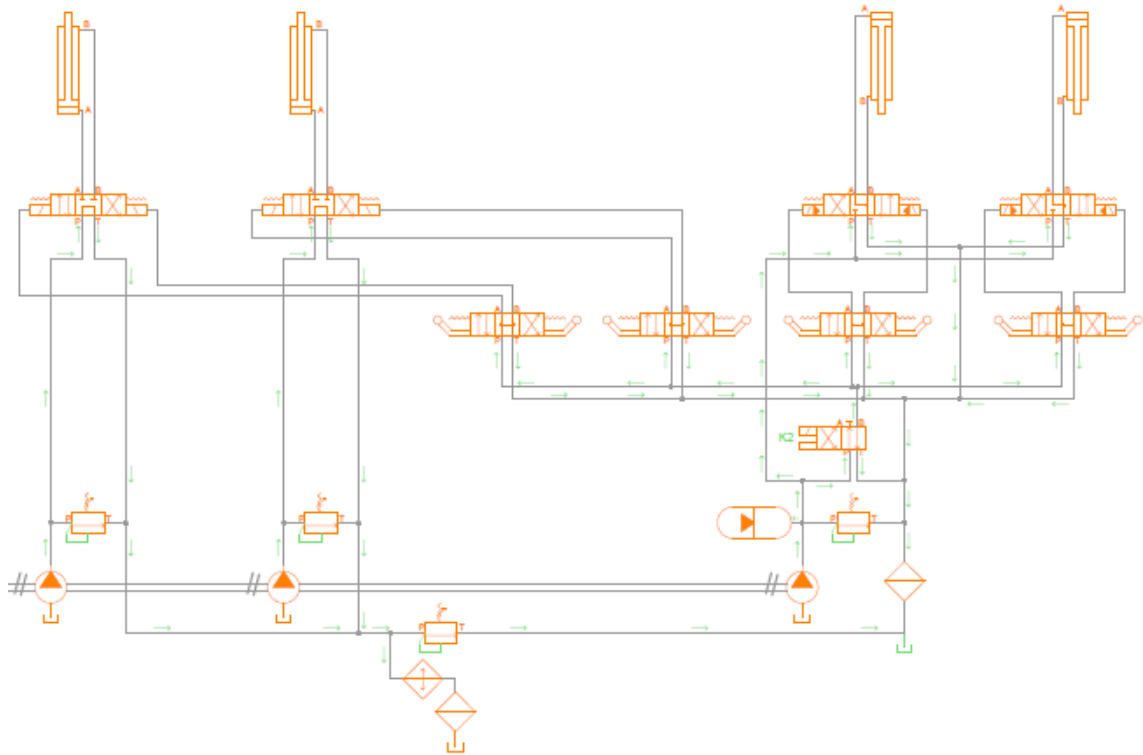
- Círculos
- Rectángulos
- Arcos

- Puntos
- Cuadrados
- Triángulos
- Flechas
- Cruces

4.2.3. Diagrama de circuitos hidráulicos

Se describe a continuación el diagrama de circuitos hidráulicos de la grúa de descarga de caña.

Figura 88. Diagrama de circuitos hidráulicos



SIMBOLOGIA	DESCRIPCION
	BOMBA HIDRAULICA
	TRINQUE DE ACEITE CON RESERVADEIRO
	VALVULA LIMITADORA DE PRESSAO
	MOTOR ELECTRICO TRIFASICO
	ACUMULADOR DE ACEITE
	FILTRO DE ACEITE
	INTERCAMBIADOR DE CALOR, ENRIZADOR DE ACEITE
	VALVULA 4 VIAS, 3 POSICOES, COM CENTRO PRESSO A TANGUE, PLOTRADA HIDRAULICAMENTE Y RETORNO POR MUELLE
	VALVULA 4 VIAS, 3 POSICOES, COM CENTRO PLANTANTE PLOTRADA HIDRAULICAMENTE Y RETORNO POR MUELLE
	VALVULA 4 VIAS, 3 POSICOES, COM CENTRO ABIERTO ACCIONAMIENTO MANUAL POR PALANCA, RETORNO POR MUELLE
	CILINDRO HIDRAULICO DE DOBLE EFECTO
	ELECTROVALVULA 4 VIAS, DOB POSICOES, COM TAPON CERRO EN LA SALIDA A
	PLUNADOR CON ENCLAVAMIENTO NORMALMENTE CERRADO
	PLUNADOR NORMALMENTE ABIERTO
	RESLE
	SOBRESOR DE VALVULA
	ALIMENTACION 120 VAC
	NEUTRO

Fuente: elaboración propia, empleando Norma ANSI Y32.10, Pág.1-24.

4.2.4. Análisis del sistema actual

Equipo que está diseñado para realizar la descarga de la caña de azúcar que ingresa al ingenio en tiempo de zafra.

4.2.4.1. Operación

La función principal es mantener el ingreso constante de caña al ingenio, esto permitirá que la operación del ingenio sea estable y puedan cumplirse los parámetros operativos.

4.2.4.2. Mantenimiento

Este proceso es ejecutado en época de operación por los departamentos de servicio y los grupos de trabajo en los procesos operativos (si aplica); el inicio del proceso es a partir de las fallas de los equipos que están en operación, esto genera un aviso de avería reportado por el supervisor del proceso operativo, el cual es procesado por el centro de planificación; los supervisores de mantenimiento aprueban la creación de la orden de trabajo y le asignan recursos necesarios (materiales y personal).

4.3. Nuevo diseño de la grúa de descarga

La descarga de la caña se efectúa a través de ciertos dispositivos mecánicos como grúas de volteo, los cuales hacen de una manera más fácil y eficiente su manejo. Hoy en día en el Ingenio Pantaleón se utilizan tres tipos de grúas para descarga de la caña, pero la utilizada oficialmente es la grúa de volteo de 50 toneladas de capacidad.

4.3.1. Estructura de la grúa

Se describe los elementos para la estructura de la grúa.

4.3.1.1. Modificaciones de soldadura

Se realizan modificaciones en las soldaduras para reforzar las juntas y prevenir algún desgaste por el uso, así como por el derrame de líquidos que puedan acelerar la oxidación de las piezas.

4.3.1.2. Nuevo contrapeso

El nuevo contrapeso está destinado para soportar las cargas axiales de los movimientos de carga y descarga.

4.3.2. Nuevo sistema hidráulico

Esta grúa cuenta con un sistema hidráulico que permite el movimiento de dos tipos de cilindros.

4.3.2.1. Descripción del sistema

El primer cilindro está conectado a un elemento que se desplaza en una corredera amarrada con cables de 1 pulgada de diámetro que, conjuntamente con un juego de poleas, tienen la acción de levantar y bajar el balancín, el cual previamente es enganchado a las jaulas de los camiones por un ayudante de operación. El segundo tipo de cilindro hidráulico está conectado a cables de 3/4 que permiten el movimiento del balancín hacia adelante o hacia atrás, según sean las necesidades de la operación.

4.3.2.2. Componentes del sistema

Un motor hidráulico es un actuador mecánico que convierte presión hidráulica y flujo en un par de torsión y un desplazamiento angular, es decir, en una rotación o giro.

4.3.2.3. Análisis

Su funcionamiento es inverso al de las bombas hidráulicas y es el equivalente rotatorio del cilindro hidráulico. Se emplean sobre todo porque entregan un par muy grande a velocidades de giro pequeñas en comparación con los motores eléctricos.

4.3.2.4. Capacidad

La capacidad instalada es para la operación de 50 toneladas. Utiliza 1800 litros de aceite en el tanque, se le cambiaron las chumaceras de la poleas de levantamiento (22526 SKF), los sellos de los cilindros a ambos lados y utiliza un el CABLE DE 1" 7-FLEX PFV.

4.3.2.5. Simbología

Según la norma ANSI Y32.10 las reglas de la simbología gráfica son las siguientes:

- Los símbolos muestran conexiones, líneas de flujo y funcionamiento de los componentes representados, estos pueden indicar condiciones que ocurren durante la transición de una línea de flujo a otra, sin embargo, no




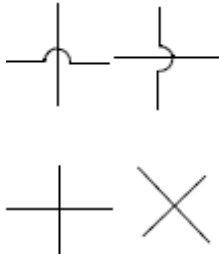
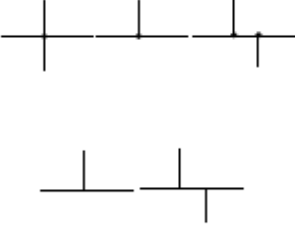
indican la construcción, tampoco valores como presión de trabajo, tasas de flujo y ningún otro valor que maneje el componente.

- Los símbolos no indican la localización de los puertos, la dirección de los carretes en movimiento o la posición física de los actuadores en los componentes.
- Los símbolos pueden ser rotados o colocados de manera invertida sin alterar su significado, exceptuando los siguientes:
 - Líneas que regresan a los depósitos
 - Venteos de cabezales
 - Acumuladores

La norma ANSI Y32.10 define la técnica para representar los distintos símbolos que se necesitan en los sistemas de potencia fluida de la siguiente manera:

La técnica para dibujar las líneas que poseen los símbolos gráficos deben mantener un ancho aproximadamente igual, sin embargo, el ancho de las líneas no altera el significado del símbolo. La tabla I muestra los distintos tipos de líneas y su funcionalidad dentro de la construcción de símbolos gráficos en la norma.

Tabla X. **Características del dibujo de líneas de trabajo en simbología gráfica de sistemas de potencia fluida, según norma ANSI Y32.10**

Tipo de línea	Descripción de línea	Representación gráfica
Línea de presión	Línea sólida	
Línea de pilotaje para control	Línea discontinua	
Línea de escape o drenaje	Línea punteada	
Línea de medición	Se dibuja igual a la línea a la cual está conectada	
Líneas de trabajo que se interceptan	Las líneas que se interceptan no deben dibujarse necesariamente a 90 grados	
Líneas de trabajo que se unen	Las líneas de trabajo que se unen pueden dibujarse colocando un punto entre ellas o sin este	

Fuente: Norma ANSI Y32.10. *Líneas de trabajo*. Pág. 3.

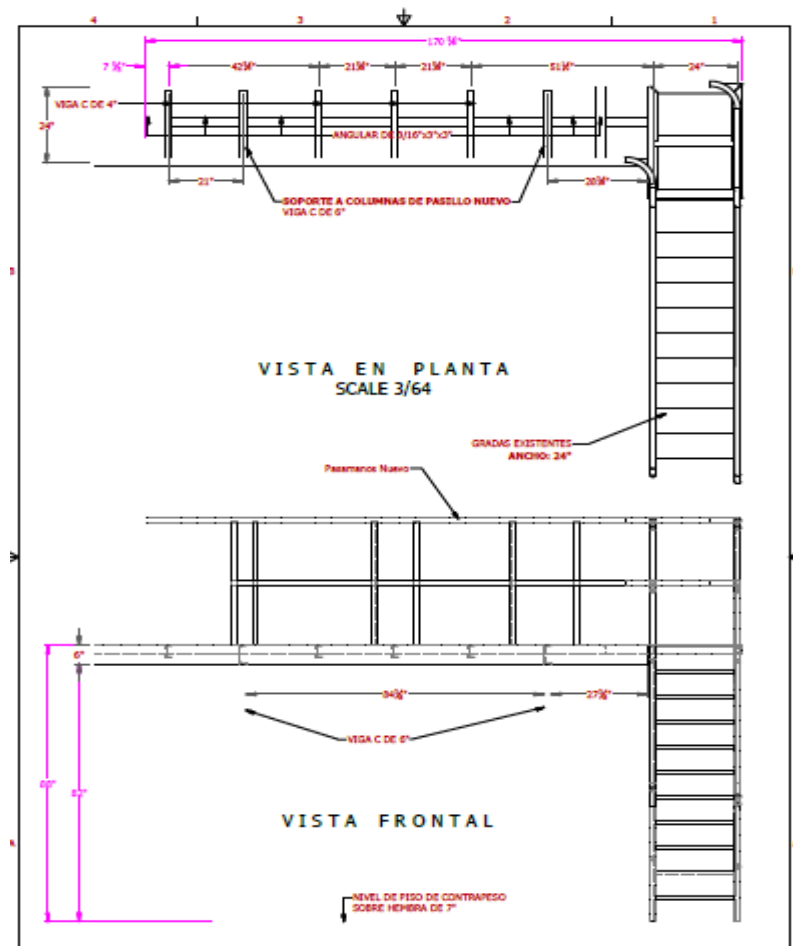
4.3.3. Diseño del nuevo sistema

Se describe los planos de operación del nuevo sistema.

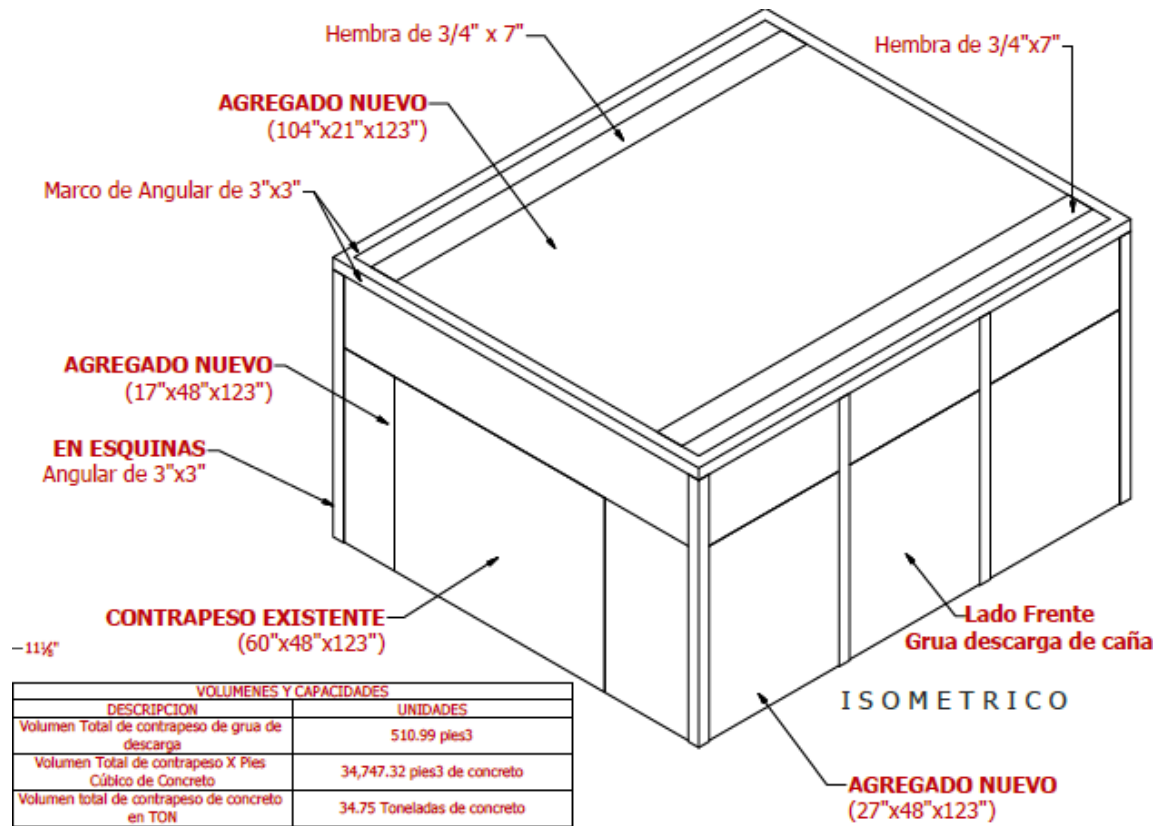
4.3.3.1. Operación

Se expone el diagrama de operación.

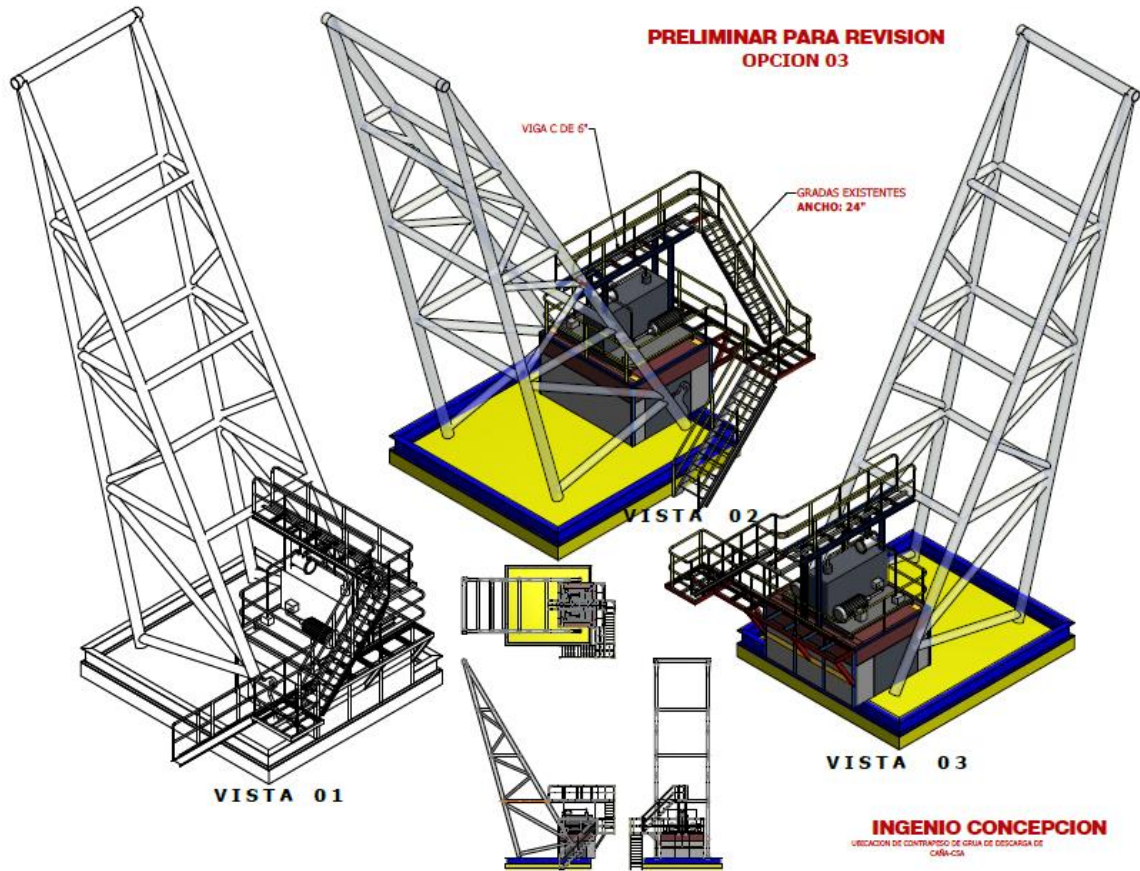
Figura 89. Diagramas de operación de la grúa de descarga de caña



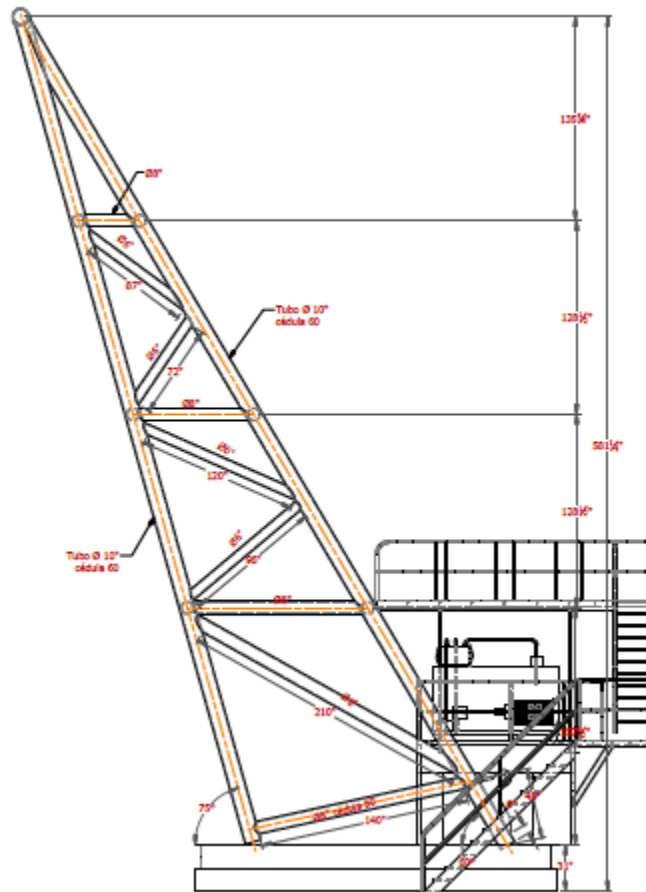
Continuación figura 89.



Continuación figura 89.



Continuación figura 89.



Fuente: Elaboración propia, empleando diagramas de diseño de grúa de descarga de caña de ingenio
Concepción, 2018.

CONCLUSIONES

1. El mantenimiento preventivo de la grúa de descarga de caña y sus equipos auxiliares ha permitido un adecuado funcionamiento en la operación del ingenio azucarero en el último trimestre del 2017 y en el primer trimestre del 2018, esto como resultado del cumplimiento de las actividades de mantenimiento preventivo establecidas en el plan de mantenimiento para este equipo en la zafra.
2. Los sistemas hidráulicos y componentes para diseñar los diagramas de circuitos hidráulicos debe utilizar los siguientes principios básicos:
 - Un fluido hidráulico puede asumir cualquier forma y puede ser bidireccional sin que esto afecte el movimiento libre del flujo.
 - La ley de Pascal sostiene que, cuando un fluido dentro de un contenedor es sometido a presión, la presión se transmite igualmente en todas direcciones y a todas las caras del contenedor.
 - El tamaño de los componentes mecánicos del circuito, depósitos de aceite, mangueras o tuberías, accesorios, válvulas hidráulicas y los cilindros hidráulicos aumenta la capacidad de realizar trabajo.
3. La simbología de los componentes mecánicos que se utilizan para el diseño de circuitos hidráulicos se basa en la norma ANSI Y32.10 Fluid Power Graphic Symbols, que presenta un sistema de símbolos gráficos para sistemas de potencia hidráulicos y neumáticos.

RECOMENDACIONES

1. Revisar periódicamente el programa de mantenimiento preventivo, para adaptarlo al envejecimiento natural de la maquinaria, los equipos y a las nuevas exigencias de servicio de la maquinaria moderna.
2. Imprimir copias del plan de seguridad e higiene industrial y proporcionarlas al personal de reciente contratación.
3. Priorizar las actividades de mantenimiento preventivo sobre las correctivas, con el objetivo de maximizar la vida útil de la maquinaria y el equipo y reduciendo los costos de operación.

BIBLIOGRAFÍA

1. ARELLANO SAMAYOA, Byron Estuardo. *Montaje de un conductor de bagazo y administración del mantenimiento del tandem B de molinos pertenecientes al ingenio Magdalena, ubicado en el municipio de La Democracia, departamento de Escuintla*. Trabajo de graduación de Ing. Mecánica Industrial. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 1998. 126 p.
2. DOUNCE VILLANUEVA, Enrique. *Productividad en el mantenimiento industrial*. 3a ed. México: Editorial Patria, 2014. 289 p.
3. C. P. CHEN, James. *Manual del azúcar de caña*. 1a ed. México: Editorial Limusa, 1991. 131 p.
4. LÓPEZ BERGANZA, Mario Vinicio. *Administración del mantenimiento de flotas de vehículos*. Trabajo de graduación de Ing. Mecánica Industrial. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 1995. 93 p.
5. MARKS, Eugene. *Manual del ingeniero mecánico*. 8ta ed. México: Editorial McGraw-Hill, 1993. 400 p.
6. ROSALER, Robert C. *Manual de mantenimiento industrial*. 2a ed. México: Editorial McGraw-Hill, 1993. 203 p.
7. PARR, Andrew. *Hydraulics and Pneumatics, a technician's and engineer's guide*. 3a ed. Inglaterra: Editorial Elsevier, 2011. 233 p.

