



**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIÉRREZ**

**INGENIERÍA MECÁNICA**

**RESIDENCIA PROFESIONAL**

**“MODERNIZACIÓN DEL SISTEMA OLEODINÁMICO DE LAS COMPUERTAS  
OBRA DE TOMA C.H. NETZAHUALCÓYOTL”**

**PRESENTA**

**JULIO CÉSAR SÁNCHEZ BONILLA**

**ASESOR: M. C. ROBERTO CARLOS GARCÍA GÓMEZ.**

**REVISOR:**

- 1.- ING. HERNÁN VALENCIA SÁNCHEZ**
- 2.- M. C. IGNACIO ARRIJOJA CÁRDENAS.**

# ÍNDICE

Tema	Página
1 Introducción.....	6
2 Antecedentes.....	8
2.1 Justificación.....	13
2.1.1 Objetivos.....	14
2.1.2 Objetivos específicos.....	14
3 Caracterización del área en que participó.....	16
3.2 Problemas a resolver priorizándolos.....	18
3.3 Cronograma de actividades.....	18
3.4 Alcance.....	19
3.5 Limitaciones.....	19
4 Marco Teórico.....	20
4.1 Principios básicos.....	20
4.1.1 Principio de Pascal.....	20
4.1.2 Fluido Hidráulico.....	28
4.1.3 Viscosidad.....	30
4.1.4 Índice de viscosidad.....	31
4.2.1 Bombas Hidráulicas.....	33
4.2.2 Tipos de bombas hidráulicas.....	34
4.2.3 Bombas de engranaje.....	37
4.2.4 Bombas de pistones.....	38
4.2.5 Bombas de paletas.....	39
4.3 Actuadores Hidráulicos.....	40

4.3.2 Construcción y funcionamiento de un cilindro.....	42
4.4 Control de presión.....	44
4.4.1 Válvula de Alivio.....	45
4.4.2 Válvula de Secuencia.....	46
4.4.3 Válvula Reductora de Presión.....	47
4.4.4 Válvula de Descarga.....	48
4.4.5 Válvula de Contrabalance.....	49
4.4.6 Válvula de Freno.....	50
4.5 Control Direccional.....	52
4.5.1 Válvula de control direccional.....	52
4.6 Válvulas de control de flujo.....	55
4.6.1 Válvula de aguja.....	58
4.6.2 Válvula de retención.....	62
4.7 Conductores Hidráulicos.....	64
4.7.1 Las mangueras y tubos hidráulicos; su construcción.....	64
4.8 Manómetros.....	66
4.9 Tipos de Caudal.....	67
4.9.1 Resistencia al flujo en tuberías.....	68
4.9.2 Ecuación de Darcy-Weisbach.....	69
4.9.3 Teorema de Bernoulli.....	70
4.9.4 Ecuación de Continuidad.....	71
4.9.5 Depósitos o estanques.....	71
4.9.6 Construcción de depósitos.....	72
4.9.7 Acondicionamiento de los fluidos.....	73
4.9.8 Aspectos Generales de la Filtración.....	73
5 Obra de Toma.....	79
5.1 <b>NORMATIVIDAD PARA COMPUERTAS Y EQUIPO ECTROMECÁNICO PARA LA OBRA DE TOMA.....</b>	<b>80</b>
5.1.1 Campo de aplicación.....	80
6 Procedimiento y descripción de las actividades realizadas.....	82

<b>6.1 Especificaciones del Cilindro Hidráulico.....</b>	<b>83</b>
<b>6.1.2 Cálculos.....</b>	<b>83</b>
<b>7 Resultados (planos, graficas, prototipos y programas).....</b>	<b>106</b>
<b>7.1 Funcionamiento.....</b>	<b>109</b>
<b>8 Conclusiones y recomendaciones.....</b>	<b>110</b>
<b>9 Fuentes información.....</b>	<b>111</b>
<b>10Anexos.....</b>	<b>112</b>



## 1 Introducción

Para contar con la energía necesaria para el crecimiento y el desarrollo del país, se construyen centrales generadoras, líneas y subestaciones que producen, transmiten, transforman y distribuyen la energía eléctrica a lo largo del país.

Particularmente una central de tipo Hidroeléctrica es una instalación en la cual se aprovecha la energía del agua para generar energía eléctrica. Por medio de los saltos de agua, estas plantas obtienen energía potencial, que posteriormente se transforma en energía cinética o de movimiento cuando el fluido es obligado a pasar a través de un ducto que conduce hasta el rodete, impulsándolo. Este último a la vez, está acoplado, por medio de un eje, a un generador junto con sus elementos, como el estator y el rotor fundamentalmente, y es aquí que se produce otro cambio de energía, ésta vez de energía mecánica a energía eléctrica.

El papel que desempeñan los fluidos hidráulicos en la maquinaria hoy en día es primordial, el desarrollo del presente trabajo está sustentado en la Hidráulica, el uso de ésta parte de la Mecánica es fundamental en las aplicaciones de las Centrales Hidroeléctricas, y un ejemplo de ello es este proyecto; el Sistema Oleodinámico, término derivado a partir del uso del aceite como fluido de trabajo, los elementos que constituyen el sistema están destinados a accionar las compuertas que regulan la entrada del agua hacia las turbinas ,a través de este trabajo se podrá conocer ampliamente el papel que desempeña éste líquido incompresible dentro de la industria de generación de energía eléctrica, principalmente en funciones como medio de transmisión de potencia, lubricador de piezas móviles, sellador de tolerancias entre una pieza y otra y como medio de enfriamiento o disipador de calor.

En la siguiente figura (Fig. 1) podemos observar de manera muy general las partes que constituyen una Central Hidroeléctrica, en la figura 2, indicando con el número 1 se encuentra la obra de toma , lugar donde se encuentra instalado el sistema oleodinámico .

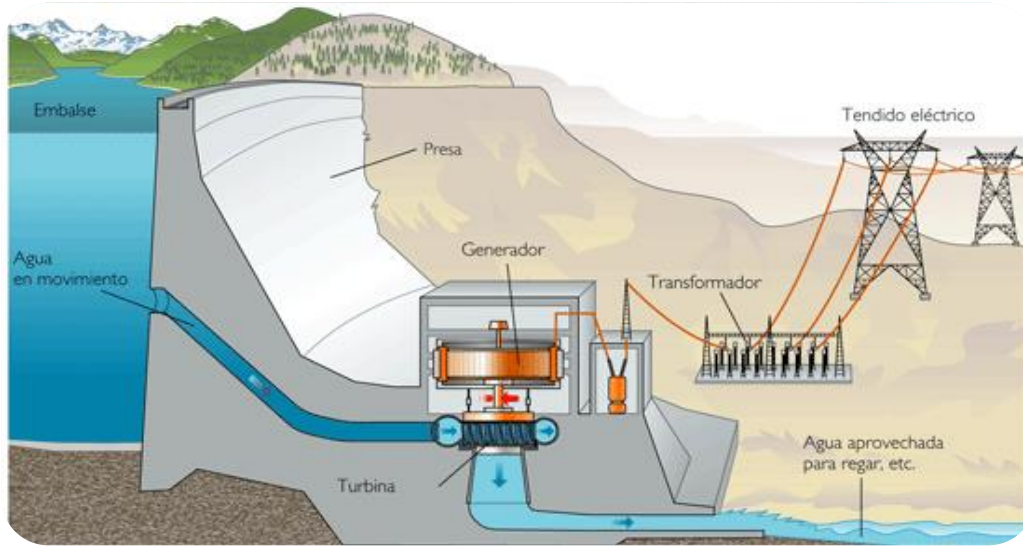


Fig. 1 Central Hidroeléctrica

Fuente:

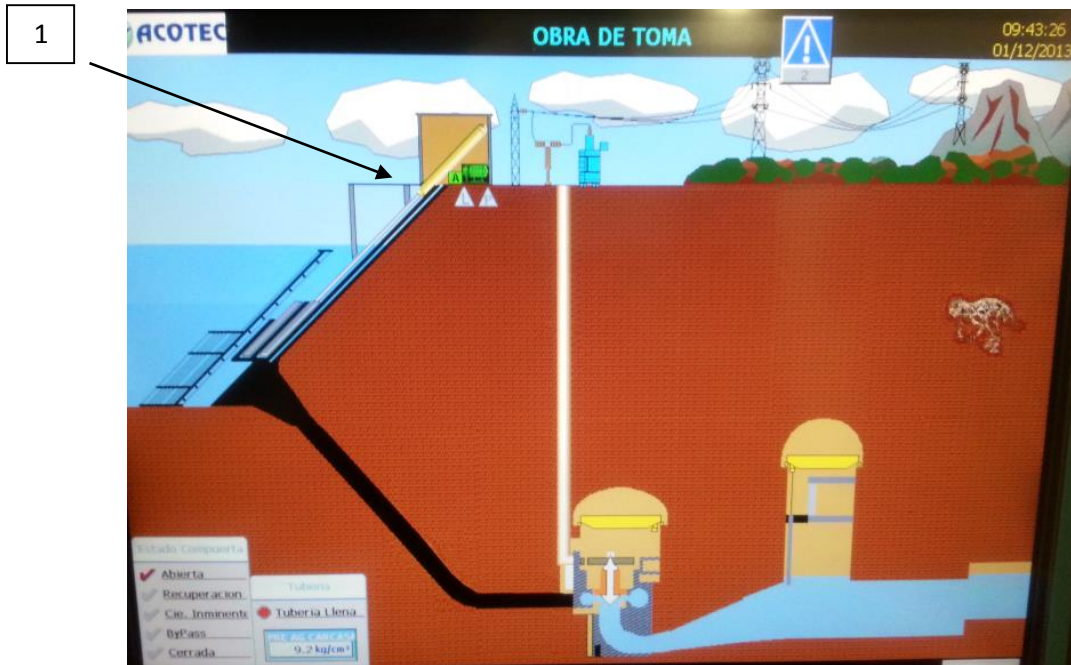


Fig. 2 Obra de Toma

Fuente: Obtenida del tablero de casa de máquinas

## 2 Antecedentes

La palabra Hidráulica proviene del griego **Hydor** que significa agua, y el concepto aún desde sus inicios, es el de la utilización del agua como medio para transformar la energía ya sea esta potencial y cinética en energía mecánica la que a su vez puede transformarse en trabajo. La utilización de la energía cinética (  $E_c = \frac{1}{2} \cdot m \cdot V^2$  ) y potencial (  $E_p = m \cdot g \cdot \Delta h$  ) del agua data de muchos siglos atrás. Fue utilizada por los romanos y griegos, quienes construyeron ruedas hidráulicas para molinos. Se sabe, sin embargo, que hace ya más de tres mil años los egipcios ya la utilizaban con fines de riego.

Arquímedes, hacia el año 287 a.C., investigó alguno de los principios de la hidráulica, cuyas técnicas ya se empleaban con anterioridad, principalmente en sistemas de distribución de agua por ciudades. Desde entonces se fueron desarrollando diversos aparatos y técnicas para el movimiento, trasvase y aprovechamiento del agua.

Para el año 1653 el científico francés Pascal descubrió el principio según el cual la presión aplicada a un líquido contenido en un recipiente se transmite por igual en todas direcciones, probablemente la simplicidad de la ley de Pascal evitó que los hombres desarrollaran su potencial rápidamente.

En el siglo XVIII Joseph Bramah construyó el primer mecanismo hidráulico basado en la ley de Pascal: se trataba de una prensa hidráulica con un gran cilindro que movía un vástago en cuyo extremo se aplicaba al material a prensar; la presión necesaria se obtenía por medio de una bomba manual y el líquido empleado fue agua.

La Mecánica de Fluidos moderna nace con Prandtl , que en las primeras décadas del siglo actual elaboró la síntesis entre la hidráulica práctica y la hidrodinámica teórica.



Cinco matemáticos geniales del siglo XVIII, Bernoulli, Clairaut, D'Alembert, Lagrange y Euler habían elaborado con el naciente cálculo diferencial e integral una síntesis hidrodinámica perfecta; pero no habían obtenido grandes resultados prácticos. Por otra parte el técnico hidráulico fue desarrollando multitud de fórmulas empíricas y experiencias en la resolución de los problemas que sus construcciones hidráulicas le presentaban, sin preocuparse de buscarles base teórica alguna. Excepcionalmente un científico, Reynolds, buscó y halló apoyo experimental a sus teorías, y un técnico, Froude, buscó base física a sus experimentos; pero Prandtl hizo la síntesis de las investigaciones teóricas de los unos y de las experiencias de los otros.

Sin intentar hacer una historia de la Mecánica de Fluidos, es interesante la lista que se muestra a continuación, por orden cronológico (según fecha de muerte) de algunos hombres célebres con sus aportaciones más importantes a la Hidráulica.

<b>Nombre</b>	<b>Fecha</b>	<b>Aportación a la Hidráulica</b>
1.- Arquímedes	287-212 a.C.	Leyes de Flotación
2.-Leonardo da Vinci	1452-1519	Ec. de Continuidad Estudios sobre configuraciones de flujos. Sugerencias de diseño de máquinas hidráulicas.
3.- Torricelli	1608-1647	Salida por un orificio. Relación entre la altura y la presión atmosférica.
4.- Pascal	1623-1662	Ley de Pascal, fundamental en las transmisiones y controles hidráulicos.
5.-Newton	1642-1726	Ley de la Viscosidad dinámica. Semejanza de modelos
6.- Bernoulli	1700-1782	Teorema de Bernoulli
7.- Euler	1707-1783	El mayor genio matemático de la hidrodinámica. Ecuaciones diferenciales del movimiento

		del fluido perfecto. Formulación del teorema de Bernoulli. Teorema fundamental de las turbomáquinas.
8.-D'Alembert	1717-1783	Ecuación diferencial. Paradoja de D'Alembert.
9.-Chézy	1718-1798	Fórmula de Chézy de la velocidad media de la corriente en un canal. Semejanza de modelos en canales.
10.-Lagrange	1736-1813	Función potencial y función de corriente.
11.-Venturi	1746-1822	Flujo en embocaduras y contracciones. Medidor de Venturi
12.-Fourneyron	1802-1867	Diseño primera turbina hidráulica práctica.
13.-Poiseuille	1799-1869	Resistencia en tubos capilares: ecuación de Poiseuille.
14.-Weisbach	1806-1871	Fórmula de resistencia en tuberías. Ecuaciones de vertederos.
15.-Froude	1810-1879	Ley de semejanza de Froude.
16.-Navier y	1785-1836	
17.-Stokes	1819-1903	Ecuaciones diferenciales de Navier y Stokes del movimiento de los fluidos viscosos.
18.-Reynolds	1842-1912	Distinción entre flujo laminar y flujo turbulento. Número de Reynolds.
19.-Bazin	1829-1917	Estudios de vertederos.

20.-Joukowski	1847-1921	Estudio de golpe de ariete. Perfiles aerodinámicos de Joukowski.
21.-Lanchester	1868-1945	Circulación causa de la sustentación. Torbellinos de herradura, causa del arrastre inducido.
22.-Prandtl	1875-1953	Teoría de la capa límite. Fundador de la moderna mecánica de fluidos.

Tabla 1. Aportaciones importantes a la Hidráulica.

Fuente: Mecánica de fluidos y Máquinas hidráulicas 2ª.Edición. Claudio Mataix.

Más recientemente, en el siglo XIX, se produjo un auge en el desarrollo de centrales hidroeléctricas de gran tamaño. Para hacer factible la utilización eficiente del potencial del agua, fue necesario también el desarrollo de máquinas que pudieran tener este aprovechamiento, estas máquinas son las llamadas turbomáquinas o simplemente turbinas para uso hidroeléctrico. Las turbinas son máquinas que aprovechan la energía cinética y potencial del agua para transformarla a energía mecánica de rotación y posteriormente por medio de un generador y sus elementos, transformarla en energía eléctrica.

Los fluidos a menudo son utilizados como medio de transmisión de potencia, para realizar un trabajo determinado, de acuerdo a algunos especialistas que no emplean el agua como medio transmisor de energía, sino que el aceite, han establecido los siguientes términos para establecer la distinción: Oleodinámica, Oleohidráulica u Oleólica, como medio para transmitir grandes fuerzas, y la facilidad de realizar maniobras de mandos y reglaje empleando para ello diversos elementos.

El desarrollo de los aceites minerales comienza hacia mediados, también, del siglo XIX luego de haber utilizado aceites de origen animal (como el de la ballena) o vegetal, se había comprobado que tenían grandes limitaciones, pero a partir del hallazgo de petróleo en Estados Unidos, y con la invención de su destilación al vacío, se descubrió que el residuo ceroso era mejor lubricante que cualquiera de las grasas animales utilizadas por aquel entonces, el empleo de ellos facilitaba la lubricación de las piezas móviles de los componentes de un sistema, al tiempo que disminuía la oxidación de los mismos y las fugas de fluido y así nació la moderna tecnología de refinamiento de aceites a partir de hidrocarburos.

La transformación de la energía realmente ha permitido al hombre conquistar la Tierra, para transformar su entorno y con ello mejorar su calidad de vida. Esto es muy evidente, a principios del Siglo XXI, pareciera que los descubrimientos científicos y las aplicaciones tecnológicas están ahora más que nunca al alcance de cualquier persona en nuestro planeta Tierra, actualmente se fabrican gran cantidad de productos industriales, se transforma el paisaje, se explotan las riquezas naturales, y todo ello gracias a la transformación energética. La potencia Hidráulica u Oleodinámica constituyó una palanca poderosa para este desarrollo y este trabajo es un reflejo de ello.

## 2.1 Justificación

La puesta en marcha del sistema Oleodinámico que utilizan las compuertas obra de toma de la C.H. Netzahualcóyotl se remonta al final de la década de los 60's, aunque opera de forma correcta , cuenta con una antigüedad de más de 40 años, se desconoce el estado en que se encuentran las válvulas internamente y otros accesorios .

Hablar de modernización hace referencia a un proceso de industrialización y tecnificación, renovando las unidades de un proceso para lograr primeramente realizar el mismo trabajo dentro de un rango que opere en un ambiente de seguridad y total control, reduciendo así los problemas que puede generar un sistema de potencia hidráulica. En este documento hablaremos de aspectos tecnológicos que introduce cambios que llevan al reemplazo de productos, procesos, diseños y técnicas, todo esto con la intención de conseguir la mejora total del sistema de apertura y cierre de las compuertas, mediante el control eficiente de los componentes que lo integran, asegurando con esto una vida útil del sistema por muchos años .

### **2.1.1 Objetivos**

#### Objetivo General

Diseñar un sistema oleodinámico que controle con eficiencia la apertura y el cierre de las compuertas obra de toma, para alimentar a cada una de las unidades generadoras de acuerdo a las necesidades de operación de la C.H. implementado un sistema denominado Dúplex para la alimentación de los cilindros hidráulicos, para lograr esto se hará uso de distintas herramientas y conocimientos adquiridos anteriormente en áreas como la Mecánica de Fluidos , Máquinas de Fluidos incompresibles entre otras para conseguir resultados que conlleven a la mejora total del sistema.

### **2.1.2 Objetivos específicos**

- Determinación de los parámetros correspondientes a los esfuerzos de los actuadores así como su dimensionamiento.
- Cálculo de los parámetros: presiones de trabajo, caudales y la potencia necesaria.
- Diseño de depósito contenedor de aceite Dúplex
- Definir los elementos direccionales y de regulación.
- Diagrama final

### **3 Caracterización del área en que participó**

CFE y la Electricidad en México

El 27 de Junio de 1951 , en el estado de Chiapas , se creó la Comisión del Río Grijalva dependiente de la entonces Secretaria de Recursos Hidráulicos, para el estudio y desarrollo integral de la cuenca de dicho río.

A partir de 1953 la Secretaria de Recursos Hidráulicos construyó los bordos de defensa marginales de los ríos; y en 1955 de acuerdo con los estudios hidrológicos, topográficos y geológicos preliminares, la Comisión del Río Grijalva llegó a la conclusión de que la primera presa por construirse en el estado fuera la de Nezahualcóyotl, en la boquilla denominada "Raudales Malpaso", sobre el Río Grijalva.

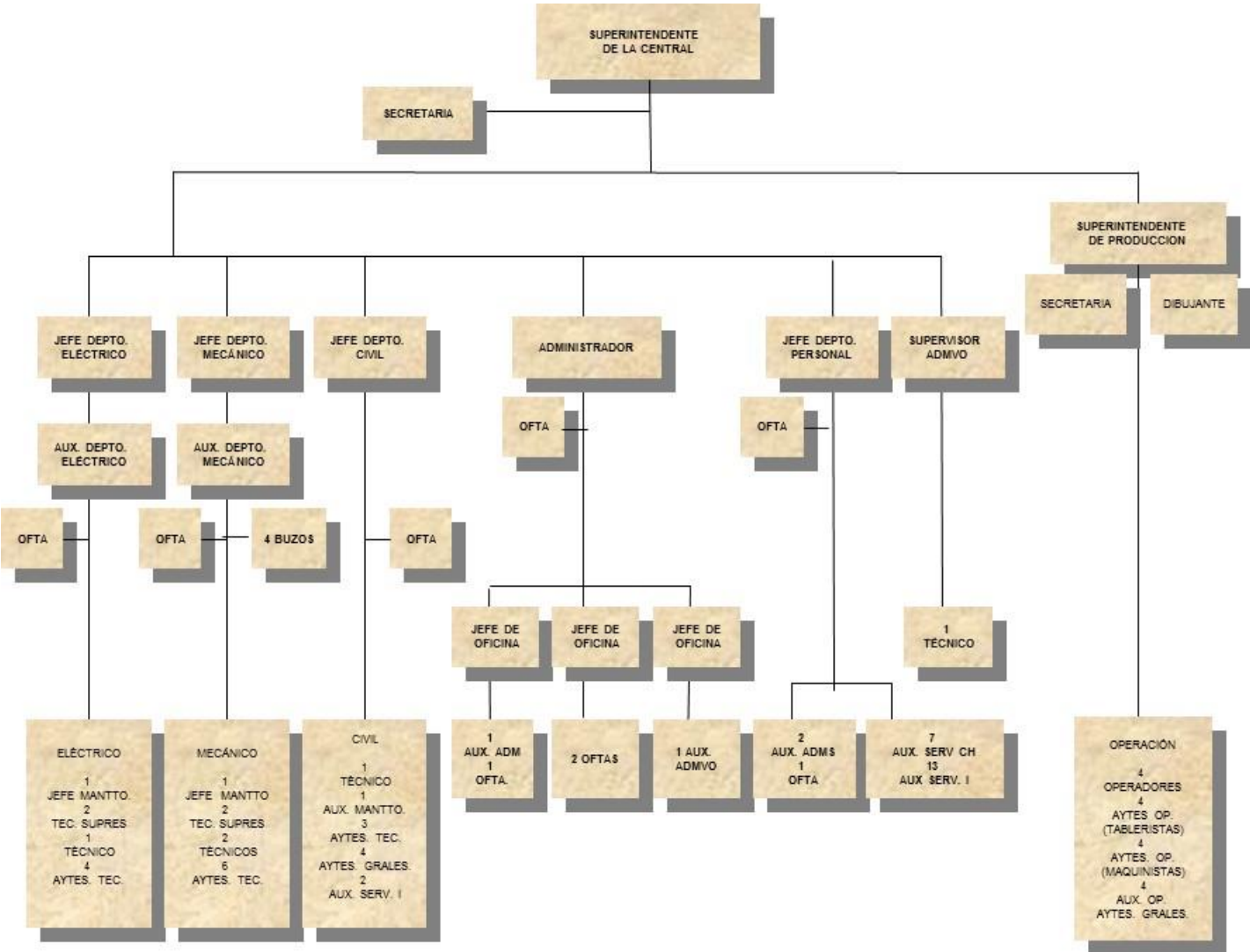
En 1960 se disponía de los planos estructurales definitivos para iniciar la construcción de la presa, en la cual la Comisión del Río Grijalva coordinó sus actividades con la Comisión Federal de Electricidad que planeo todo lo referente a su aprovechamiento para la generación de energía Eléctrica. El objetivo principal de la presa fue:

- Control de avenidas.
- Generación de energía eléctrica.
- Defensa contra las inundaciones.
- Riego – drenaje.
- Agua potable y saneamiento.
- Vías de comunicación y establecimiento de centros de población campesina

Es en esta central hidroeléctrica que se llevara a cabo el proyecto de Residencia.

El servicio al cliente es prioridad para la empresa, por lo que se utiliza la tecnología para ser más eficiente, y se continúa la expansión del servicio, aprovechando las mejores tecnologías para brindar el servicio aún en zonas remotas y comunidades dispersas. CFE es reconocida como una de las mayores empresas eléctricas del mundo, y aún mantiene integrados todos los procesos del servicio eléctrico.

### 3.1 Organigrama de la empresa



Organigrama C.H. Netzahualcóyotl



El área asignada para llevar a cabo la Residencia Profesional, es el departamento mecánico, el cual se encarga de asegurar el correcto funcionamiento tanto de los equipos como de la maquinaria situada en la central, enfocándose a la parte mecánica de éstos, las tareas diarias encomendadas a este departamento son:

- Resumen de valores críticos de los reportes de temperatura y presión de las Unidades generadoras, monitoreando así el correcto funcionamiento de cada una de éstas.
- Trabajos de mantenimiento rutinarios a los diversos equipos en operación.
- Inspección de niveles de fluido de los equipos

La siguiente tabla muestra la cantidad de personal de las distintas áreas de trabajo de la central, particularmente el departamento mecánico cuenta con 18 trabajadores, la distribución de ellos se puede observar en el anterior organigrama de la empresa.

<b>PLAZAS TABULADAS</b>	<b>BASE</b>	<b>CONFIANZA</b>	<b>TOTAL</b>
OPERACIÓN	16		16
MANTENIMIENTO MECANICO	12	6	18
MANTENIMIENTO ELECTRICO	9	2	11
MANTENIMIENTO CIVIL	12	1	13
APOYO ADMINISTRATIVO	8	5	13
PERSONAL Y SERVICIOS	25	1	26
SEGURIDAD E HIGIENE Y CAPACITACION	1	1	2
PROTECCION Y CONTROL	2	2	4
SUPERVISION Y DIRECCION		2	2
<b>TOTAL PROCE SO</b>	<b>85</b>	<b>20</b>	<b>105</b>

Tabla 2. Personal que labora en la C.H. Netzahualcóyotl

### 3.2 Problemas a resolver priorizándolos

Primeramente tenemos que saber con que elementos cuenta el sistema en general, puesto que no hay información sobre dicho sistema, hay que hacer un recorrido por la obra de toma para localizar y detectar los elementos que lo conforman. Una vez hecho podemos proceder a las actividades marcadas en el cronograma.

### 3.3 Cronograma de actividades

Actividad	Semana															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Investigación bibliográfica.	■	■	■	■												
Recolección de información	■	■	■	■												
Cálculos					■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Supervisión					■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Entrega de proyecto final																■

- Investigación bibliográfica: En este punto realizaremos la investigación acerca de temas de hidráulica, específicamente a la oleodinámica.
- Recolección de información: Vamos a analizar la información, para posteriormente seleccionar la que nos será de utilidad.
- Cálculos: Vamos a realizar los cálculos correspondientes que conllevan al funcionamiento general del sistema.
- Supervisión: El asesor del proyecto, externo e interno, revisará el avance del proyecto.
- Entrega del proyecto final: Conclusión del proyecto.

### **3.4 Alcance**

Este proyecto está destinado a mejorar el control de la apertura y cierre de las compuertas de la Central Hidroeléctrica Netzahualcóyotl, puesto que el sistema actual de operación de dichas compuertas funciona adecuadamente es un riesgo potencial ya que lleva más de 4 décadas de operación con modificaciones pequeñas, no existe confiabilidad total del sistema pues una avería podría acarrear cuantiosas pérdidas , es por ello que a través de la modernización del sistema, se obtienen muchos de los beneficios que conlleva renovar una parte que es vital en el proceso de generación de energía eléctrica, mayor confiabilidad , eficiencia y control de regulación de la entrada de la fuente de combustible , en este caso , el agua.

### **3.5 Limitaciones**

No existen planos de referencia ni diagrama del sistema que indique los componentes que lo conforman, además de que la instalación se encuentra a una distancia aproximada de 2000 metros de casa de máquinas y es poco frecuente la visita al lugar, pues se realiza periódicamente una vez al mes para revisar los niveles de aceite del sistema.

## 4 Marco Teórico

### 4.1 PRINCIPIOS BÁSICOS

El principio precursor de la Oleodinámica es la ley de Pascal, que enunciada simplificada dice: “La presión en cualquier punto de un fluido sin movimiento tiene un solo valor, independiente de la dirección” o dicho de otra forma: “La presión aplicada a un líquido confinado se transmite en todas las direcciones, y ejerce fuerzas iguales sobre áreas iguales”.

#### 4.1.1 Principio de Pascal

La figura 3 muestra gráficamente el principio de Pascal. Como complemento a este principio se ha de decir que los líquidos son prácticamente incompresibles: a diferencia de los gases que pueden comprimirse, los líquidos, como los sólidos, no experimentan una reducción significativa de su volumen al verse sometidos a presión.

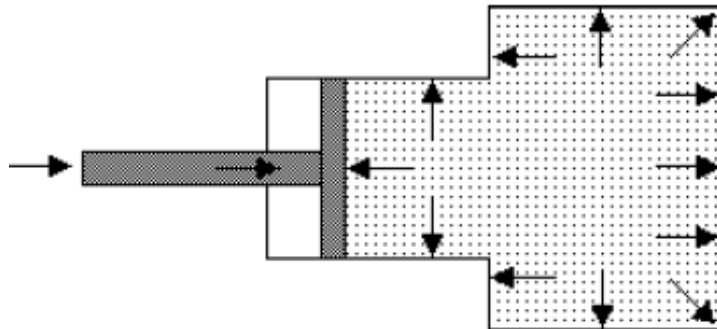


Fig. 3 Descripción gráfica Principio de Pascal

Fuente: Manual básico de Oleohidráulica 2ª Edición. SOHIPREN S.A.

Esta figura introduce el concepto de presión, que es la fuerza por unidad de superficie a que está sometido un fluido. Aplicando el principio de Pascal y observando la figura 4, se puede comprobar cómo una pequeña fuerza  $F_1$  es ejercida sobre un émbolo pequeño, de área " $A_1$ " produce sobre el émbolo una presión de:

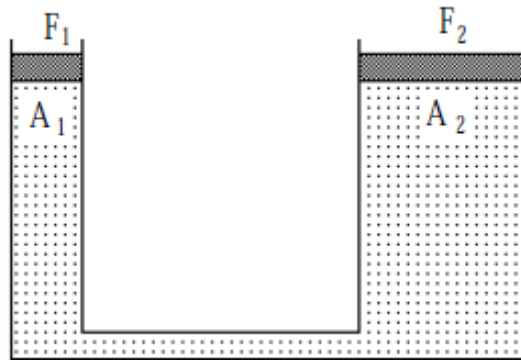


Fig. 4 Equilibrio Hidráulico

Fuente: Manual básico de Oleohidráulica 2ª Edición. SOHIPREN S.A.

$$P = F_1/A_1 \dots\dots\dots\text{Ec. (1)}$$

$$A = \frac{\pi d^2}{4} \dots\dots\dots\text{Ec. (1.1)}$$

$$F = m \cdot g \dots\dots\dots\text{Ec. (1.2)}$$

Esta presión se transmite a lo largo del tubo y por medio de un fluido hasta un émbolo de sección mayor, cuya área es  $A_2$ . Puesto que el sistema se encuentra en equilibrio, las presiones en ambos émbolos son las mismas, de donde se deduce que:

$$P = F_1/A_1 = F/A_2$$

De donde:

$$F_2 = (A_2/A_1)F_1$$

Y se llega a la conclusión de que con una fuerza  $f$  pequeña se puede obtener otra fuerza  $F$  considerablemente mayor, ya que poseemos un dispositivo para multiplicar la fuerza, con la gran ventaja mecánica que es directamente proporcional a la relación de las áreas de los pistones.

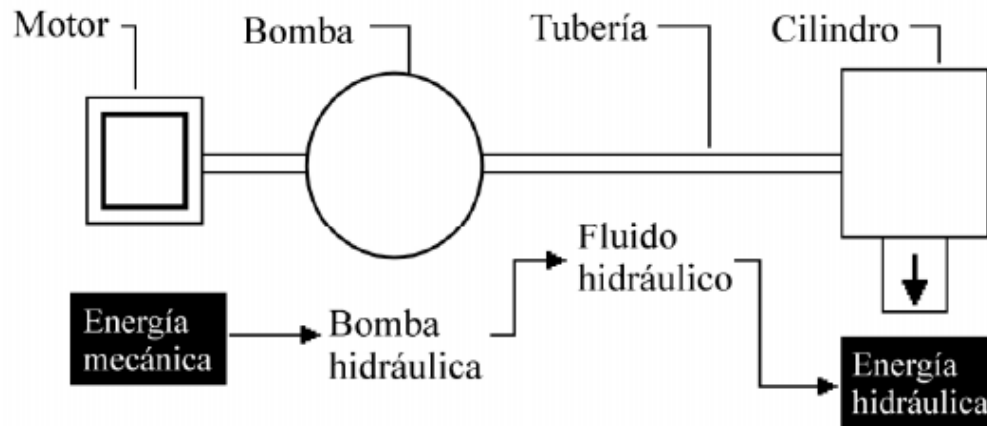


Fig. 5 Proceso de transmisión de energía

Fuente: Manual básico de Oleohidráulica 2ª Edición. SOHIPREN S.A.

Para conseguir esta fuerza determinada para la realización de un trabajo se necesita una energía, que será transmitida a través de un conducto por medio de un fluido hidráulico, y se generará a partir de una fuerza inicial. Atendiendo al principio de Pascal todo el conducto tiene la misma presión (atención a las juntas, sellos, etc.) y las fuerzas son proporcionales a las áreas.

La fig. 5 nos muestra el proceso de transmisión de energía, un motor proporciona una determinada energía mecánica a una bomba, y ésta, según la energía que recibe, suministra una determinada energía hidráulica, la cual, se transfiere, bajo forma de caudal y presión y mediante un fluido hidráulico, a un pistón donde se vuelve a transformar en energía mecánica necesaria para realizar un trabajo.

El principio demostrado en la siguiente figura es el mismo de los gatos hidráulicos, de muy frecuente aplicación.

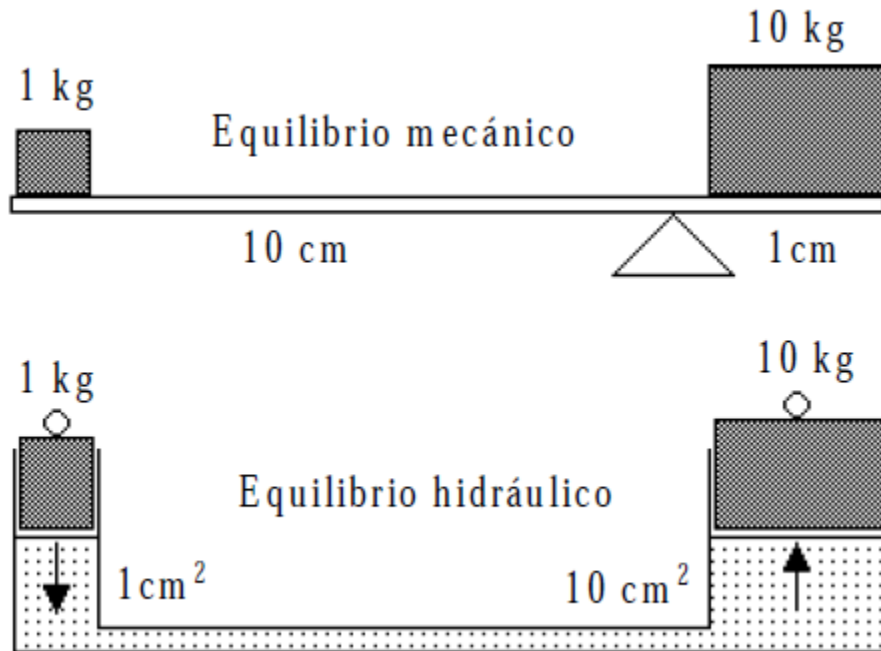


Fig. 6 Comparación entre el equilibrio mecánico e hidráulico

Fuente: Oleohidráulica básica y diseño de circuitos. Edición UPC (Universidad Politécnica de Catalunya).

La fig. 6 muestra gráficamente el principio de la prensa de Bramah , y se compara con una palanca mecánica; en mecánica es la fuerza por su brazo , y en la hidráulica es la fuerza por la superficie en que se aplica.

Si se aplica una fuerza de 20 Kg sobre una superficie de 4 cm<sup>2</sup> se obtiene una presión de  $20/4 = 5 \text{ Kg/cm}^2$ ; si ahora esta presión se transmite por una conducción a un pistón con una superficie de 70cm<sup>2</sup>, la fuerza que este desarrollará será de:

$$\text{Fuerza} = \text{Presión} \cdot \text{Superficie} = 5 \cdot 70 = 350 \text{ Kg}$$

Así se demuestra matemáticamente cómo se incrementan las fuerzas en una transmisión hidráulica.

Pero hay una ley fundamental en física que dice que la energía no se crea ni se destruye, sólo se transforma; por ello en este caso, el incremento de presión se obtiene en detrimento de otro factor, que en este caso es el espacio o la velocidad.

La figura 7 representa la influencia de la fuerza y el caudal en una transmisión hidráulica; en todo caso el producto de la fuerza ejercida y el espacio recorrido por el pistón de la izquierda debe ser igual al producto del espacio recorrido por la fuerza desarrollada en el pistón de la derecha.

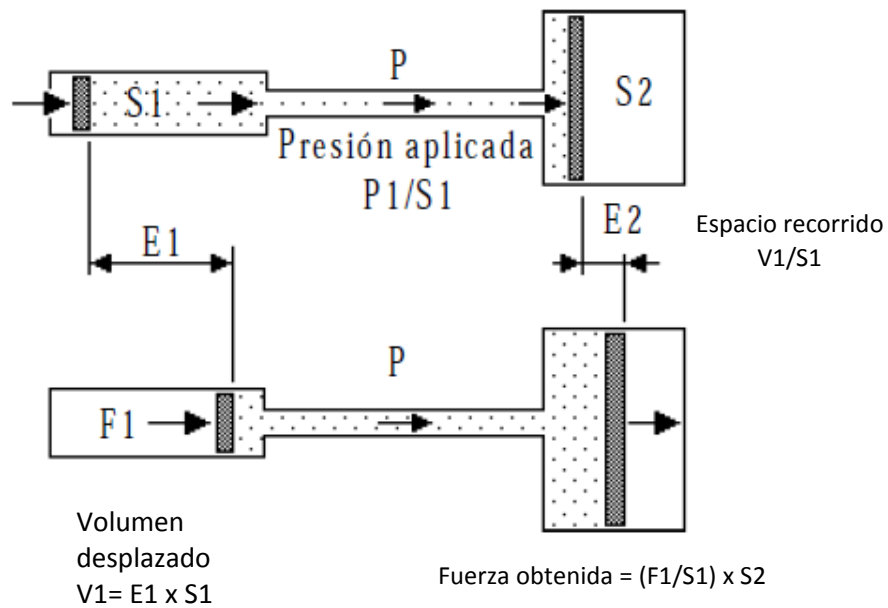


Fig. 7 Relación Presión / Avance

Fuente: Oleohidráulica básica y diseño de circuitos. Edición UPC (Universidad Politécnica de Catalunya).



La fig. 8 introduce el concepto de diferencia de presión, que, como su propio nombre indica, es la diferencia entre las presiones de dos puntos de un sistema; si no hay una diferencia de presión entre dos puntos, tampoco habrá circulación de fluido entre ellos.

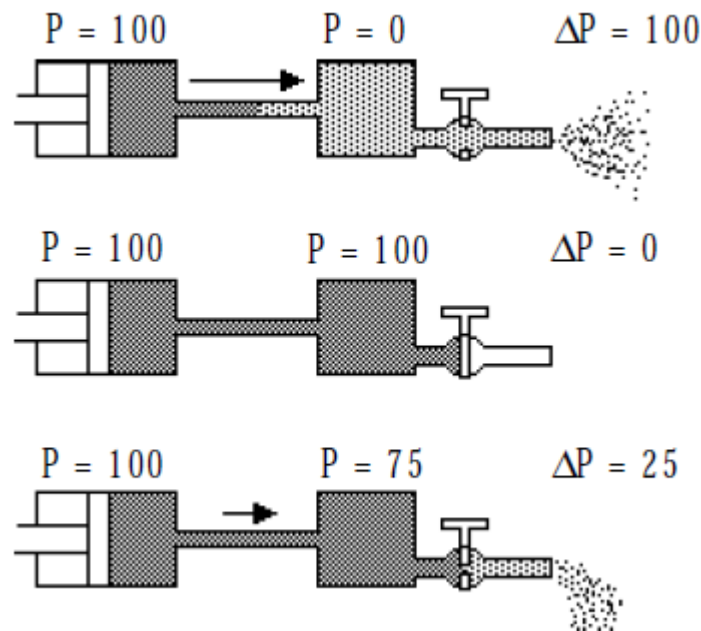


Fig. 8 Diferencia de Presión

Fuente: Oleohidráulica básica y diseño de circuitos. Edición UPC (Universidad Politécnica de Catalunya).

En un sistema hidráulico el caudal y la presión son factores independientes, y afectan cada uno de ellos a distintas funciones del mismo (velocidad y fuerza respectivamente.)

Otro factor que influye en el diseño y funcionamiento de un sistema Hidráulico/Oleodinámico es la viscosidad, que es la fuerza necesaria para hacer deslizar una capa líquida monomolecular sobre otra paralela de la misma área, venciendo el rozamiento de las moléculas.

En los líquidos la viscosidad depende, generalmente, de la temperatura (incremento de la temperatura => disminución de la viscosidad).

Hay otros conceptos importantes que incluiremos en esta parte del trabajo, como el tipo de circulación, laminar o turbulento, la pérdida de carga, etc.

Así la Hidráulica en general es una ciencia que estudia la transmisión de la energía a través de la compresión de un líquido.

Es sólo un medio de transmisión, no una fuente de potencia que sería el accionador primario (motor eléctrico, motor de explosión, tracción animal, etc.) La energía generada por esta fuente primaria se transmite al fluido que la transporta hasta el punto requerido, volviendo a convertirla en energía mecánica por medio de un accionador.

El elemento del circuito que absorbe la energía mecánica, de la fuente de potencia, y la transforma en hidráulica es la bomba del circuito.

Los accionadores que posteriormente transforman la energía hidráulica en mecánica, pueden ser motores o cilindros, según se desee obtener un movimiento rotativo o lineal respectivamente, y entre los elementos de bombeo y los accionadores se intercalarán los elementos de regulación y control necesarios para el correcto funcionamiento del sistema.

Son muchas las razones para el empleo de transmisiones hidráulicas ,siendo la versatilidad que éstas presentan frente a transmisiones mecánicas, que es la fuente de energía mayormente comparable en cuanto a movimiento de cargas grandes, pues la neumática se restringe por éste gran detalle, continuando con esta parte lo que en Hidráulica se soluciona con tuberías y válvulas ,mecánicamente implica el empleo de fuentes adicionales de energía, transmisiones, embragues, reductores, bielas, frenos, etc.

Por ejemplo en una pala retroexcavadora en la que no se emplease la transmisión Hidráulica para los distintos movimientos, se precisarían motores diferentes o un complejo sistema de transmisión para mover el vehículo, hacer girar la torreta, subir y bajar el brazo y accionar la cuchara de la pala.

Gracias a la Hidráulica se consigue que una sola fuente de energía produzca diversos movimientos simultáneos en una misma máquina.

La Oleodinámica es la ciencia que abarca el estudio de la transmisión de energía por medio de líquidos confinados. Entendemos por sistema oleodinámico el conjunto de elementos necesarios para la transmisión de energía por medio de un fluido.

Los elementos de un sistema son todos aquellos que lo componen para su correcto funcionamiento, mantenimiento y control; que pueden ser:

- Bombas o elementos que transforman la energía mecánica en hidráulica.
- Elementos de regulación y control, son los componentes encargados de regular y controlar los parámetros del sistema.
- Accionadores, son los elementos que vuelven a transformar la energía hidráulica en mecánica.
- Fluido, el líquido empleado para la transmisión de energía
- Acondicionadores y accesorios, son el resto de elementos que configuran el sistema.

Para conseguir una visión general de un sistema o circuito se precisa un método para representarlo, es decir, un dibujo o diagrama en el que aparezcan todos y cada uno de sus componentes, así como las conexiones y líneas que se entrelazan entre sí.

A continuación haremos una descripción de los conceptos básicos que permitan una mejor comprensión del desarrollo de este trabajo. Se explicará cada uno de los componentes del sistema oleodinámico en relación con sus características más generales.

#### **4.1.2 Fluido Hidráulico**

Comenzamos hablando por el fluido transmisor de potencia, el aceite mineral es el más usado en hidráulica, tiene propiedades lubricantes, no causa herrumbre, disipa calor fácilmente y se puede limpiar fácil por filtración mecánica y separación por gravedad.

Según DIN 51524 y 51525, los aceites hidráulicos se clasifican en tres tipos según sus propiedades y su composición:

- Aceite hidráulico HL (protección anticorrosiva y aumento de la resistencia al envejecimiento).
- Aceite hidráulico HLP (mayor resistencia al desgaste).
- Aceite Hidráulico HV ( viscosidad menos afectada por la temperatura).

En las siglas, la letra H significa que se trata de aceite hidráulico y las demás se refieren a los aditivos. A las siglas se les agrega un coeficiente de viscosidad según DIN 51517 (clasificación de viscosidad según ISO).

Por ejemplo el aceite hidráulico HLP 68 nos da la siguiente información:

H: Aceite hidráulico.

L: Con aditivos para obtener una mayor protección anticorrosiva y/o mayor resistencia al envejecimiento.

P: Con aditivos para disminuir y/o aumentar la resistencia.

68: Coeficiente de viscosidad según DIN 51517

### CARACTERÍSTICAS Y REQUISITOS.

Para que los aceites hidráulicos puedan cumplir con los requisitos antes planteados, tienen que contar con determinadas características según su aplicación. En consecuencia, las propiedades de las sustancias son las siguientes:

- Densidad lo más baja posible.
- Poca compresibilidad.
- Viscosidad no demasiado baja (películas lubricantes).
- Buenas características de viscosidad en función de la temperatura.
- Buenas características de viscosidad en función de la presión.
- Buena resistencia al envejecimiento.
- Compatibilidad con otros materiales.

Además, los aceites hidráulicos deben cumplir con las siguientes condiciones:

- Segregar aire.
- No formar espuma.
- Resistencia al frío.
- Ofrecer protección contra el desgaste y la corrosión.
- Capacidad de segregación de agua.

### **4.1.3 Viscosidad**

La viscosidad de un fluido se puede definir como la resistencia que opone un fluido a fluir, o podríamos decir que es una medida de la fricción interna de un fluido, también es la habilidad de un fluido para prevenir contacto directo de las partes en movimiento. Sin embargo un fluido de alta viscosidad no necesariamente tiene buena lubricidad.

En un sistema hidráulico las fugas son funciones de la viscosidad. Un aceite de baja viscosidad fugará más que un aceite de alta viscosidad, sin embargo es preferible utilizar aceite de baja viscosidad, ya que por su menor fricción se pierde menos presión y potencia.

Cuando la viscosidad es alta la resistencia al flujo es mayor, esto puede causar problemas en la succión así como más pérdidas por fricción en el sistema y calentamiento en las zonas de estrangulación. Se dificulta el arranque en frío y la segregación agua, por lo que existe mayor tendencia a desgaste por abrasión.

Un parámetro importante de los aceites hidráulicos es su viscosidad. La norma ISO y la norma reformada DIN 51524 establecen lo siguiente: la clasificación de la viscosidad determina la viscosidad mínima y máxima de los aceites hidráulicos sometidos a una temperatura de 40°C. Estos datos pueden ser consultados en la parte 1 de anexos.

#### 4.1.4 Índice de viscosidad

El índice de viscosidad es una medida del cambio de viscosidad con cambios de temperaturas. Esta es una consideración importante si el sistema hidráulico no tiene control de temperatura, o está expuesto a amplias variaciones de temperatura. Un aceite de alto (I.V) tiene menos cambios en la viscosidad con la temperatura.

En las aplicaciones deberán tenerse en cuenta las características de la viscosidad de los fluidos en función de la temperatura, puesto que la viscosidad del fluido sometido a presión cambia según la temperatura. Estas relaciones pueden mostrarse gráficamente con el diagrama viscosidad/temperatura de Ubbelohde. Si se incluyen los valores respectivos en un diagrama logarítmico doble, se obtiene una recta.

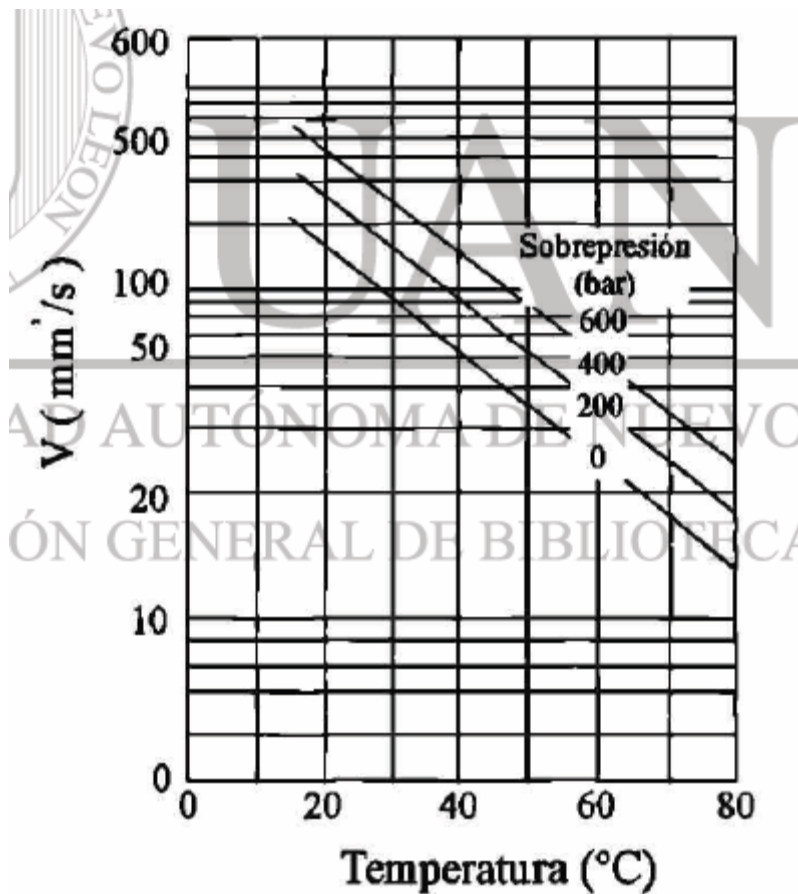


Tabla 3. Diagrama viscosidad/temperatura según Ubbelohde

Fuente: Sistemas de potencia Oleohidráulica. José Eloy Vargas. UANL

El aceite usado para el proyecto será el Mobil DTE Heavy Medium, actualmente es ocupado por el mismo sistema, es un aceite de circulación de alta calidad especialmente desarrollados para la lubricación de turbinas industriales de agua o vapor así como otros sistemas donde se requiere larga vida de servicio del lubricante. Están elaborados con aceites minerales de alta calidad y aditivos seleccionados para impartirles una excelente resistencia a la oxidación, estabilidad térmica, características anticorrosivas, antiherrumbrantes, de separación de agua, alta resistencia a la emulsificación y propiedades antidesgaste.

Poseen un alto índice de viscosidad que asegura una mínima variación del espesor de película con la temperatura así como una pérdida de potencia mínima durante el periodo de calentamiento. Estos grados poseen excelentes propiedades de separación del aire, lo que evita la operación errática de la bomba y cavitaciones.

Especificaciones de Calidad y Desempeño:

- DIN 51515-1 L-TD
- DIN 51524 PART 1
- DIN 51517 PART 2 (CL)
- JIS JIS K-2213 Type 2 w/ Additives (Excepto DTE Oil Heavy))

Podemos ver las características importantes de este aceite en la parte 1 de los anexos.



### 4.2.1 Bombas Hidráulicas

En un sistema oleodinámico, la bomba convierte la energía mecánica rotacional de un motor en energía hidráulica (potencia) impulsando fluido al sistema.

Muchos creen que la bomba genera presión. Es importante entender que el único propósito de las bombas es crear caudal. La presión es la fuerza en una determinada área creada por la resistencia a la circulación del fluido. La bomba es un mecanismo diseñado para producir un flujo necesario para el desarrollo de la presión. Pero la presión no se puede producir por si mismo, si no se realiza una resistencia al flujo. La capacidad de entregar caudal a alta presión determina el rendimiento y las diferencias en la selección de la bomba.

La teoría de bombeo es el siguiente: La bomba es conducida por un motor el cual cumple básicamente en primer lugar la función de crear un vacío en la entrada de la bomba. Este vacío hace posible a la presión atmosférica forzar al flujo desde el depósito a la bomba. La segunda es la acción de atrapar el flujo dentro de las cavidades de la bomba, transportándola a través de ella y forzándola dentro del circuito hidráulico.

#### Caudal

El caudal es el flujo de aceite proporcionado por la bomba, éste caudal es determinado por el desplazamiento de la bomba multiplicado por el número de revoluciones a la que es sometida la bomba.

$$Q_t = V \cdot n \dots\dots\dots \text{Ec. (2)}$$

Una bomba puede ser clasificada por su caudal nominal, en gpm o litros por minuto. Su Caudal es también proporcional a la velocidad rotación. La mayoría de los fabricantes facilitan una tabla o gráfico que muestra caudales de las bombas y los requerimientos de potencia, bajo condiciones de enseñanzas específicas, relativas a las velocidades de accionamiento y a las presiones.

## Desplazamiento

Es la capacidad del caudal proporcionado por una bomba que viene dado por el volumen de líquido transferido en la revolución. El desplazamiento se expresa en pulgadas cúbicas por revolución ó centímetros cúbicos por revolución.

### **4.2.2 Tipos de bombas hidráulicas**

Hay dos tipos básicos de bombas.

1. Bomba de desplazamiento no positivo.
2. Bombas de desplazamiento positivo. Este tipo de bomba se clasifica como de desplazamiento fijo o variable.

Bomba de desplazamiento no positivo. Este diseño de bomba se utiliza principalmente para transferir fluidos donde la única resistencia que se encuentra es creada por el peso del él mismo y por rozamiento.

La mayoría de las bombas de desplazamiento no positivo, funcionan mediante la fuerza centrífuga. El fluido entra por el centro del cuerpo de la bomba, expulsado hacia el exterior por medio de un impulsor que gira rápidamente. No existe ninguna separación entre los orificios de entrada y de salida; su capacidad de presión depende de la velocidad de rotación.

Aunque estas bombas suministran un caudal uniforme y continuo, su desplazamiento disminuye cuando aumenta la resistencia. Es, de hecho, posible que se bloquee completamente el orificio de salida en pleno funcionamiento de la bomba.

Por ésta y otras razones las bombas de desplazamiento no positivo se utilizan pocas veces en los sistemas oleo hidráulicos modernos. Estas propiedades las hacen una selección adecuada como bombas para el transporte de agua en sistemas de abastecimiento y riego. Pueden también utilizarse para el transporte de líquidos poco viscosos.

Bombas de desplazamiento positivo, son las más utilizadas en los sistemas hidráulicos industriales. Estas bombas suministran al sistema una cantidad determinada de fluido, en cada carrera, revolución o ciclo. Este tipo se clasifica como de desplazamiento fijo o variable. Las bombas de desplazamiento fijo, proporcionan un determinado caudal. Se debe cambiar la velocidad de giro de la bomba para variar el flujo.

Las bombas de desplazamiento variable, es una de desplazamiento fijo al cual se le instala un medio para variar el desplazamiento de la bomba. Pudiendo variar flujo independiente a las revoluciones de giro de la bomba.

La presión viene determinada por la carga de trabajo, y exceptuando las fugas, el caudal de salida es independiente de la presión de trabajo y esto hace que la bomba de desplazamiento positivo sea más adecuada para utilizarse en la transmisión potencia.

#### Eficiencia de las bombas (rendimiento volumétrico)

En teoría, una bomba suministra una cantidad de fluido igual a su desplazamiento por ciclo o revolución. En realidad el desplazamiento efectivo es menor, debido a las fugas internas. A medida que aumenta la presión, las fugas desde la salida de la bomba hacia la entrada o al drenaje también aumentan y el rendimiento volumétrico disminuye. El rendimiento volumétrico determina el porcentaje y estado de las fugas internas en las revoluciones por minuto en un estado de presión. Toda bomba necesita un flujo interno para lubricar las partes en movimiento.

El rendimiento volumétrico es

$$\eta_v = \frac{Q_r}{Q_t} \times 100 \dots\dots\dots \text{Ec. (3)}$$

El grado de eficiencia total de una bomba se calcula recurriendo al grado de eficiencia volumétrico ( $\eta_v$ ) y al grado de eficiencia hidráulico – mecánico ( $\eta_m$ ). Se aplica la siguiente ecuación:

$$\eta_{Total} = \eta_v \cdot \eta_m \dots\dots\dots \text{Ec. (4)}$$

Curva característica de una bomba.

La curva característica de una bomba es la expresión de la curva característica del caudal de transporte en función de la presión. La curva característica de una bomba demuestra que el caudal de transporte efectivo ( $Q_{ef}$ ) disminuye en función del aumento de la presión. El caudal de transporte real ( $Q_r$ ) es el que, además, toma en cuenta el aceite de fuga ( $Q_f$ ).

Para mantener la lubricación, es necesario que exista un mínimo de aceite de fuga.

La curva característica de una bomba ofrece las siguientes informaciones:

- Si  $p = 0$ , la bomba rinde un caudal de transporte total  $Q$
- Si  $p > 0$ , disminuye  $Q$  por efecto del aceite de agua.
- La trayectoria de la curva característica informa sobre el grado de eficiencia volumétrica ( $\eta_v$ ).

Por otra parte, las revoluciones de una bomba son un criterio importante de selección, ya que el caudal de transporte es determinado por las revoluciones  $N$ .

Muchas bombas no deben rebasar ciertos márgenes de revoluciones y tampoco se les puede someter a esfuerzos en el momento de ponerlas en marcha. El régimen de revoluciones más frecuente es de  $N = 1500$  RPM, ya que suelen ser accionadas por motores asíncronos de corriente trifásica que dependen de la frecuencia de la red eléctrica.

Veremos tres tipos de bombas más aplicadas en los sistemas hidráulicos, estas son:

#### **4.2.3 Bombas de engranaje**

Bombas de engranajes externos: Produce caudal al transportar el fluido entre los dientes de dos engranajes acoplados. Uno de los engranes es directamente accionado por el eje de la bomba (motriz) y este hace girar el otro (libre). Se origina un cierto vacío en la aspiración cuando se separan dos dientes que estaban engranando, ya que en este momento aumenta el volumen en la cámara de aspiración; simultáneamente los dientes se van alejando, arrastrando consigo el fluido que ha penetrado en la cámara de aspiración.

Bombas de engranes internos: Están compuestas de dos engranajes, uno externo y otro interno el cual tiene uno o dos dientes menos que el engranaje exterior.

La reducida relación de velocidades de giro de los engranajes hace que este tipo de bomba tenga una menor relación de desgaste comparado con otros.

Son generalmente usadas para caudales pequeños y se suelen comercializar como pequeñas unidades compactas.

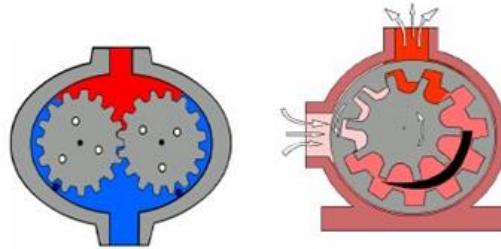


Fig. 9 Bomba de engranes internos

Fuente: Sistemas Oleohidráulicos y la selección de componentes. Universidad Centroamericana José Simeón Cañas.

#### 4.2.4 Bombas de pistones

Son unidades rotativas que usan el principio de las bombas oscilantes para producir caudal. En lugar de utilizar un solo pistón, estas bombas disponen de muchos



Fig.10 Bomba de pistones Radiales, Axiales, Axiales Angulares

Fuente: Sistemas Oleohidráulicos y la selección de componentes. Universidad Centroamericana José Simeón Cañas.

Radiales: Los pistones están colocados tal como su nombre lo indica, radialmente. Estos pistones se mueven perpendicularmente con relación al eje.

Axiales: El barrilete de cilindro gira, accionado por el eje motriz. Los pistones alojados en los orificios del barrilete, se conectan al plato inclinado por medio de pines y de un anillo de retroceso. A medida que el barrilete gira, los pies apoyados al plato inclinado hace que los pistones se muevan linealmente con respecto al eje.

Axiales en ángulo: Este tipo de bomba está compuesta por un eje motriz, un bloque o barrilete de cilindros, y una placa de válvulas que está encarada con los orificios de los cilindros del barrilete, y que dirige el fluido de la aspiración a la salida.

#### **4.2.5 Bombas de paletas**

Un determinado número de paletas se deslizan en el interior de unas ranuras de un rotor que a su vez gira en un alojamiento o anillo. Las cámaras de bombeo se forman entre las paletas, el rotor y el alojamiento en conjunto quedan cerrados lateralmente por las placas laterales. Existen dos tipos:

No equilibradas: el alojamiento es circular y dispone interiormente de un solo orificio de aspiración y otro de presión. Tienen la inconveniencia de que las cámaras de presión y aspiración están opuestas, por lo que se genera una carga lateral sobre el eje motriz. Puede ser de caudal variable o fijo.

Equilibrada: Solo son de caudal fijo y se diferencia del anterior en que su anillo tiene forma elíptica (no circular) que permite utilizar dos conjuntos de orificios de aspiración y de impulsión. Las dos cámaras de bombeo, separadas 180°, hacen que las fuerzas laterales sobre el rotor se equilibren.

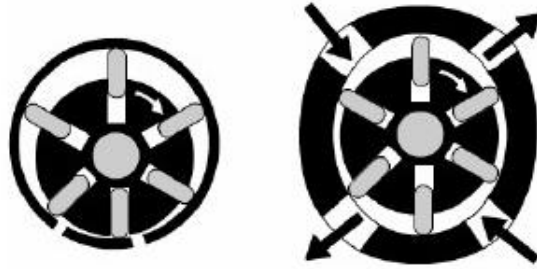


Fig.11 Bomba de paleta no equilibrada, equilibrada

Fuente: Sistemas Oleohidráulicos y la selección de componentes. Universidad Centroamericana José Simeón Cañas.

### **4.3 Actuadores Hidráulicos**

#### **4.3.1 Cilindros**

Los cilindros son Actuadores lineales, utilizados para convertir la potencia hidráulica en fuerza o movimiento mecánico lineal. Aunque los cilindros producen un movimiento lineal, pueden aplicarse en variedad de funciones produciendo un movimiento final rotatorio, semi-rotatorio, o en combinaciones lineal y rotatoria. Además como intermedio de palancas y uniones se puede lograr multiplicar o reducir fuerza; aumentar o disminuir velocidad.

El principio de funcionamiento es muy simple: el fluido bajo presión es enviado por una de las conexiones del actuador este actúa contra el área del pistón. El pistón unido al vástago es movido linealmente en su longitud con una pequeña fuerza. La distancia recorrida del pistón durante su desplazamiento se llama carrera.



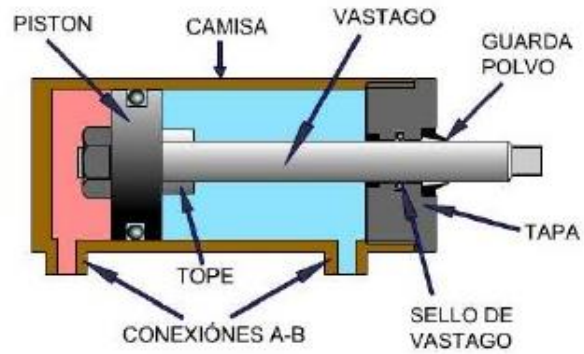


Fig.12 Partes de un cilindro

Fuente: Sistemas Oleohidráulicos y la selección de componentes. Universidad Centroamericana José Simeón Cañas.

El cilindro hidráulico está constituido por la cámara del vástago (Área más pequeña) en la cual se encuentra el vástago y la cámara del pistón el área mayor de cilindro. Hay varios tipos de cilindros incluyendo los de simple y de doble efectos.

Las características de los diseños más empleados se muestran a continuación:

#### 1. Cilindros de simple efecto.

- Retorno por carga
- Retorno por muelle
- Cilindro telescópico

#### 2.- Cilindros de doble efecto

- Cilindro de doble vástago
- Cilindro tándem



Fig.13 Tipos de cilindros

Fuente: Sistemas Oleohidráulicos y la selección de componentes. Universidad Centroamericana José Simeón Cañas.

#### 4.3.2 Construcción y funcionamiento de un cilindro

Sellos de cilindro: Normalmente se utilizan anillos de fundición como juntas del pistón. Los sellos son agrupados dentro de sellos estáticos y dinámicos. Las juntas estáticas (sellos) mantienen estancada la presión.

Se consigue la estanqueidad de las superficies móviles por la junta del vástago (Sellos dinámicos) que impide que el fluido fugue a lo largo del vástago, y las juntas del pistón que impide que el fluido derive por éste.

Se instala un limpiador que impide que la contaminación externa pueda penetrar entre el área guía y de sello. Estos son juntas corrientes de goma, pero debe ponerse mucho cuidado en que el material que las forman sean compatibles con el fluido y la temperatura del sistema.

Las guías de los vástagos se fabrican generalmente con materiales similares a los basados en polímeros duros (plásticos) tales como teflón. (Teflón es un nombre comercial de Du Pont).

Con pocas excepciones, se proporciona un limpiador o rascador del vástago. No debe pasarse por alto la importancia de este componente. Ya que impide que contaminantes exteriores, penetren dentro del cilindro y del sistema hidráulico.

Los materiales deben ser compatibles no sólo con el fluido, sino también con el ambiente a que está expuesta el vástago del cilindro, tales como hielo, suciedad, vapor, agua, etc. Por lo cual es muy importante el mantenimiento del dispositivo limpiador/ rascador pero frecuentemente se suele olvidar.

Montaje del cilindro. Existen varios tipos entre las más conocidas se encuentran: el montaje con tirantes, con pernos, con brida, con muñones, con salientes laterales y con cojinetes esféricos.

### Características

- 1) Los cilindros hidráulicos son dispositivos móviles.
- 2) Las fuerzas generadas por ellos son de las mayores que se encuentran en los sistemas de potencia fluida.
- 3) La duración del cilindro y del sistema depende muchísimo de la especificación y mantenimiento adecuados de un elemento sencillo, el limpiador/ rascador del vástago.

### Precauciones de mantenimiento y operación

1. Como en todos los elementos hidráulicos, la contaminación puede dañar el cilindro.
2. Son muy importantes las prácticas generales de limpieza, tales como taponar orificios hasta que se conecten las líneas.
3. Es esencial un cuidado especial en el cilindro para asegurar una carga mínima sobre los cojinetes y juntas.
4. La forma en que se utiliza el cilindro en un sistema influye mucho en funcionamiento y expectativas de duración.
5. El accionamiento rápido de las válvulas con centro cerrado puede originar puntas de presión extremadamente elevadas.
6. Contra presiones excesivas, debidas a válvulas de control de la velocidad pueden originar un desgaste rápido de las juntas.
7. Aunque el diseño de los cilindros puede ser sencillo, su uso adecuado requiere tomar en consideración muchos factores.

## 4.4 Control de presión

En esta parte conoceremos el concepto básico de la manipulación de la fuerza a través de un sistema hidráulico mediante válvulas de control de presión. Los dos tipos básicos de diseño aplicados por las siguientes seis válvulas, este diseño consiste en accionamiento directo o accionamiento piloto.

Una cuestión importante en los circuitos de potencia hidráulica es si se debe controlar el caudal de flujo o el nivel de presión. Un concepto erróneo es que la presión debe controlarse mediante un orificio o dispositivo de control de flujo. Esto nunca se logra hacer con precisión. Para el control preciso de la fuerza, se han desarrollado seis tipos de control de la presión. Estos seis tipos de válvulas son :

- Válvula de alivio
- Válvula de descarga
- Válvula de secuencia
- Válvula reductora de presión
- Válvula de contrabalance
- Válvula de frenado

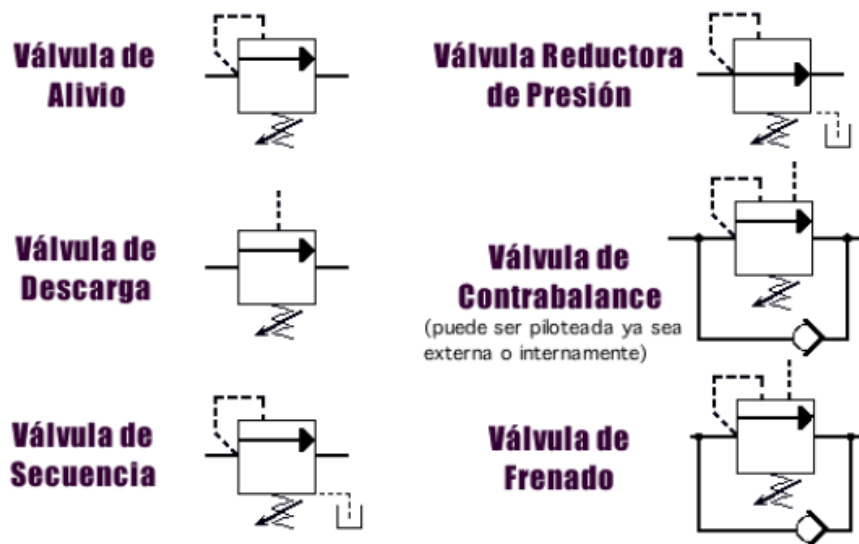


Fig.14 Válvulas de control de presión

Fuente: Hidráulica Básica 3.0. Fluidpowerzone.com

Los símbolos de estas válvulas son similares; a menudo solo su ubicación en el circuito hidráulico determina a que tipo de válvula pertenece.

#### **4.4.1 Válvula de alivio (de accionamiento directo)**

Se puede controlar la presión máxima del sistema mediante una válvula de presión normalmente cerrada. Con el puerto primario de la válvula conectado a un sistema de presión y el puerto secundario conectado al depósito, el cabezal móvil es activado por un valor de presión predeterminado; al llegar a este punto se conectan los pasajes primarios y secundarios; y el flujo se desvía al depósito. Este tipo de control de presión se denomina válvula de alivio.

##### Válvula de alivio accionada por piloto

Las válvulas de alivio accionadas por piloto se encuentran diseñadas para adaptarse a presiones más elevadas con mayores flujos, permitiendo un tamaño del marco menor que el de la válvula de alivio por accionamiento de directo, con el mismo caudal de flujo.

La válvula está armada en dos etapas. La segunda etapa incluye el carrete principal mantenido en una posición normalmente cerrada mediante un resorte liviano no ajustable. La segunda etapa es lo suficientemente grande como para manejar el caudal máximo de flujo de la válvula. La primera etapa es una válvula de alivio de accionamiento directo de tamaño pequeño o, normalmente montada en paralelo sobre el cuerpo de la válvula principal, e incluye un cabezal móvil, un resorte u una perilla ajustable, la segunda etapa maneja el caudal total de flujo al depósito. La primera etapa controla y limita el nivel de presión del piloto en la cámara principal del carrete.

#### 4.4.2 Válvula de Secuencia (Secuencia de Presión)

Una válvula de secuencia es una válvula de control de presión normalmente cerrada que asegura que una operación se produzca antes de otra, en base a la presión. En el siguiente ejemplo se esquematiza un sistema de tenaza y taladro, lo que queremos es que el cilindro de la tenaza se extienda completamente antes de que se extienda el cilindro del taladro. Para lograr esto colocamos una válvula de secuencia inmediatamente antes del cilindro del taladro. Ajustamos la válvula a 500 psi. Esto asegura que el taladro no se extienda antes de haber alcanzado los 500 psi en el cilindro de la tenaza.

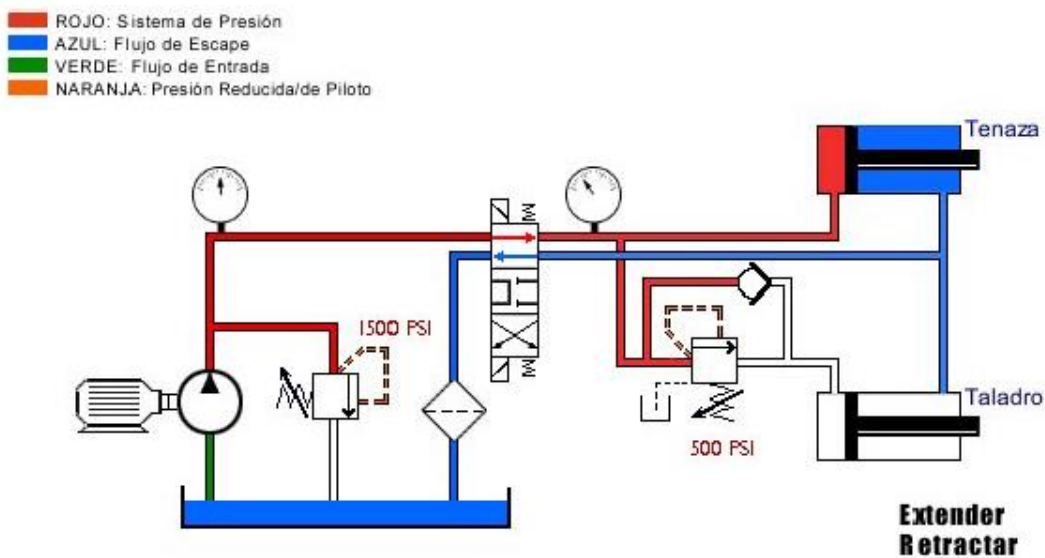


Fig.15 Diagrama válvula de secuencia

Fuente: Hidráulica Básica 3.0. Fluidpowerzone.com

#### 4.4.3 Válvula Reductora de Presión

Una válvula reductora de presión es una válvula de control de presión normalmente abierta utilizada para limitar la presión en una o más ramas de un circuito hidráulico. La reducción de presión tiene como resultado una reducción en la fuerza generada. La válvula reductora de presión es el único tipo de válvula de presión que se encuentra normalmente abierta. Una válvula de control de presión normalmente abierta tiene los pasajes primario y secundario conectados.

La presión en la parte inferior del carrete se percibe desde la línea del piloto que se conecta al puerto secundario. Debe recordar que una válvula reductora de presión está normalmente abierta.

Ahora, coloquemos la válvula reductora de presión en un circuito real para ver su aplicación. El circuito de la tenaza del ejemplo requiere que el cilindro de tenaza B aplique una fuerza menor que el cilindro de tenaza A. Una válvula reductora de presión colocada justo antes del cilindro de la tenaza B permite que el flujo vaya al cilindro hasta que la presión alcance el ajuste de la válvula.

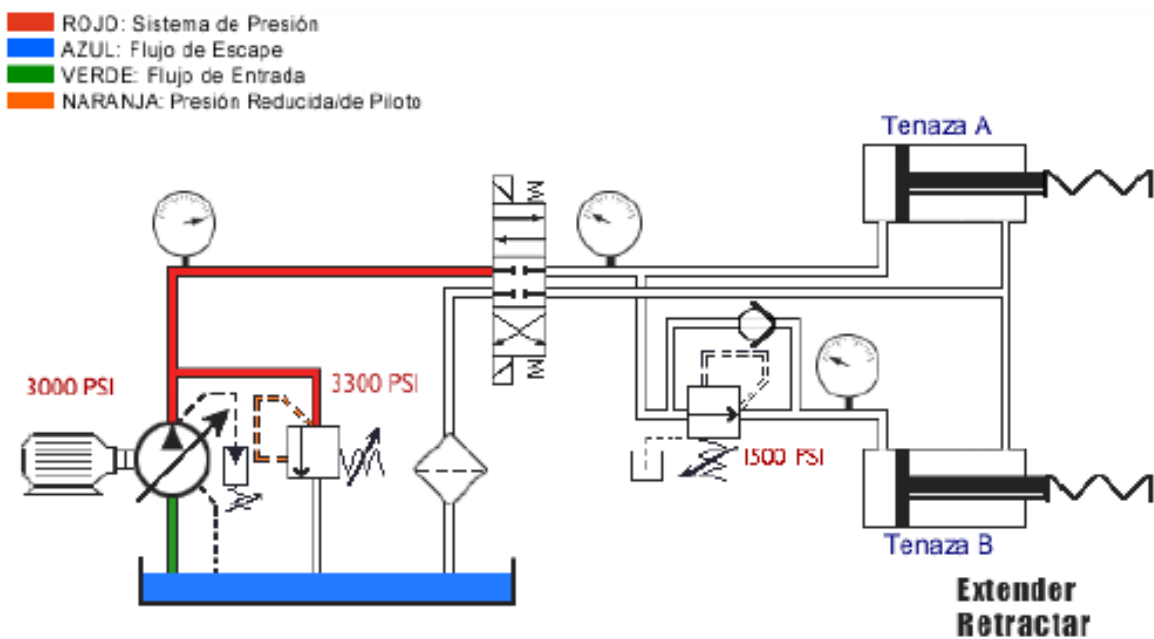


Fig.16 Diagrama ilustrativo de la válvula reductora de presión

Fuente: Hidráulica Básica 3.0. Fluidpowerzone.com

En este punto, la válvula empieza a cerrarse, limitando la acumulación subsiguiente de la presión. A medida que el fluido se filtra al depósito a través del pasaje de descarga de la válvula, la presión empieza a bajar y la válvula vuelve a abrirse. El resultado es una presión reducida modulada equivalente al ajuste de la válvula.

#### 4.4.4 Válvula de Descarga

Una válvula de descarga es una válvula de control de presión normalmente cerrada piloteada en forma remota que dirige el flujo hacia el depósito cuando la presión en esa ubicación alcanza un nivel predeterminado. Un buen ejemplo de la aplicación de una válvula de descarga sería un sistema alta-baja. Un sistema alta-baja puede componerse de dos bombas: una bomba de alto volumen, y la otra, de volumen bajo. El sistema está diseñado para suministrar un acercamiento o retorno rápido en el cilindro de trabajo. El volumen total de ambas bombas se envía al cilindro de trabajo hasta que se contacta la carga.

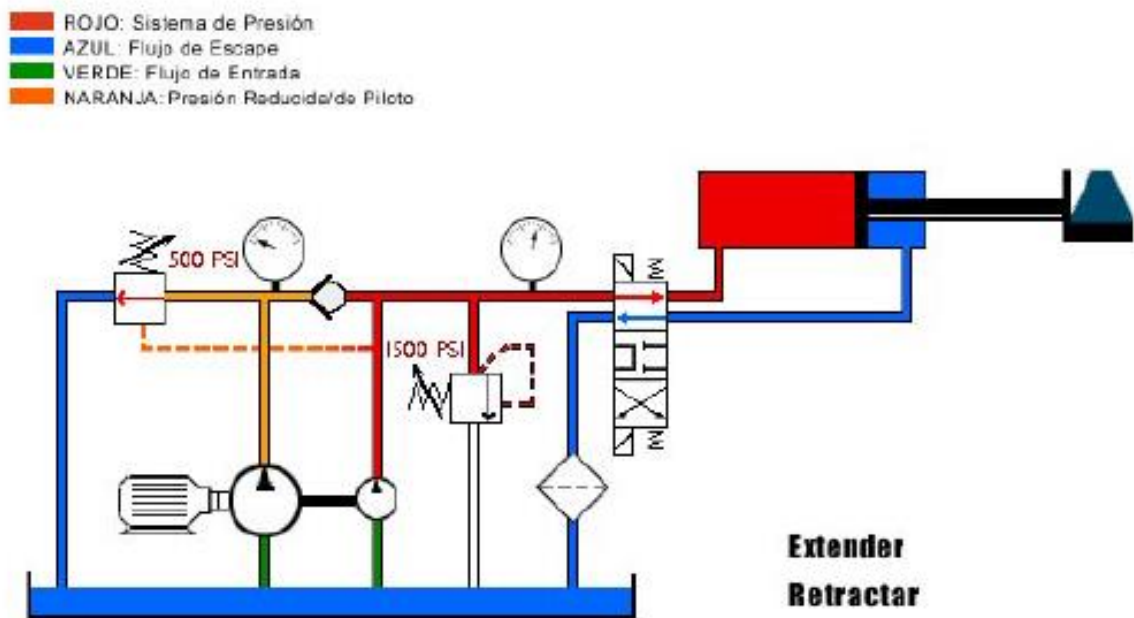


Fig.17 Diagrama funcionamiento de una válvula de descarga

Fuente: Hidráulica Básica 3.0. Fluidpowerzone.com



En este punto la presión del sistema aumenta, lo que hace que se abra la válvula de descarga. El flujo desde la bomba de volumen alto se dirige de vuelta al depósito a una presión mínima. La bomba de volumen bajo sigue enviando flujo para satisfacer el requisito de presión más alta del ciclo de trabajo. Ambas bombas se unen nuevamente para un rápido retorno del cilindro. Esta aplicación permite aplicar menos caballos de potencia de entrada para los requisitos de velocidad y fuerza.

#### 4.4.5 Válvula de Contrabalance

Una válvula de contrabalance es una válvula de presión normalmente cerrada que se utiliza con los cilindros para compensar un peso o una carga potencialmente descontrolada. En este circuito, sin una válvula de contrabalance la carga puede caer sin control o descontrolarse, y el flujo de la bomba no podrá mantener el ritmo. Para evitar una operación descontrolada, colocamos una válvula de contrabalance inmediatamente después del cilindro.

El ajuste de presión de la válvula de contrabalance se fija levemente por encima de la presión inducida por carga de 1100 psi. Esto compensa la carga. A medida que extendemos el cilindro, la presión debe elevarse levemente para bajar la carga.

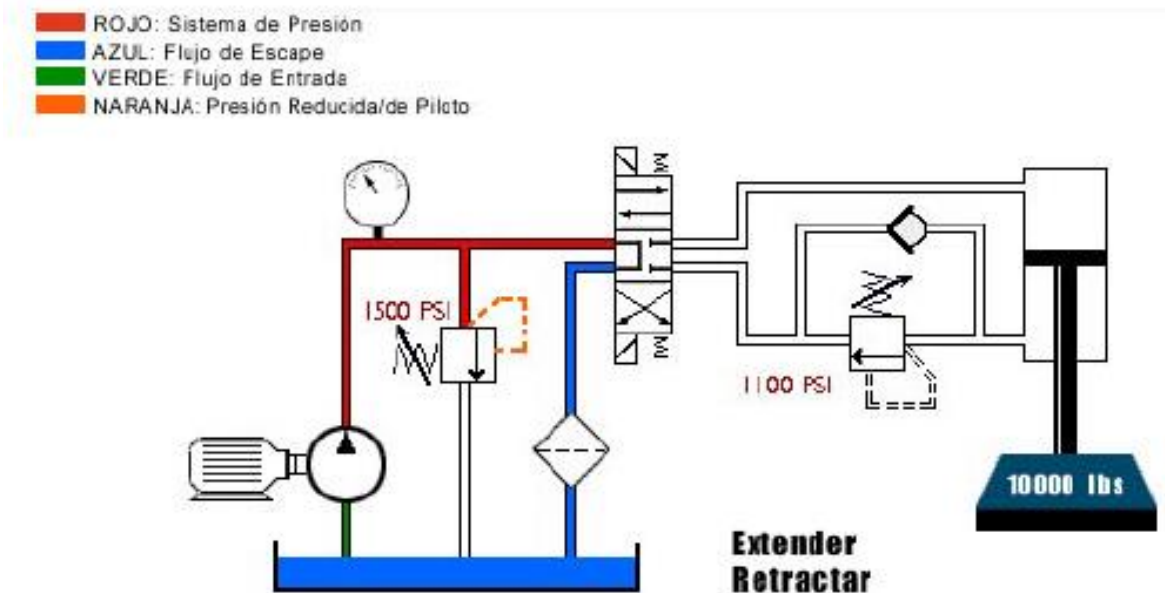


Fig.18 Circuito ilustrativo de una válvula de contrabalance

Fuente: Hidráulica Básica 3.0. Fluidpowerzone.com

#### 4.4.6 Válvula de Freno

Una válvula de frenado es una válvula de control de presión normalmente cerrada con los pilotos directo y remoto conectados simultáneamente para su operación. Esta válvula se usa con frecuencia con motores hidráulicos para el frenado dinámico.

Como cualquier resistencia corriente abajo incrementa la carga sobre el motor hidráulico, se pilotea en forma remota mediante la presión de trabajo para mantener la válvula abierta durante el funcionamiento. Esto elimina la contrapresión sobre el motor.

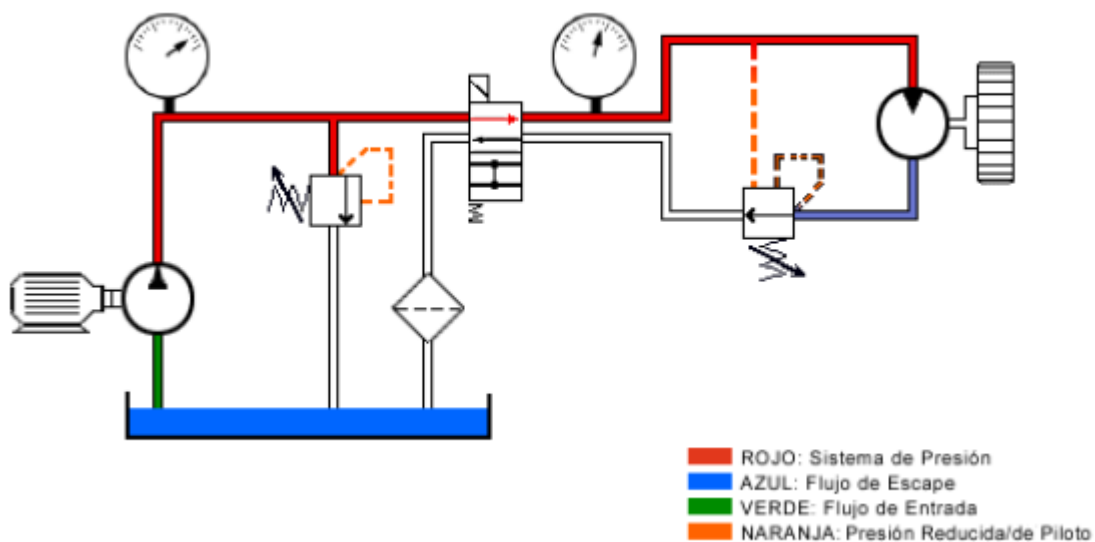


Fig.19 Diagrama ilustrativo de la válvula de frenado

Fuente: Hidráulica Básica 3.0. Fluidpowerzone.com

Cuando se desenergiza la válvula direccional, se pierde la presión del piloto remoto, lo que permite que la válvula se cierre. La inercia de la carga abre la válvula a través del piloto interno, proporcionando un frenado dinámico.

## **Descripción General**

Válvula de frenado: La válvula de frenado tiene dos propósitos: evita que una carga acelere excesivamente el motor y, cuando la válvula de control direccional está centrada, detiene el motor a una velocidad controlada.

Válvula de descarga: Cuando la presión del sistema alcanza el valor de la válvula de descarga, la válvula se abre, desviando el flujo desde la bomba mayor de vuelta hacia el tanque a la presión mínima.

Válvula de alivio de presión: Esta válvula limita la presión máxima del sistema.

Válvula de secuencia: Si se la ajusta correctamente, la válvula de secuencia asegura que el cilindro se extienda totalmente antes de que arranque el motor.

Válvula de contrabalance: Las válvulas de contrabalance se utilizan para ayudar al cilindro para que haga bajar la carga a una velocidad controlada.

Válvula reductora de presión: La válvula reductora de presión limita la presión al motor, de tal manera que se limita la fuerza movimiento torsional de salida del motor.

## 4.5 CONTROL DIRECCIONAL

### 4.5.1 Válvula de control direccional

Las válvulas de control direccional se utilizan para iniciar, detener y cambiar la dirección del fluido que fluye en un sistema hidráulico. De hecho, la válvula de control direccional designa el tipo de diseño del sistema hidráulico, que puede ser abierto o cerrado. Los ejemplos nos brindan la oportunidad de ver en la práctica cómo funcionan estas válvulas y la importancia que tienen para el funcionamiento correcto del sistema. Las válvulas de control direccional se utilizan para iniciar, detener y cambiar la dirección del flujo en un circuito hidráulico. Aunque pueden estar diseñadas en el estilo de válvula antiextrusión o tipo giratorio, el control direccional de tipo de carrete es el más común. El diseño comprende un cuerpo principal con pasajes internos que se conectan o se sellan mediante una válvula de carrete que se desliza a lo largo del émbolo de la válvula. Las válvulas de carrete direccionales se sellan a lo largo del espacio

entre el émbolo del carrete móvil y la carcasa. El grado de sellado depende del espacio, la viscosidad del fluido y la presión. Debido a esta ligera fuga, las válvulas direccionales de tipo de carrete no pueden bloquear hidráulicamente el actuador por sí mismas.

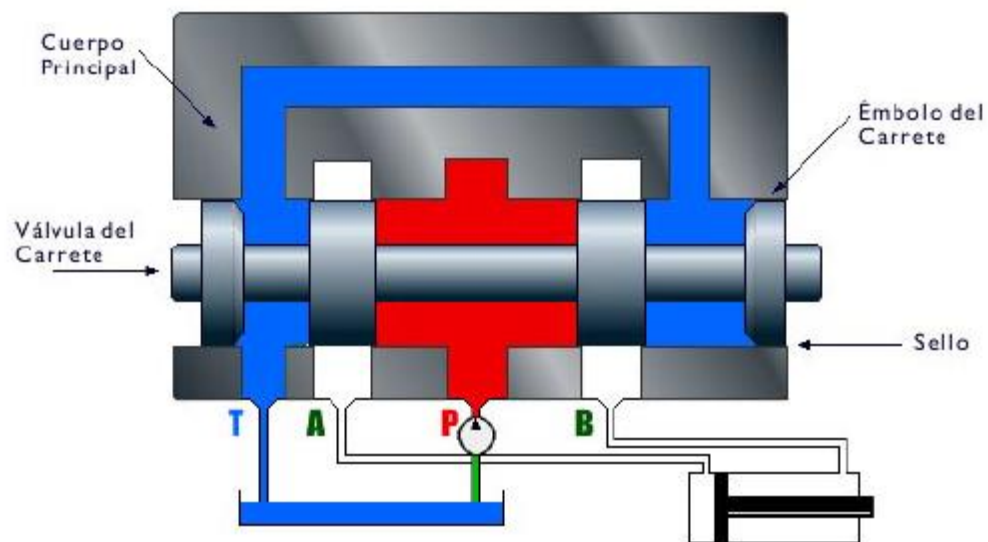


Fig.20 Válvula de control direccional

Fuente: Hidráulica Básica 3.0. Fluidpowerzone.com

Las válvulas de control direccional se designan en principio según la cantidad de posiciones posibles, vías o conexiones de puerto, y la manera en que se activan o energizan. Por ejemplo, la cantidad de conexiones de puertos se designan como vías o pasos posibles del flujo. Una válvula de cuatro vías debe tener cuatro puertos: P, T, A y B. Una válvula de tres posiciones se indica mediante tres casillas conectadas. Existen varias maneras de accionar o desplazar la válvula. Estas son: botón de presión, palanca de mano, pedal, mecánica, piloto hidráulico, piloto de aire, solenoide y resorte.

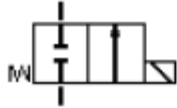


Fig.21 Símbolo de los distintos accionadores de una válvula direccional

Fuente: Hidráulica Básica 3.0. Fluidpowerzone.com

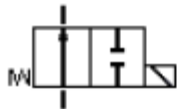
Las válvulas de control direccional también se pueden designar como normalmente abiertas o normalmente cerradas. Estas designaciones hacen referencia a válvulas de dos posiciones, tales como las siguientes: válvula de dos vías normalmente cerrada, de compensación por resorte, accionada por solenoide; válvula de dos vías normalmente abierta, de compensación por resorte, accionada por solenoide; válvula de tres vías normalmente cerrada, de compensación por resorte, accionada por solenoide; válvula de tres vías normalmente abierta, de compensación por resorte, accionada por solenoide.

## Dos Vías



NORMALMENTE CERRADA

Compensación por resorte  
Accionada por solenoide



NORMALMENTE ABIERTA

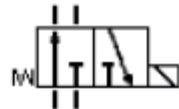
Compensación por resorte  
Accionada por solenoide

## Tres Vías



NORMALMENTE CERRADA

Compensación por resorte  
Accionada por solenoide



NORMALMENTE ABIERTA

Compensación por resorte  
Accionada por solenoide

Fig.22 Símbolo de válvulas direccionales y posiciones

Fuente: Hidráulica Básica 3.0. Fluidpowerzone.com

## **4.6 VÁLVULAS DE CONTROL DE FLUJO**

Las válvulas de control de flujo se utilizan para regular el volumen de aceite aplicado a las distintas áreas de los sistemas hidráulicos. En esta sección se brinda una descripción general de los dos tipos de válvulas de control de flujo, así como también su aplicación y su ubicación en un sistema hidráulico. La colocación correcta de estos dispositivos es crucial para el rendimiento óptimo del sistema, por eso se agrega una sección destinada a ver los motivos por los cuales deben usarse los dispositivos de control de flujo, y dónde deben usarse.

### **Descripción General**

La función de la válvula de control de flujo es reducir el caudal de flujo en su rama del circuito. La reducción del flujo tiene como resultado una reducción de velocidad en el actuador. Una válvula de control de flujo genera resistencia adicional al circuito, aumentando la presión, lo que da como resultado un desvío parcial del fluido sobre la válvula de alivio y la disminución del desplazamiento de una bomba compensada por presión. Esto reduce el flujo corriente abajo de la válvula de control de flujo.

El siguiente circuito emplea una bomba de flujo fijo. Para reducir el flujo al actuador, debemos desviar una parte del fluido sobre la válvula de alivio. A medida que se cierre la válvula de aguja, la presión aumenta corriente arriba. A medida que se acerca a los 1500 psi, la válvula de alivio empieza a abrirse, desviando una parte del fluido hacia el depósito.

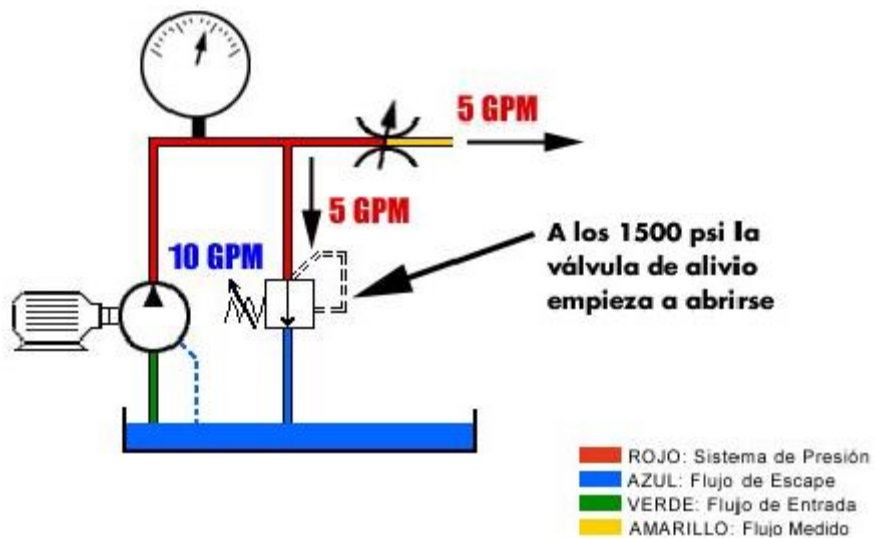


Fig.23 Circuito ilustrativo de la acción de la válvula de alivio

Fuente: Hidráulica Básica 3.0. Fluidpowerzone.com

Con el control de flujo utilizado en una bomba compensada por presión, no se empuja el fluido sobre la válvula de alivio. A medida que se aproxima al ajuste del compensador de 1500 psi, la bomba empieza a disminuir el recorrido, reduciendo el flujo hacia afuera.

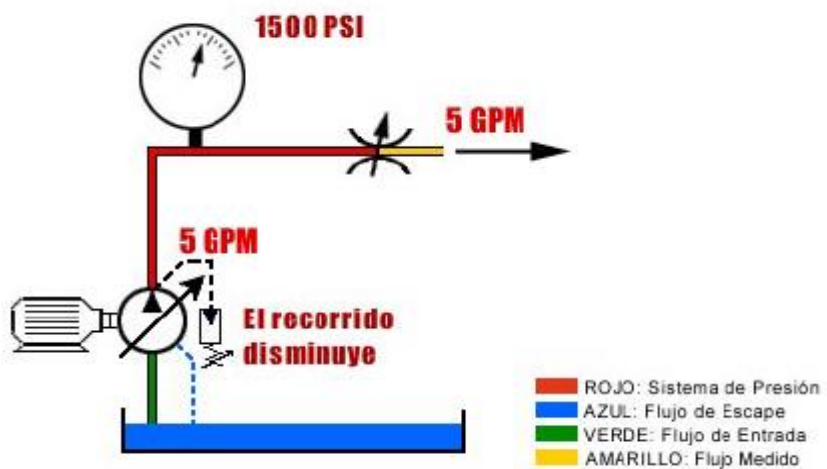


Fig. 24 Bomba compensada por presión



Fuente: Hidráulica Básica 3.0. Fluidpowerzone.com

Las válvulas de control de flujo pueden ser fijas o no ajustables o ajustables. Además, también pueden clasificarse como de estrangulación solamente o compensadas por presión.

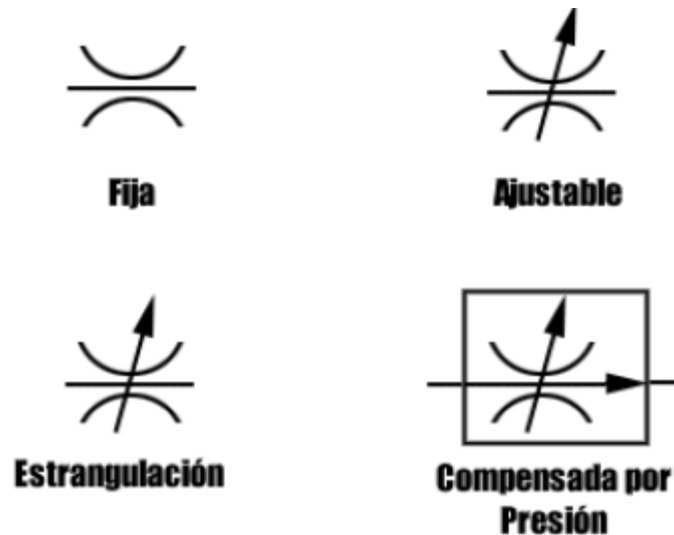


Fig.25 Válvulas de control de flujo

Fuente: Hidráulica Básica 3.0. Fluidpowerzone.com

La cantidad de flujo que pasa a través de un orificio permanece constante mientras no cambie el diferencial de presión a través del orificio. Cuando el diferencial de presión cambia, también cambia el flujo. Los cambios en la carga o la presión corriente arriba cambian la caída de presión a través de la válvula.

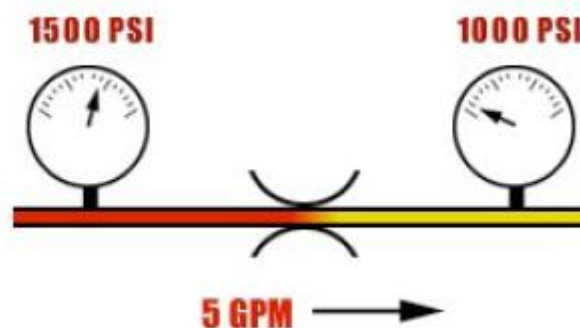


Fig.26 El flujo permanece constante sin cambios en la presión

Fuente: Hidráulica Básica 3.0. Fluidpowerzone.com

## Válvulas de Estrangulación versus Válvulas Compensadas por Presión

### 4.6.1 Válvula de Aguja

Las válvulas de aguja se pueden designar como válvulas de estrangulación o de control de flujo no compensadas. Estos son buenos dispositivos de medición siempre y cuando el diferencial de presión a través de la válvula permanezca constante.

Las válvulas de control de flujo compensadas por presión se encuentran diseñadas para adaptarse a los cambios de presión que se presentan antes o después del orificio. El símbolo de válvula de control de flujo compensada por presión agrega una flecha de presión al orificio. Observe que con una válvula de control de flujo compensada por presión, la velocidad del cilindro no cambia cuando cambia la carga.

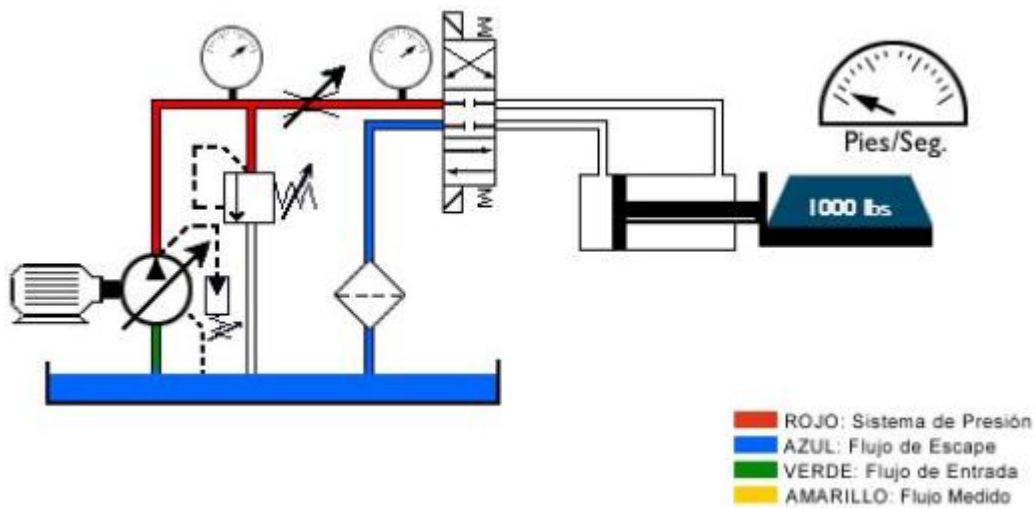


Fig.27 La velocidad en el actuador no se ve afectada cuando cambia la carga.

Fuente: Hidráulica Básica 3.0. Fluidpowerzone.com

### Meter-In y Meter-Out

Meter-in es el método utilizado para colocar una válvula de control de flujo de tal manera que quede restringido el flujo del fluido al actuador.

En este circuito, sin una válvula de control de flujo el cilindro se extiende y se retracta a una velocidad no restringida. Cuando colocamos una válvula de control de flujo en el circuito, esta válvula restringe el flujo al cilindro, reduciendo la velocidad de extensión del cilindro. La válvula de retención permite que el flujo de retorno se desvíe del control de flujo cuando se invierte la dirección del flujo.

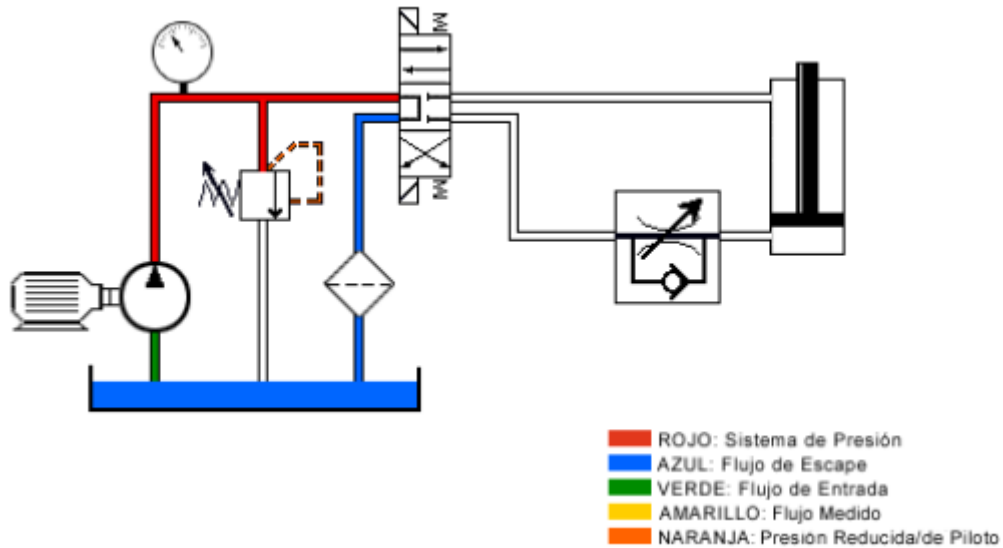


Fig. 28 Válvula de control de flujo en disposición Meter-in

Fuente: Hidráulica Básica 3.0. Fluidpowerzone.com

Cuando trasladamos el control de flujo a la otra línea, el cilindro se extiende a una velocidad sin restricción. Podemos restringir el flujo al cilindro de tal manera que se retracte a una velocidad reducida.

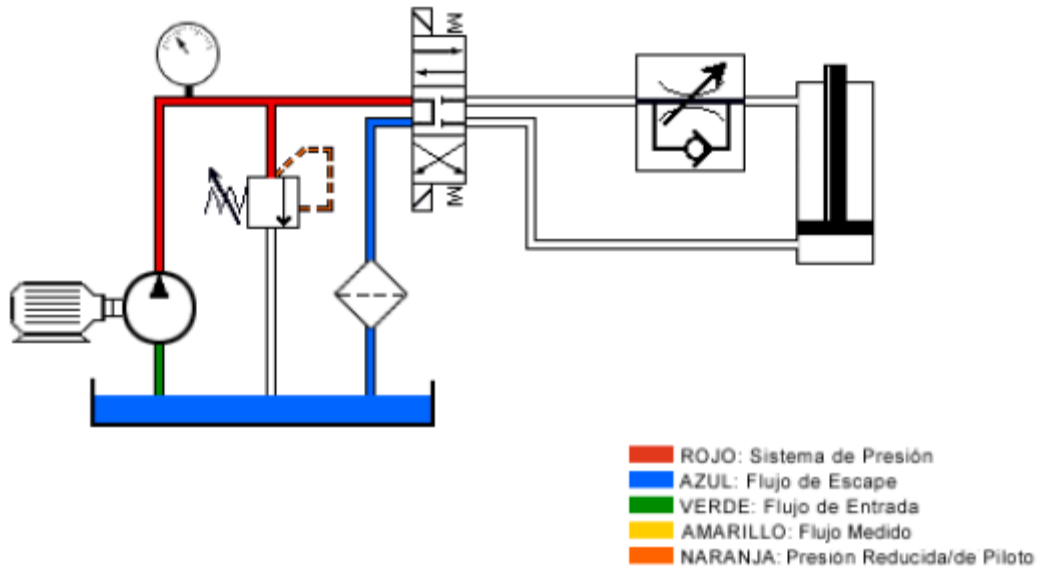


Fig. 29 Válvula de control de flujo en disposición Meter-out

Fuente: Hidráulica Básica 3.0. Fluidpowerzone.com

La ventaja de meter-in es que ofrece gran precisión con una carga positiva. Sin embargo, cuando la carga va más allá del centro, la carga pasa a ser negativa o descontrolada. El cilindro ya no controla la carga. Cuando la carga se descontrola, se produce una cavitación del cilindro.

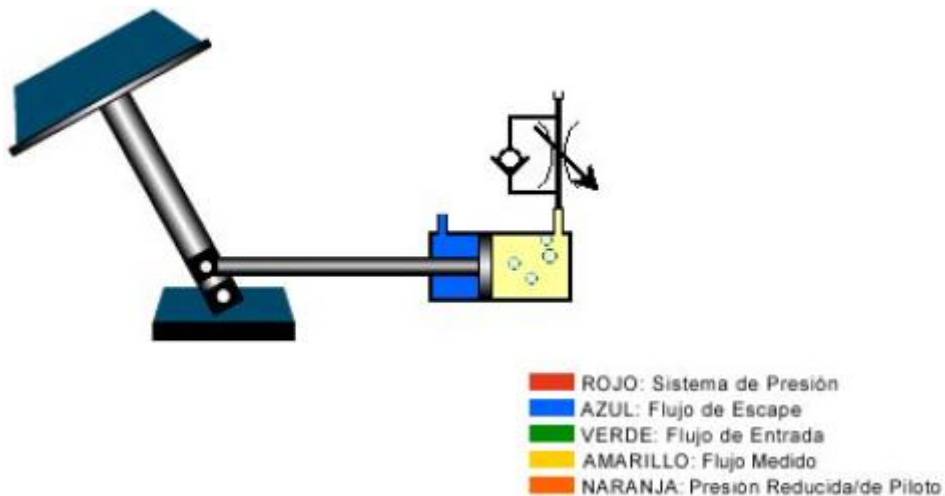


Fig. 30 Ventajas de usar un regulador de flujo actuando en una carga

Fuente: Hidráulica Básica 3.0. Fluidpowerzone.com

Aunque meter-in constituye normalmente la mejor colocación para controlar una velocidad constante, debido a que también amortigua los transientes de presión y flujo, en ciertas aplicaciones puede ser necesario aplicar el meter-out. Para aplicar el meter-out simplemente se debe cambiar la dirección en la que se permite que pase el flujo a través de la válvula retención inversa. Esto hace que el fluido se mida a medida que sale del actuador, lo que representa lo contrario de lo que ocurre con meter-in.

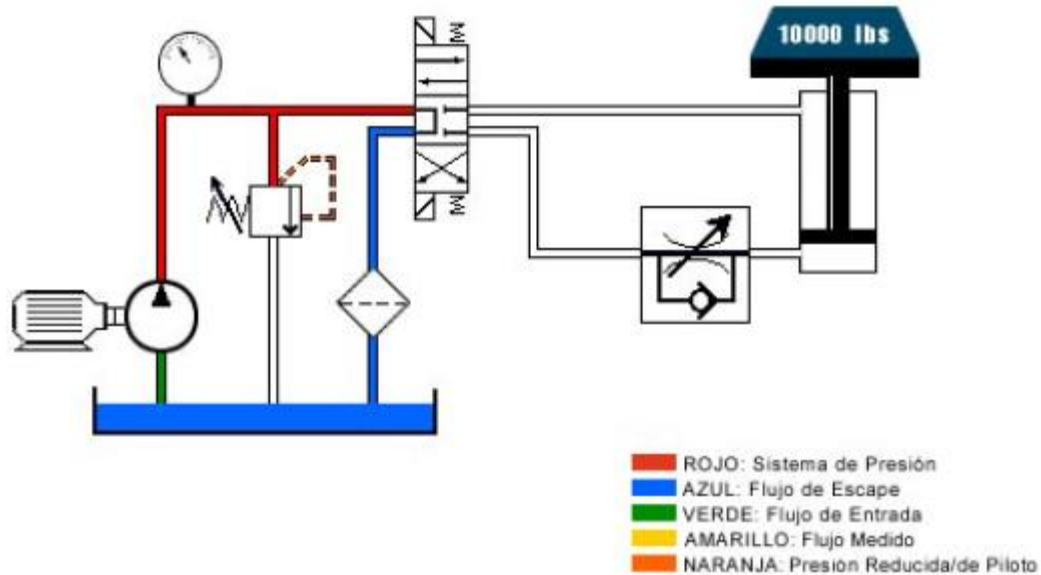


Fig.31 Disposición regulador de caudal meter

Fuente: Hidráulica Básica 3.0. Fluidpowerzone.com

Una ventaja del meter-out es que se evita que el cilindro se des controle y por lo tanto que se produzca la cavitación. Una desventaja del meter-out es que se produce una intensificación de la presión. Esto puede ocurrir cuando hay una razón importante área-diferencial entre el vástago y el pistón.

Al aplicar el meter-out sobre el lado del vástago del cilindro sin una carga, se intensifica la presión sobre el lado del vástago. Esto puede producir daño a los sellos del vástago. Meter-in y meter-out presentan distintas ventajas y desventajas. El tipo de colocación de la válvula de control de flujo dependerá de la aplicación.

- ROJO: Sistema de Presión
- AZUL: Flujo de Escape
- VERDE: Flujo de Entrada
- AMARILLO: Flujo Medido
- NARANJA: Presión Reducida/de Piloto
- MORADO: Potencial Intensificación de Presión



Fig.32 El tipo de colocación de la válvula dependerá de la aplicación  
 Fuente: Hidráulica Básica 3.0. Fluidpowerzone.com

#### 4.6.2 Válvula de retención

Las válvulas de retención son una parte sencilla pero importante de un sistema hidráulico. En pocas palabras, estas válvulas se utilizan para mantener la dirección en que el fluido fluye dentro de un sistema. Dado que las válvulas de retención son dispositivos totalmente a prueba de fugas, pueden utilizarse para bloquear el fluido hidráulico de los cilindros.

##### Válvula de Retención Montada en Línea

Las válvulas de retención montadas en línea se clasifican como válvulas de control direccional ya que determinan el sentido en el que se desplaza el flujo dentro de una parte del circuito. Debido a su capacidad de sellado, se considera que muchos diseños son totalmente a prueba de fugas. La válvula de retención más simple permite que el flujo se desplace libremente en un sentido e impide que fluya desde la dirección opuesta. Este tipo de válvula de retención se utiliza cuando el flujo debe desviarse de una válvula de presión durante el flujo de retorno, como por ejemplo un desvío alrededor de un filtro cuando éste se obstruye o para impedir que el flujo ingrese en una parte determinada del circuito cuando no se desea que lo haga.

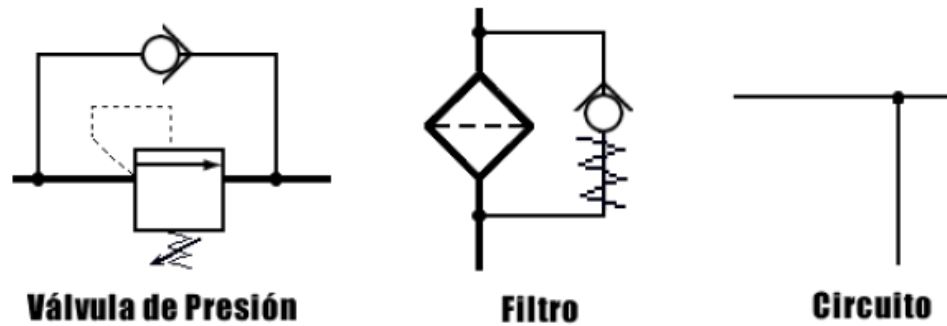


Fig.33 Disposiciones de la válvula de retención

Fuente: Hidráulica Básica 3.0. Fluidpowerzone.com

### Válvulas de Retención Accionadas por Piloto

Debido a las ligeras fugas de carrete de las válvulas de control direccional estándar, se debe agregar una válvula de retención al circuito en caso de que se necesite bloquear hidráulicamente un cilindro. Este tipo de válvula de retención se conoce como válvula de retención accionada por piloto.

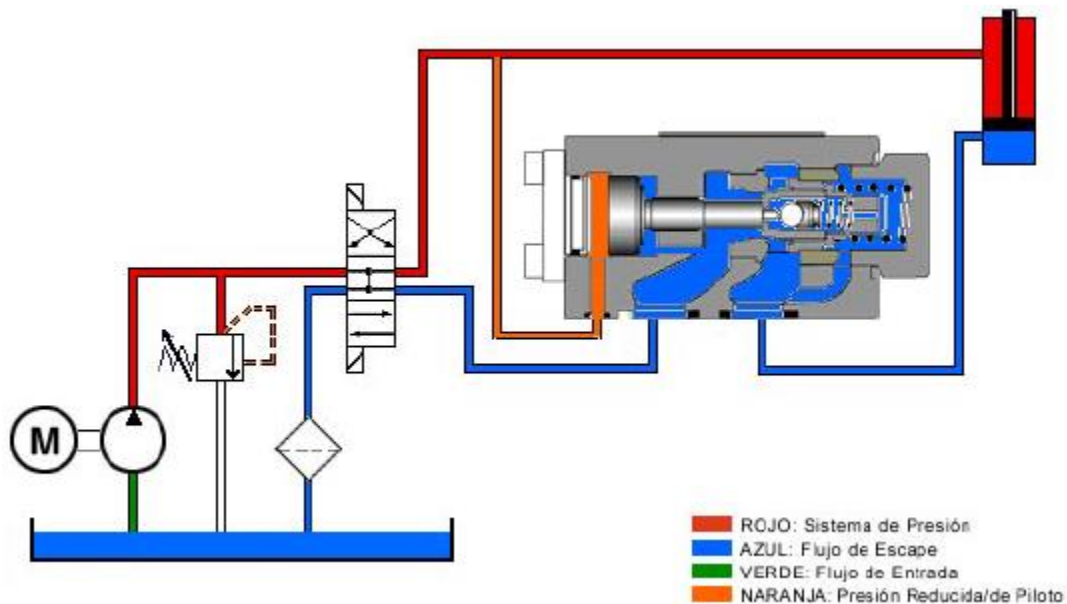


Fig.34 Válvula de retención accionada por piloto

Fuente: Hidráulica Básica 3.0. Fluidpowerzone.com

Al contrario de lo que ocurre con una válvula de retención simple, se requiere flujo inverso a través de la válvula para retractar el cilindro. Esto se logra haciendo que la presión del piloto actúe sobre un pistón de piloto, permitiendo de esta manera la apertura de la válvula de retención y el retiro del cilindro.

Para extender el cilindro, la válvula de retención permite que el fluido fluya libremente en un sentido y bloquea el flujo en el sentido opuesto.

## **4.7 Conductores Hidráulicos**

Las tuberías y mangueras hidráulicas interconectan los diferentes componentes y conducen el fluido dentro del sistema hidráulico. Las líneas de conducción del fluido incluyen los adaptadores, estos deben ser capaces de soportar no solo la presión calculada máxima del sistema, sino resistir los golpes de presión del sistema.

### **4.7.1 Las mangueras y tubos hidráulicos; su construcción**

- El tubo
- El refuerzo
- La cubierta

Las mangueras que son usadas para conducir líquidos y/o gases a presión, son fabricadas por capas de elastómeros, fibras y mallas de acero. Cada capa esta diseñada para cumplir una necesidad particular, de los requerimientos de comportamiento general. Las mangueras están disponibles en varios diámetros y rangos de presión.

Las mangueras hidráulicas son ampliamente usadas, porque son de fácil instalación y poseen la característica de absorber los golpes de presión y vibración en los equipos. La instalación requiere menos destreza. La mayoría de las mangueras tienen al menos tres capas, las que incluyen el tubo interno, una o más capas de refuerzo (mallas) y la cubierta.



Por otra parte según DIN 2391, deberán utilizarse tubos de precisión de acero sin costura de soldadura. El grosor del acero de los tubos depende de la presión máxima más un factor de seguridad para picos de presión.

Antes de efectuar el montaje, los tubos son doblados en frío o caliente utilizando las herramientas correspondientes. Después de este proceso, los tubos deberán enjuagarse para eliminar, por ejemplo, la capa de oxidación originada durante el tratamiento térmico. Para conectar tubos con tubos o tubos con otros equipos se utilizan los siguientes sistemas:

- Uniones roscadas: Hasta un diámetro nominal de 38 (en función de la presión de trabajo).
- Uniones embridadas: A partir de un diámetro nominal de 30.

Las uniones roscadas, por su parte, se clasifican según DIN 3850:

- Uniones roscadas sin soldadura.
- Unión por rácor con rosca cortante.
- Uniones anulares roscadas con doble cono.
- Uniones roscadas soldadas.

El sistema de racor con rosca cortante es el más difundido por su sencillez. Cuando se ajusta la tuerca de rácor, la rosca cortante avanza en el cono interior de la boquilla. En el tubo se abre un reborde que es presionado contra un tope que cierra herméticamente.

## 4.8 Manómetros

Los manómetros de tubo de bourdon miden la presión de un sistema y la muestran en un dial calibrado. Las unidades de calibración se indican en psi, bar y psia.

El tubo de bourdon es un tubo de metal enrollado. Está conectado a la presión del sistema. Cualquier aumento de presión dentro del sistema hace que el tubo se enderece. El extremo del tubo está conectado a un enlace mecánico que pone en movimiento un engranaje. Este engranaje por su parte se engrana con otro engranaje, que hace mover la aguja indicadora. Observe que una vez que el tubo está presurizado, la aguja gira e indica la nueva presión del sistema.



Fig. 35 Manómetro

Fuente: Hidráulica Básica 3.0. Fluidpowerzone.com

#### 4.9 Tipos de Caudal

El caudal en una tubería puede ser laminar o turbulento:

- LAMINAR: Las partículas del fluido se mueven a lo largo de trayectorias lisas o en capas o láminas, deslizándose una capa sobre la adyacente.
- TURBULENTO: Las partículas del fluido se mueven siguiendo trayectorias muy irregulares, en éste tipo de flujo se producen más pérdidas.

El coeficiente de Reynolds ( $Re$ ) permite calcular el tipo de caudal que fluye en un tubo liso.

$$Re = \frac{vd}{\nu} \dots\dots\dots Ec. (5)$$

Flujo laminar  $Re < 2300$

Flujo turbulento  $Re > 2300$

El coeficiente crítico de  $Re$  en tubos redondos y lisos tiene un valor de 2300.

$v$  = Velocidad del flujo,

$d$  = Diámetro del tubo.

$\nu$  = Viscosidad cinemática ( $m^2/s$ )

Un caudal turbulento no vuelve a ser inmediatamente laminar si baja del valor  $Re_{crit}$ . El caudal solo vuelve a ser laminar al bajar hasta  $\frac{1}{2} Re_{crit}$ .

La velocidad crítica es, en consecuencia, la velocidad a partir de la cual el caudal pasa de laminar a turbulento.

$$Vel_{crit} = \frac{Re_{crit} \cdot \nu}{d} = \frac{2300\nu}{d} \dots\dots\dots Ec. (6)$$

Se recomienda no rebasar  $Re_{crit}$  con el fin de evitar pérdidas por fricción en los sistemas hidráulicos.

La velocidad crítica no es un valor fijo, ya que depende de la viscosidad del fluido y del diámetro del tubo. Por ésta razón suelen aplicarse valores empíricos en la práctica. En ese sentido, se aplican los siguientes valores de  $Vel_{crit}$ :

- Tuberías de impulsión:

Hasta 50 bar de presión de trabajo: 4.0m/seg. (13.12 pie/seg.)

Hasta 100 bar de presión de trabajo: 4.5m/seg. (14.76 pie/seg.)

Hasta 150 bar de presión de trabajo: 5.0m/seg. (16.40 pie/seg.)

Hasta 200 bar de presión de trabajo: 5.5m/seg. (18.04 pie/seg.)

Hasta 300 bar de presión de trabajo: 6.0m/seg. (19.68 pie/seg.)

- Tuberías de aspiración: 1.5m/seg. (4.92 pie/seg.)

- Tuberías de retorno : 2.0m/seg. (6.56 pie/seg.)

#### 4.9.1 Resistencia al flujo en tuberías.

La fricción entre las capas del líquido que fluye y la adherencia del fluido en la pared de los tubos conforman una resistencia que puede medirse o calcularse obteniéndose un resultado expresado en pérdida de presión. Puesto que la velocidad del flujo como magnitud al cuadrado influye intensamente sobre la resistencia, no se deben exceder los valores de orientación.

Pérdida de carga en flujo laminar

En el flujo laminar la pérdida de carga viene dada por la fórmula de Hagen-Poiseuille, la expresión es:

$$Pérdida\ de\ carga\ (m) = \frac{32(viscosidad\ \mu)(longitud\ L\ m)(velocidad\ media\ V)}{(peso\ específico\ \gamma)(diámetro\ d\ m)^2}$$

$$h_L = \frac{32 \mu L V}{\gamma d^2} \dots\dots\dots\text{Ec. (7)}$$

Donde:

$h_L$ = Pérdida de energía en el sistema en m.c.L.

$\mu$ = Viscosidad absoluta/ dinámica

$L$ = longitud de la tubería

$V$ = velocidad central del fluido en la tubería

$\gamma$ = Peso específico del fluido a trasegar

$d$ = diámetro interior de la tubería

#### 4.9.2 Ecuación de Darcy-Weisbach

La ecuación de Darcy-Weisbach , es básica para el cálculo de las pérdidas de carga en las tuberías y conductos. Las pérdidas en los sistemas de bombeo, son provocadas por :

- La fricción de la rugosidad interna de la tubería
- La carga hidráulica
- Los accesorios
- Cambios de dirección

La ecuación es la siguiente:

$$\begin{aligned} \text{Pérdida de carga}(m) &= (\text{coeficiente de fricción } \lambda) \times \frac{\text{longitud } L (m)}{\text{diámetro } d (m)} \times \text{altura de vel } \frac{V^2}{2g} (m) \\ &= (\lambda) \cdot \frac{L}{d} \cdot \frac{V^2}{2g} \dots\dots\dots\text{Ec. (8)} \end{aligned}$$

El coeficiente de fricción lo podemos obtener a partir de la tabla del anexo 2.

Las pérdidas secundarias se podrán calcular, no importa que flujo sea, con la siguiente ecuación:

$$h_{as} = k \frac{V^2}{2g} \dots\dots\dots Ec. (9)$$

Donde:

k= constante experimental del accesorio

v= velocidad del fluido en el accesorio

g= constante de gravitación

El coeficiente k está determinado por el tipo de accesorio , mostrado en la tabla 2 del anexo 1 .

#### 4.9.3 Teorema de Bernoulli

El teorema de Bernoulli aplicado a dos secciones de una tubería que transporta un fluido, traduce en términos analíticos el principio de la conservación de la energía.

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 + E_A = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2 + Pérdidas \dots\dots\dots Ec. (10)$$

Donde:

P= Presión

$\gamma$ =Peso específico del líquido

V= Velocidad media del fluido

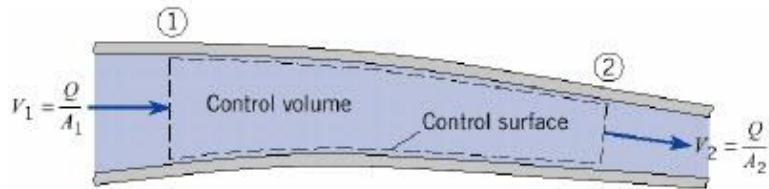
Z= Referencia de nivel de altura

E<sub>A</sub>= Energía agregada por la bomba

Los subíndices 1 y 2 se refieren a la disposición del transporte del aceite de un lugar a otro más lejano comúnmente. La ecuación permite constatar que la variación de energía (pérdida) sucedida aguas arriba o aguas abajo de la tubería, es debida a la variación de presión.

#### 4.9.4 Ecuación de Continuidad

La ecuación de continuidad traduce, en flujo de fluido incompresible el principio de conservación de la masa.



$$Q = v A_1 = v A_2 \dots\dots\dots\text{Ec. (11)}$$

Fig. 36 Representación de la ecuación de continuidad

Fuente: Hidráulica Básica 3.0. Fluidpowerzone.com

#### 4.9.5 Depósitos o estanques

Están diseñados y construidos para almacenar el flujo hidráulico, su diseño influye considerablemente la función y rendimiento del sistema hidráulico. El depósito también es denominado estanque, se diseñan para que cumplan varias funciones que son:

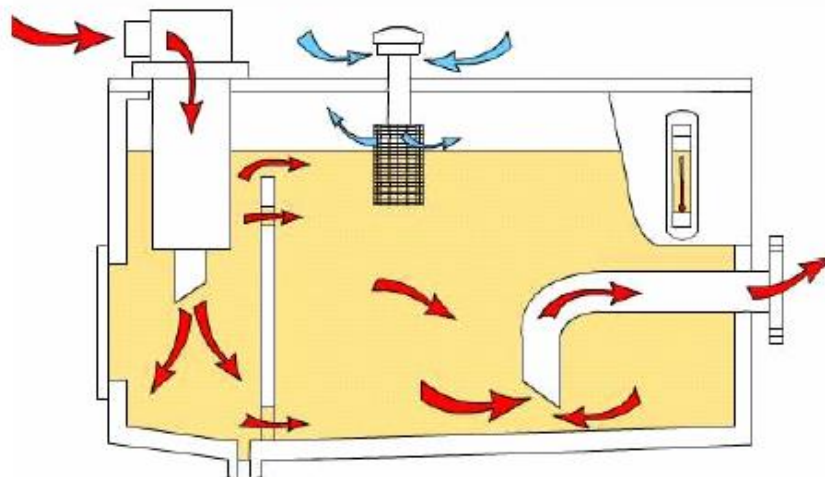


Fig.37 Depósito contenedor de aceite

Fuente: Hidráulica Básica 3.0. Fluidpowerzone.com

- Almacenar el fluido requerido por el sistema.
- Disipar el calor generado en el sistema.
- Debe tener espacio para que el aire se separe del fluido.
- Permitir que los contaminantes se diluyan y depositen en el fondo.
- Impedir que este sea un medio de contaminación para el circuito.
- 

#### 4.9.6 Construcción de depósitos

Son construidos con placas de acero soldadas, el interior recubierto con una pintura que reduce la oxidación y debe ser compatible con el fluido utilizado. El fondo del estanque está inclinado y tiene un tapón de drenaje el punto más bajo para que el estanque pueda ser completamente vaciado. El orificio de llenado dispone de una fina malla para eliminar los contaminantes del fluido en el depósito. En un depósito presurizado no se usa respiradero se sustituye por una válvula para regular la presión en el estanque entre límites predeterminados.

Los depósitos llevan una placa desviadora que se extiende a lo largo del centro del estanque que tiene generalmente  $2/3$  la altura del nivel de aceite y se usa al separar la línea de entrada de la bomba de la línea de retorno. La función de esta placa es la de impedir que se originen turbulencias en el estanque, también permiten que sustancias extrañas se sedimenten en el fondo, ayuda a separar el aire del fluido además, colabora a disipar el calor a través de las paredes del tanque.

Todo depósito tiene en un lugar visible y protegido un indicador de nivel de aceite, el indica el mínimo y máximo nivel de fluido dentro del depósito. También el indicador de nivel puede tener incluido un marcador de temperatura. Muchas veces los filtros de retorno y drenaje se instalan en el depósito



#### **4.9.7 Acondicionamiento de los fluidos**

La unidad de abastecimiento de aceite así como las líneas de aspiración, presión y retorno suelen incluir frecuentemente un sistema de purificación del fluido.

En el sistema hidráulico se producen impurezas debido a desgastes mecánicos, al calentamiento y envejecimiento del aceite y a influencias ambientales. Por lo tanto se incluyen filtros en el circuito del aceite para eliminar las partículas de suciedad.

Los gases son también factores de interferencia, por lo que deben adoptarse medidas especiales para eliminarlos. También conoceremos la importancia de regular la temperatura del fluido hidráulico mediante el uso de dispositivos tales como los intercambiadores de calor. Por ejemplo, un fluido que esté demasiado frío o demasiado caliente puede tener un impacto negativo sobre el rendimiento del sistema.

#### **4.9.8 Aspectos Generales de la Filtración**

La limpieza de los fluidos hidráulicos se ha convertido en un factor fundamental para el diseño y operación de los componentes de los sistemas de potencia hidráulica. Con bombas y válvulas diseñadas para tolerancias más reducidas y acabados más finos, los sistemas hidráulicos operan a presiones y eficiencias cada vez mayores.

Estos componentes presentarán un rendimiento de acuerdo con su diseño, siempre y cuando el fluido se conserve limpio. La limpieza del aceite da como resultado una creciente confiabilidad del sistema y una simplificación del mantenimiento.

A medida que las partículas ingresan a menudo se dividen en miles de pequeñas partículas. Estas pequeñas partículas se acumulan entre los carretes de la válvula, en la superficie de la bomba, incluso sobre la tubería lo que ocasiona obstrucción por sedimentos.

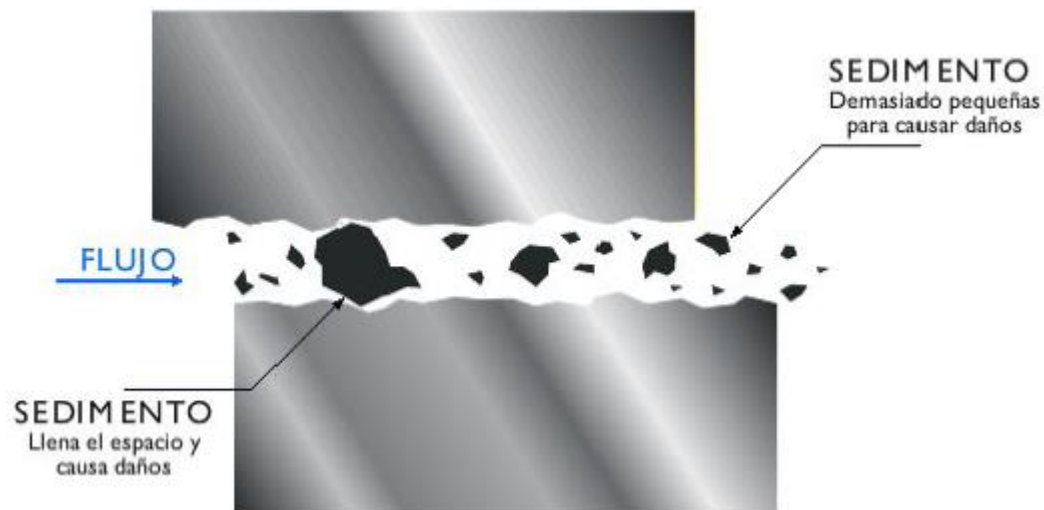


Fig. 38 Obstrucción por sedimentos

Fuente: Sistemas Oleohidráulicos y la selección de componentes. Universidad Centroamericana José Simeón Cañas.

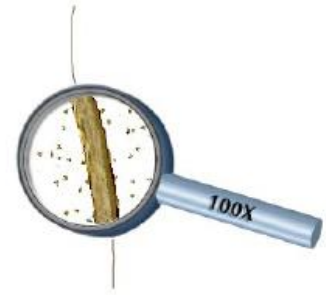
Para evitar la obstrucción por sedimentos, el desgaste prematuro de los componentes y un colapso eventual del sistema, se requiere la aplicación de principios de ingeniería al diseño del sistema de filtración. La filtración técnica implica el conocimiento del régimen en micrones requerido, la aplicación de la proporción beta, el mantenimiento de los niveles de limpieza especificados por los códigos ISO, y la ubicación del filtro específico para el diseño y el entorno del sistema.

#### Terminología

Micrón ( $\mu\text{m}$ )

Micrón (mm) es la designación utilizada para describir tamaños de partículas o espacios en los componentes hidráulicos. Un micrón equivale a 39 millonésimos de pulgada. Para dar una idea más exacta de lo que esto significa, digamos que el punto más pequeño que el ojo humano puede ver a simple vista mide 40 micrones.

Considere el siguiente ejemplo. Si observamos un cabello humano ampliado 100 veces, las partículas que aparecen cerca del cabello miden aproximadamente 10 micrones. Los sistemas hidráulicos industriales generalmente filtran dentro del intervalo de los 10 micrones. Esto significa que los filtros están filtrando partículas que el ojo humano no puede ver a simple vista.



### Razón beta ( $\beta$ )

Los dispositivos de filtración se utilizan para eliminar partículas del fluido del sistema. La eficiencia de los filtros se mide con la razón beta. La razón beta representa la cantidad de partículas que se encuentra corriente arriba con respecto al filtro y que son de mayor tamaño que el régimen en micrones del filtro, dividida por la cantidad de partículas corriente abajo que son de mayor tamaño que el régimen en micrones del filtro. En este ejemplo, hay 200 partículas corriente arriba que superan el tamaño de 3 micrones. Estas fluyen hacia y a través de los filtros.

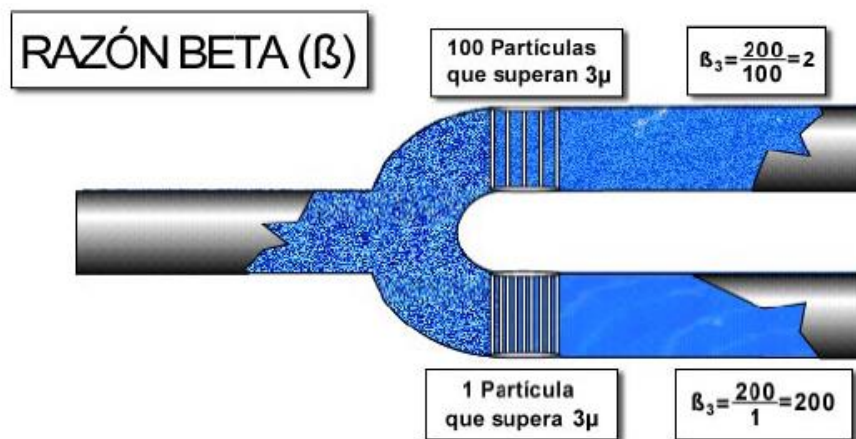


Fig.39 Razón Beta

Fuente: Sistemas Oleohidráulicos y la selección de componentes. Universidad Centroamericana José Simeón Cañas.

Un filtro que permite el paso de mayor cantidad de partículas, o en otras palabras, que sea menos eficiente, tiene una razón beta baja. Se podrá observar que el filtro en la parte superior permitió el paso de 100 partículas. El filtro inferior permitió el paso de una sola partícula.

Si aplicamos estos números a la fórmula de razón beta, veremos que el filtro de la parte superior tiene una razón beta menos eficiente o menor y que el filtro inferior tiene una razón beta más eficiente o mayor.

### Código ISO

Para especificar el nivel de limpieza de un determinado volumen de fluido nos referimos a lo que se conoce como código ISO o código de contaminación sólida ISO. Este código, que se aplica a todo tipo de fluidos, ofrece una expresión universal de limpieza relativa entre proveedores y usuarios del fluido hidráulico.

Sobre la base de un volumen de un mililitro de fluido, se analiza un recuento de partículas utilizando tamaños específicos de partículas, 4 micrones, 6 micrones y 14 micrones. Se seleccionaron estos tres tamaños porque permiten una evaluación precisa de la cantidad de sedimentos a partir de partículas de 4 y de 6 micrones, mientras que la cantidad de partículas que superan los 14 micrones refleja la cantidad de partículas de desgaste que se encuentran en el fluido.

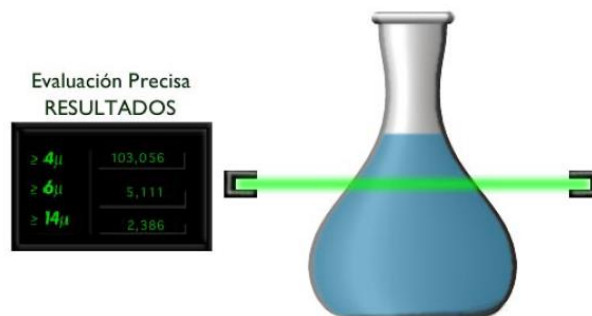


Fig. 40 Evaluación de partículas

Fuente: Sistemas Oleohidráulicos y la selección de componentes. Universidad Centroamericana José Simeón Cañas.

Para interpretar el significado de estos resultados, se debe consultar una tabla como la que se muestra a continuación.

En este ejemplo, una clasificación de 22/18/13 indica lo siguiente: el primer número, 22, indica que la cantidad de partículas mayores con un tamaño igual o mayor que 4 micrones por cada mililitro de fluido es superior a 20 mil pero inferior a 40 mil. El segundo número, 18, indica que el número de partículas con un tamaño igual o mayor que 6 micrones por mililitro es mayor que 1,300 e igual o menor que 2,500. El tercer número, 13, indica que la cantidad de partículas con un tamaño mayor que 14 micrones por mililitro de fluido es superior a 40 e igual o menor que 80.

### Evaluación Precisa RESULTADOS

≥ 4 $\mu$	28,000
≥ 6 $\mu$	2,300
≥ 14 $\mu$	75

Número de Escala	Más que	y hasta	Número de Escala	Más que	y hasta
0	0,00	0,01	15	160	320
1	0,01	0,02	16	320	640
2	0,02	0,04	17	640	1.300
3	0,04	0,08	18	1.300	2.500
4	0,08	0,16	19	2.500	5.000
5	0,16	0,32	20	5.000	10.000
6	0,32	0,64	21	10.000	20.000
7	0,64	1,3	22	20.000	40.000
8	1,3	2,5	23	40.000	80.000
9	2,5	5	24	80.000	160.000
10	5	10	25	160.000	320.000
11	10	20	26	320.000	640.000
12	20	40	27	640.000	1.300.000
13	40	80	28	1.300.000	2.500.000
14	80	160	>28	2.500.000	

Tabla 4. Código ISO

Fuente: Sistemas Oleohidráulicos y la selección de componentes. Universidad Centroamericana José Simeón Cañas.

Este código ISO es significativo solamente si se puede relacionar con el nivel de limpieza requerido para el sistema hidráulico. Este se basa, generalmente, en los niveles de limpieza con los que puede operar un componente, establecidos por el fabricante.

Por ejemplo, la mayoría de las servoválvulas requieren un código ISO de 15/13/12 o superior, mientras que las bombas de engranajes pueden operar en forma adecuada con fluidos con un código ISO de 18/16/15.

## Colocación

La colocación del filtro es fundamental para mantener los niveles aceptables de limpieza del fluido, la protección adecuada de los componentes y la reducción del tiempo de inactividad de la máquina. Los respiraderos del filtro son fundamentales para evitar el ingreso de partículas que se encuentran en el aire. Mientras el sistema está operando, el nivel de fluido del depósito cambia. Esto hace que el aire exterior entre y las partículas estén en suspensión. El respiradero filtra el aire que entra en el depósito. A menudo se requieren filtros de presión para proteger el componente que se encuentra inmediatamente corriente abajo a partir del filtro (como por ejemplo, una servoválvula sensible), del desgaste acelerado, obstrucción por sedimentos o adherencia. Los filtros de presión deben poder soportar la presión operativa del sistema así como las pulsaciones de la bomba. Los filtros de retorno son los que mejor permiten mantener la limpieza total del sistema según su calibre en micrones. Pueden atrapar partículas muy pequeñas antes de que vuelvan al depósito. Deben tener el tamaño necesario para manejar el flujo de retorno total del sistema. Un circuito de recirculación o una filtración fuera de línea es lo que se necesita a veces cuando la circulación del fluido a través de un filtro de retorno es mínima. Los filtros fuera de línea, al ser independientes del sistema oleodinámico principal, se pueden colocar en el lugar que resulte más conveniente para su mantenimiento o cambio. La filtración fuera de línea normalmente opera de forma continua.

## 5 OBRA DE TOMA

La obra de toma es una construcción por donde circulará el agua desde el embalse hasta la tubería de presión, el número y capacidad dependerán, esencialmente, del volumen embalsado, de las unidades que debe abastecer el embalse y de la profundidad del agua.

La C.H. Netzahualcóyotl está constituida por 6 estructuras de entrada, correspondientes a cada una de las 6 unidades. Estas estructuras alojan dispositivos de operación de 6 compuertas rodantes y una auxiliar de emergencia, instaladas en vanos de 4.80m de ancho por 8.20m de altura que se utilizan para sellar el paso de agua de la presa hacia la tubería de presión en caída a 36° con respecto de la horizontal. El agua que circula a través de la tubería de presión lleva la suficiente fuerza cinética para mover las turbinas hidráulicas.

En base al conocimiento y necesidades de trabajo previamente conocidas, la C.H. Netzahualcóyotl necesita de la alimentación del agua para generar energía eléctrica, para controlar este flujo de agua se instaló el sistema oleodinámico, donde un cilindro hidráulico se encarga de aperturar o cerrar las compuertas de la obra de toma de acuerdo a los mandos de operación en casa de máquinas.

El cilindro que se encarga de realizar dicha maniobra debe desarrollar una fuerza que sea capaz de levantar 60 toneladas de masa, con fases intermedias en su carrera, logrará abrir completamente la compuerta en un tiempo total de 20 minutos.

Una segunda propuesta de fase de cierra se tiene prevista en un total de 5 minutos, pues actualmente el tiempo requerido es de 12 segundos, un tiempo demasiado corto que puede originar golpes de ariete positivo, sin embargo calcularemos el caudal, la velocidad y el tiempo de avance para los dos tiempos.

Estos son datos que ocuparemos como fijos o constantes para poder determinar el resto del equipo a utilizar. El circuito tiene que estar diseñado de tal manera que el vástago del cilindro no baje por su propio peso, mientras se encuentra extendido completamente, lo cual tomaremos en cuenta pues en muchos casos el resolver un problema de estos depende mucho de la selección de válvulas en el circuito.

## **5.1 NORMATIVIDAD PARA COMPUERTAS Y EQUIPO ELECTROMECAÁNICO PARA LA OBRA DE TOMA**

**ESPECIFICACIÓN CFE X8000-09**

**AGOSTO 2011  
REVISA Y SUSTITUYE A LA  
EDICIÓN DE DICIEMBRE 2007**

Luego de conocer las distintas partes que constituyen el sistema oleodinámico es importante mencionar que la Comisión Federal de Electricidad ha elaborado un documento, de acuerdo con las Bases Generales para la Normalización, donde establece las características técnicas de diseño, operación y control de calidad que deben cumplir las compuertas y equipo electromecánico para la obra de toma de las centrales hidroeléctricas. La propuesta de revisión fue preparada por la Coordinación de Proyectos Hidroeléctricos, además de la Gerencia de la LAPEM.

### **5.1.1 CAMPO DE APLICACIÓN**

Se aplica en la licitación y pruebas que se mencionan en esta especificación para las compuertas y equipo electromecánico para la obra de toma.

#### **NORMAS QUE APLICAN**

CFE D8500-01-2009 Anticorrosivos.	Selección y Aplicación de Recubrimientos
CFE D8500-02-2009	Recubrimientos Anticorrosivos.
CFE D8500-22-2011 Centrales	Recubrimientos Anticorrosivos y Pinturas para  Hidroeléctricas.
CFE L0000-15-1992	Código de Colores.
CFE L0000-36- 2005 Montaje,	Consideraciones económicas en la Supervisión del  Pruebas y Puesta en Servicio.



## **NORMAS QUE APLICAN**

NOM-001- SEDE-2005	Instalaciones Eléctricas (Utilización).
NOM-008-SCFI-2002	Sistema General de Unidades de Medida.
NMX-H-004-SCFI-2008	Industria Siderúrgica - Productos de Hierro y Acero Recubiertos con Cinc (Galvanizados por Inmersión en Caliente) – Especificaciones y Métodos de Prueba.
NMX-J-534-ANCE-2008	Tubos Metálicos Rígidos de Acero Tipo Pesado y sus Accesorios para La Protección de Conductores-Especificaciones y Métodos de Prueba.
ISO-9001-2008	Quality Management Systems - Requirements.
ISO-286-1-2010	Geometrical Product Specifications (GPS) -- ISO Code System for Tolerances on Linear Sizes -- Part 1: Basis of Tolerances, Deviations and Fits.
NRF-001-CFE-2007	Empaque, Embalaje, Embarque, Transporte, Descarga, Recepción y Almacenamiento de Bienes Muebles Adquiridos por CFE.

## **6 Procedimiento y descripción de las actividades realizadas**

Es importante considerar la propuesta que se realiza en este trabajo en cuanto al cálculo de los componentes, la disponibilidad de éstos en el mercado de componentes estandarizados. En ocasiones, una vez dibujado el sistema y definidos sus componentes, suele ser necesario rehacer los cálculos para adaptar al sistema los componentes estandarizados dentro del mercado que mejor se adapten a las necesidades del mismo.

Se ha de considerar que entre un elemento estandarizado (ej.: un cilindro) y otro de fabricación especial la diferencia en costos puede ser muy considerable.

Para el diseño de un circuito es imprescindible el conocimiento exacto de las necesidades y trabajos a realizar por los elementos accionadores (velocidades, fuerzas, tiempos, ciclos, etc.), así como las limitaciones (espacios, potencia disponible, tipo de energía, etc.). Con los datos de diseño, y con la ayuda de los símbolos (Anexo 3), se hace un croquis en el que se dibujan los elementos accionadores y los impulsores.

Los movimientos y trabajos o fases del ciclo ayudarán a definir los componentes de regulación y control que se han de intercalar entre el accionador final y el elemento impulsor. Finalmente se añaden al croquis los accesorios del sistema.

Una vez realizado el croquis del circuito vamos a enumerar los componentes, y en una relación aparte se les da nombre y descripción.

## 6.1 Especificaciones del Cilindro Hidráulico

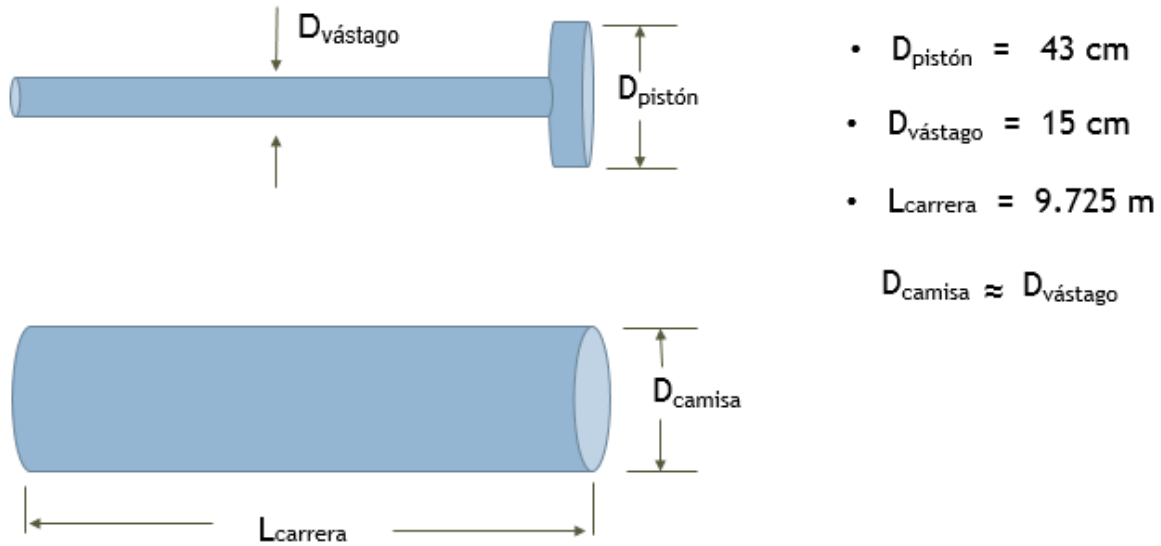


Fig.40.1 Dimensiones del cilindro Hidráulico

### 6.1.2 Cálculos

Vamos a trabajar nuestro sistema tomando en cuenta las dimensiones del cilindro hidráulico que opera actualmente, para que en base a ellos calculemos los parámetros distintos del sistema. Las dimensiones se pueden observar en la figura 40.1

Por otro lado la selección de la bomba que se adecue al proyecto queda determinada por factores relacionados directamente con el fluido a usar, las bombas de desplazamiento positivo son la mejor opción en este caso.

Como apoyo realizaremos una tabla donde se muestre algunos datos muy importantes referidos al funcionamiento del sistema.

Movimiento	Tiempo	Fuerza (KN)	Carrera (m)	Presión (MPa)	Caudal (l/min)	Velocidad
Apertura	20 min		9.725			
Cierre	12 seg		9.725			
Cierre Alternativo	5 min		9.725			

Tabla 5. Relación de principales parámetros del sistema

Con lo anterior procedemos a realizar nuestros primeros cálculos que son los que nos servirán para seleccionar el resto de componentes de nuestro circuito que por el momento únicamente se compone de una bomba y un cilindro.

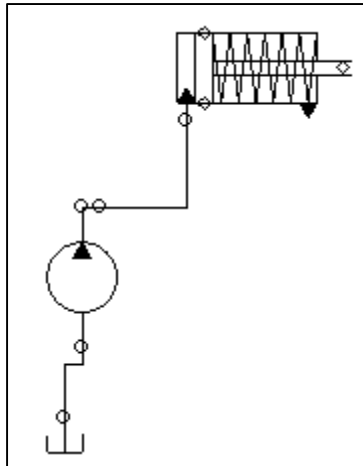


Fig. 41 Primer plano referencial del sistema

- Cálculo de la Presión en el pistón del cilindro

De acuerdo con la información encontrada colocamos primeramente los datos y lo sustituimos en la ecuación (1):

$m = 60\ 000\ Kg$  (masa de la compuerta)

$D_{\text{pistón}} = 43\ cm$  (diámetro del pistón)

$D_{\text{vástago}} = 14.5\ cm$

$$P = \frac{F}{A} \dots\dots\dots Ec. (1)$$

Calculando la fuerza F, necesitamos para ello utilizar la ecuación (1.2)

$$F = mg \dots\dots\dots Ec. (1.2)$$

$$F = 60\ 000\ Kg \times 9.806\ m/s^2$$

$$F = 588.36\ KN$$

Ahora calculamos el área efectiva con la siguiente ecuación (1.1)

$$A_{ef} = \left(\frac{\pi d^2}{4}\right)_{pistón} - \left(\frac{\pi d^2}{4}\right)_{vástago}$$

Encontramos primeramente el área del pistón y posteriormente el área del vástago para realizar la correspondiente diferencia de áreas.

$$A_{pistón} = \left(\frac{\pi(.43m)^2}{4}\right) = 0.14522 \text{ m}^2$$

$$A_{vástago} = \left(\frac{\pi(.145m)^2}{4}\right) = 0.0165129 \text{ m}^2$$

$$A_{ef} = 0.1287070 \text{ m}^2$$

Procedemos a calcular la presión necesaria que actúa sobre el área efectiva

$$P = \frac{588.36 \text{ KN}}{.1287070 \text{ m}^2} \dots\dots\dots \text{Ec. (1)}$$

Y hemos encontrado tal presión:

$$P = 4\,571.313 \text{ KPa} \quad \text{ó} \quad P = 46.61 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$$

Nuevamente realizamos el cálculo de la presión, con la ecuación 1 ahora en la parte ciega del cilindro:

$$P = \frac{F}{A} \dots\dots\dots \text{Ec. (1)}$$

$$P = \frac{588.36 \text{ KN}}{.145220 \text{ m}^2}$$

$$\text{Y la presión es: } P = 4\,051.50 \text{ KPa} \quad \text{ó} \quad P = 41.31 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$$

La bomba debe proporcionar al sistema una presión de  $46.61 \frac{Kg}{cm^2}$ . Esto debido a que es la presión máxima necesaria en todo el ciclo de trabajo; a esto hay que agregarle las pérdidas de carga.

- Caudal de avance, calcularemos primero el volumen de avance con la ecuación (12).

$$V_{avance} = A_{ef} \cdot carrera \dots\dots\dots Ec. (12)$$

Sustituyendo en (12):

$$V_{avance} = (0.1287070m^2) \cdot (9.725 m)$$

$$V_{avance} = 1.2516 m^3 \text{ o } 1, 251.67 \text{ litros}$$

La carrera total se completa en un tiempo total de 20 minutos, con fases intermedias en ella, por lo que sustituyendo en (13):

$$Q_{avance} = \frac{V_{avance}}{t_{avance}} \dots\dots\dots Ec. (13)$$

$$Q_{avance} = \frac{1251.67 l}{20 minutos}$$

$$= 62.58 \frac{l}{min}$$

La velocidad con la que se desplazará el émbolo durante la operación de apertura queda determinada por la ecuación de continuidad (11):

$$Q = A \cdot Vel \dots\dots\dots Ec. (11)$$

Despejando la velocidad:

$$Vel = \frac{Q}{A}$$

Datos que ya conocemos, por lo que sustituimos:

$$Vel = \frac{62.68 \frac{l}{min} \cdot \frac{1 m^3}{1000 l} \cdot \frac{1 min}{60 seg}}{0.1287070 m^2} = \frac{0.06258 \frac{m^3}{min} \cdot \frac{1 min}{60 seg}}{0.1287070 m^2} = \frac{.00104466 \frac{m^3}{s}}{0.1287070 m^2}$$

$$Vel = 8.1166 E - 3 \frac{m}{s}$$

- Caudal de retroceso

$$V_{retroceso} = A \cdot carrera \dots\dots\dots Ec. (12)$$

$$V_{retroceso} = (.145220m^2) \cdot (9.725m)$$

$$V_{retroceso} = 1.412264 m^3 \quad \text{o} \quad 1, 412.26 \text{ litros}$$

Si la carrera de cierre se efectúa en 12 segundos, entonces sustituimos en (13):

$$Q_{retroceso} = \frac{V_{retroceso}}{t_{retroceso}} \dots\dots\dots Ec. (13)$$

$$Q_{retroceso} = \frac{1412.26 l}{12 seg} = 117.68 \frac{l}{seg}$$

Si la carrera de cierre se efectúa en 5 minutos, entonces utilizamos nuevamente (13):

$$Q_{retroceso} = \frac{V_{retroceso}}{t_{retroceso}}$$

$$Q_{retroceso} = \frac{1412.26 \text{ l}}{5 \text{ min}} = 282.452 \frac{\text{l}}{\text{min}}$$

La velocidad con la que se desplazará el émbolo durante la operación de cierre para ambos tiempos, queda determinada por la ecuación de continuidad como anteriormente lo hicimos:

$$Q = A \cdot Vel \dots\dots\dots \text{Ec. (11)}$$

Despejando la velocidad:

$$Vel = \frac{Q}{A}$$

Sustituyendo los valores y realizando las conversiones necesarias:

$$Vel = \frac{117.68 \frac{\text{l}}{\text{s}}}{0.145220 \text{ m}^2} = \frac{117.68 \frac{\text{l}}{\text{s}} \cdot \frac{\text{m}^3}{1000\text{l}}}{0.145220 \text{ m}^2} = \frac{.11768 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{0.145220 \text{ m}^2}$$

$$Vel = 0.8103 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Si el tiempo de cierre es de 5 minutos la velocidad es:

$$Vel = \frac{282.452 \frac{\text{l}}{\text{min}} \cdot \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} \cdot \frac{\text{m}^3}{1000\text{l}}}{0.145220 \text{ m}^2} = \frac{4.7075E - 3 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{0.145220 \text{ m}^2} =$$

$$Vel = 0.0324 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

El caudal en el avance y retroceso no es el mismo, por lo que hay que seleccionar una bomba capaz de satisfacer las necesidades de caudal máximo, podemos incluir un regulador de caudal para reducirlo en la fase de apertura junto con una válvula que permita el libre paso del fluido en sentido contrario, ya que de no ser así también limitaría el flujo en la fase de retroceso.

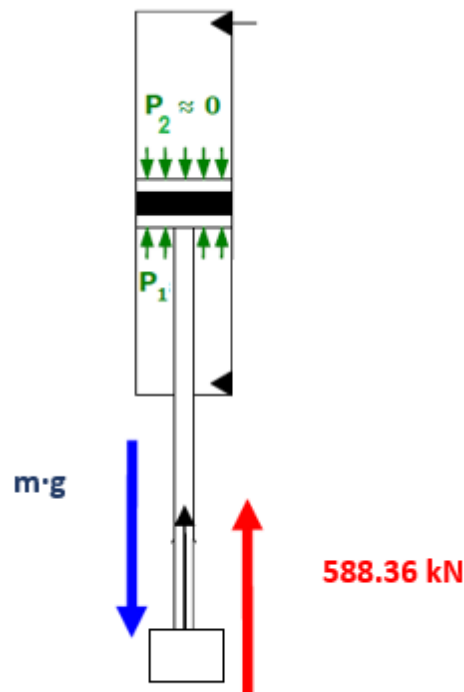


Continuamos con el llenado de la tabla.

Movimiento	Tiempo	Fuerza ( KN )	Carrera ( m )	Presión ( MPa )	Caudal ( l/min )	Velocidad ( m/s )
Apertura	20 min	588.36	9.725	4.57	62.58	8.11E-3
Cierre	12 seg	588.36	9.725	4.051	7,060	0.8103
Cierre alterno	5 min	588.36	9.725	4.051	282.452	0.0324

Tabla 5. Relación de principales parámetros del sistema

En el movimiento de ascenso de la compuerta, las fuerzas que debe vencer el cilindro hidráulico es el peso de la misma compuerta, también es correcto agregar un valor de 10% de ese peso para compensar el peso de los eslabones.



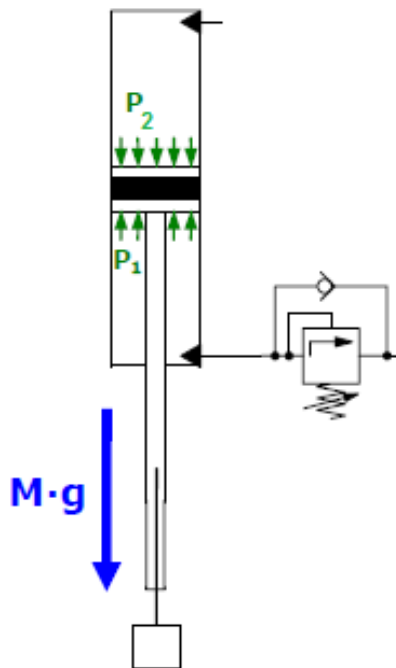
El equilibrio de fuerzas se debe comprobar para estabilizar el sistema.

$$P_1 A_1 = P_2 A_2 + mg$$

$$(4.57 \text{ MPa})(0.1287070 \text{ m}^2) = \cancel{P_2 A_2} + (60\,000 \text{ kg})(9.806 \text{ m/s}^2)$$

$$588.360 \text{ kN} = 588.360 \text{ kN}$$

En el movimiento de descenso de la compuerta y por lo tanto del pistón, necesitamos que la compuerta no caiga por su propio peso, ya que el descontrol y caída que llegaría a suceder causaría estragos en la instalación, por lo que se tiene previsto colocar una válvula de contrapresión que actúa en sentido contrario. Además como el esfuerzo se realiza en movimiento se debe considerar un rendimiento hidráulico para tener en cuenta las fuerzas de rozamiento internas en el cilindro.



$$P_1 A_1 = P_2 A_2 + mg$$

$$(4.57 \text{ MPa})(0.1287070 \text{ m}^2) = (4.05 \text{ MPa}) + (60,000 \text{ kg}) \left(9.806 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right)$$

$$588\,360.11 \text{ N} = 4\,639.86 \text{ kN}$$

Con lo que se cumple la diferencia de fuerzas y por lo tanto el movimiento hacia abajo. Hay que tomar en cuenta que la condición de contrabalance producida por la válvula de secuencia tiene que ser 50% mayor que la necesaria para sujetar el peso de la compuerta.

$$P_1 = 1.5 \frac{60\,000 (9.806)}{A_1} = 6\,856\,968.10 \text{ Pa}$$

Una vez definido los parámetros principales podemos hacer la selección de los componentes de regulación y accesorios para calcular las pérdidas que hay en ellos y definir otros parámetros importantes del sistema.

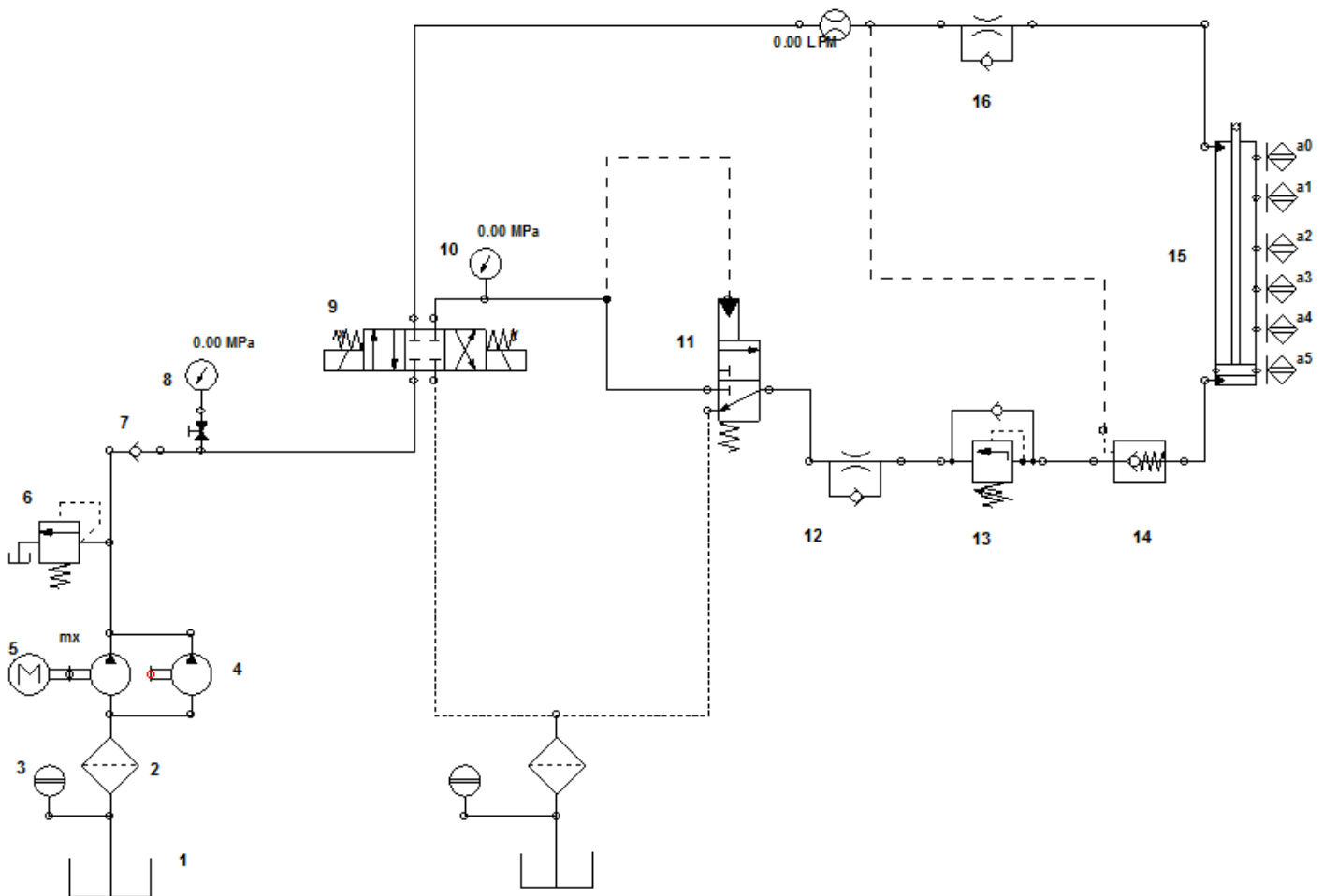


Diagrama hidráulico para el funcionamiento de las compuertas obra de Toma C.H. Netzahualcóyotl

Fuente: Realizado mediante software Automation Studio

Número de Referencia	Elemento
1	Depósito de aceite
2	Filtro
3	Medidor de nivel
4	Bomba hidráulica
5	Motor eléctrico
6	Válvula de seguridad
7	Válvula check
8	Manómetro c/válvula cierre
9	Válvula control 4/3 N.C.
10	Manómetro
11	Válvula control 3/2 N.C.
12	Válvula de estrangulación c/antirretorno
13	Válvula de contrabalance
14	Válvula check c/piloto
15	Cilindro hidráulico
16	Válvula de estrangulación c/antirretorno

Tabla 5.1 Elementos que conforman el sistema oleodinámico.

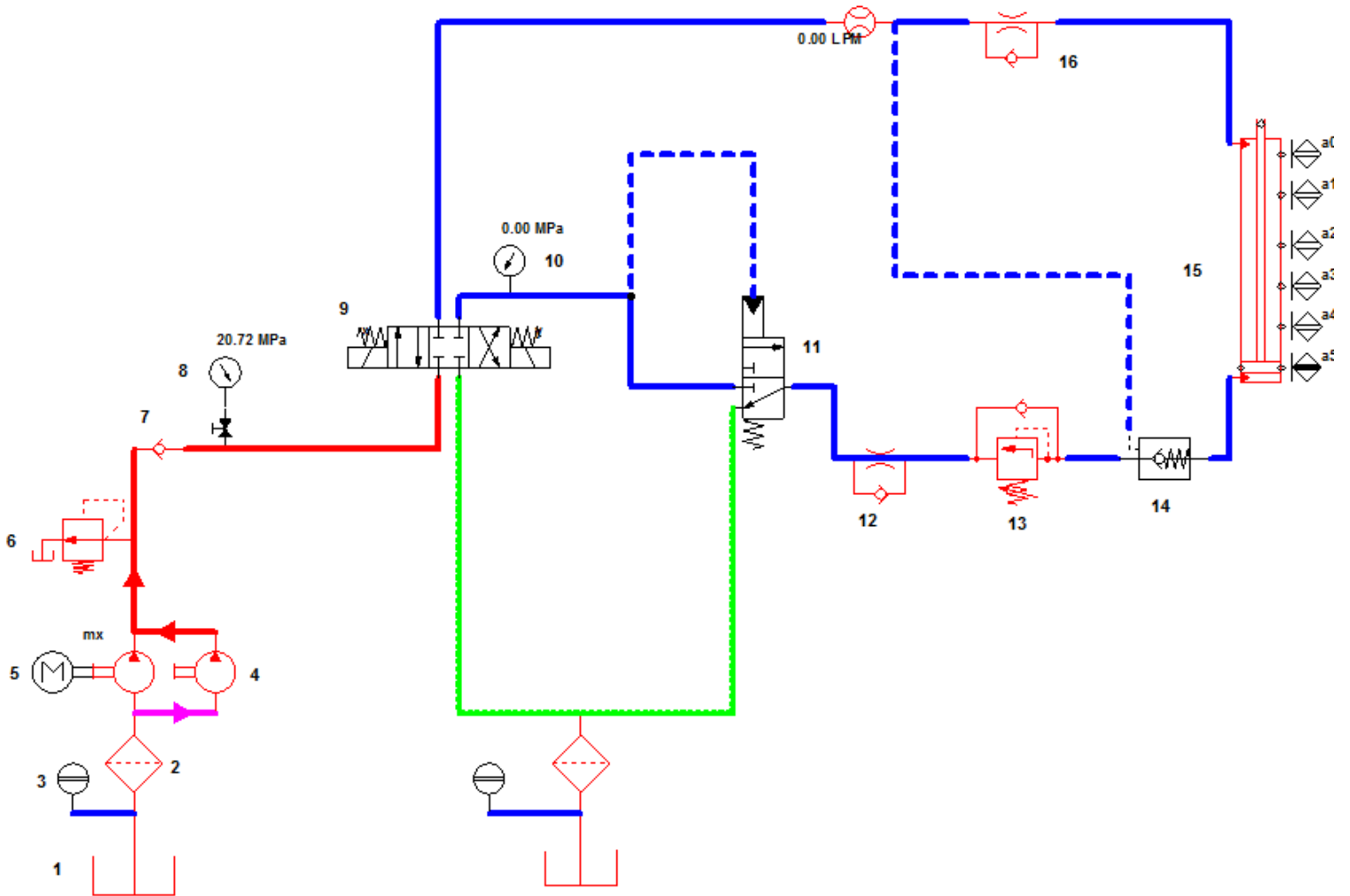


Diagrama hidráulico para el funcionamiento de las compuertas obra de Toma C.H. Netzahualcóyotl

Fuente: Realizado mediante software Automation Studio

Vamos a calcular las pérdidas de carga del sistema, la parte de succión  $h_s$  (antes de la bomba), y las pérdidas en la parte de la descarga, cuando el gasto de la bomba sea de 1 lt/s. Hemos determinado la longitud de la tubería a usar realizando mediciones en el lugar, en base al sistema de líneas que opera actualmente, ésta consta de 0.4 m lado aspiración y de un total de 14.7m para la parte de descarga, utilizando un DN de 2" y 1.5" respectivamente .

También necesitamos conocer la potencia hidráulica de la bomba que requiere el sistema.

La figura 42 representa un bosquejo del sistema oleodinámico, se puede apreciar tanto la línea de presión principal como la línea que actúa como descarga.

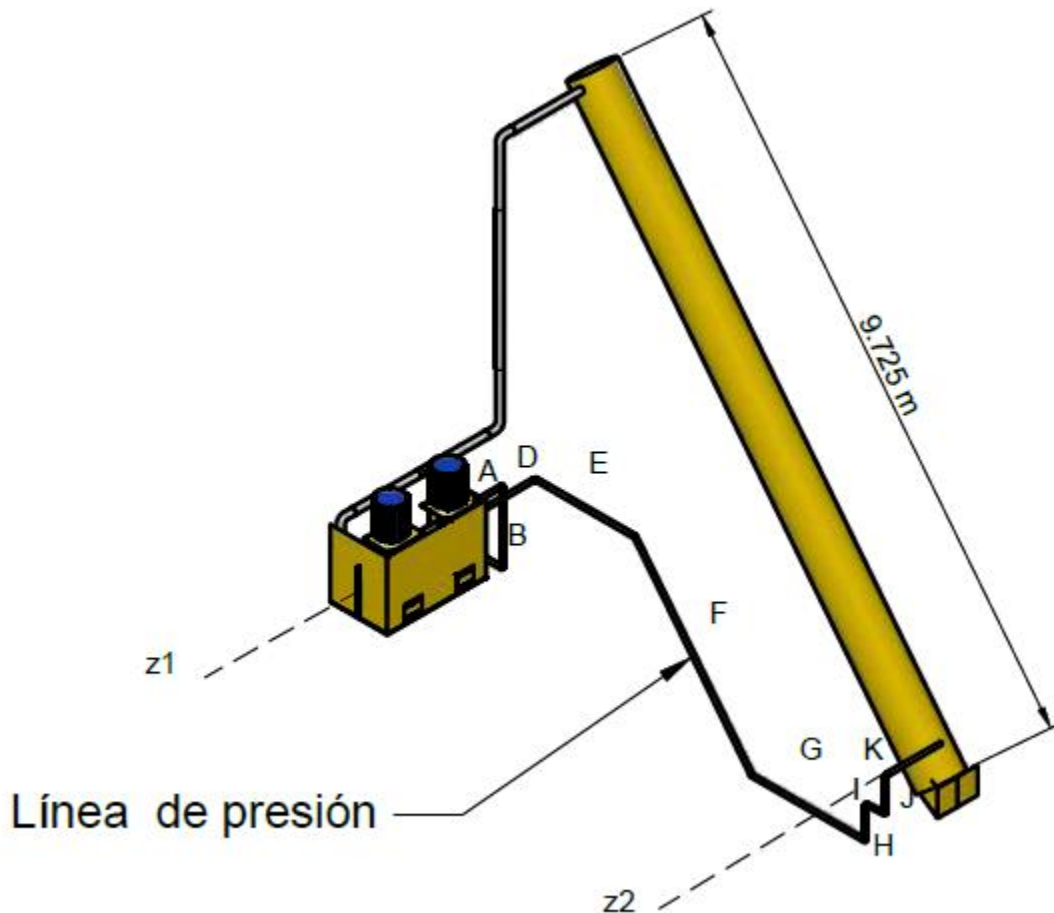


Fig.42 Plano de referencia del sistema oleodinámico 3D

Fuente: Realizado mediante software AutoCAD 2013

## Datos

Aceite Heavy Medium Grado ISO 68 @40°C = 65.1 Cst

Densidad @ 15°C = .87 Kg/l

Tubería acero inoxidable

Tubería cédula 80 para línea de presión y cédula 40 para línea de retorno

Longitud tubería de succión: 0.4m

Longitud tubería de descarga= 14.7 m

Diámetro de tubería de succión= 5.08 cm (2")

Diámetro de tubería de descarga= 3.175 cm (1.25")

Altura  $z_1= 192.55$  m ;  $z_2= 189.19$  m

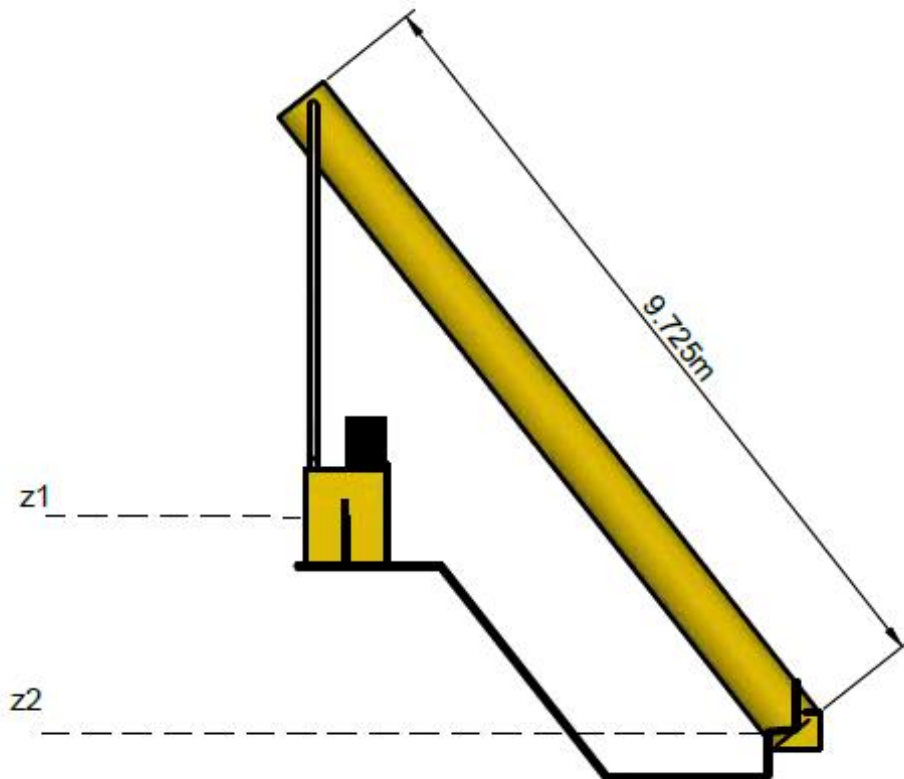


Fig.43 Plano de referencia del sistema oleodinámico 2D

Fuente: Realizado mediante software AutoCAD2013

Aplicando el teorema de Bernoulli Ec. (10)

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 + E_A = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2 + \text{Pérdidas} \dots\dots\dots\text{Ec. (10)}$$

Calculamos las pérdidas primarias en el lado de succión, necesitamos conocer para ello diversos parámetros, empezamos con la ecuación (11):

$$Q = A \cdot V \dots\dots\dots\text{Ec. (11)}$$

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{1 \frac{l}{s}}{\frac{\pi d^2}{4}}$$

Haciendo conversiones :  $1 \frac{l}{s} = 1E - 3 \frac{m^3}{s}$

Por lo que:

$$V = \frac{1E-3 \frac{m^3}{s}}{\frac{\pi d^2}{4}} \quad \text{Sustituyendo el diámetro}$$

$$V = \frac{1E - 3 \frac{m^3}{s}}{\frac{\pi(.0508m)^2}{4}}$$

$\therefore V = .4933 \text{ m/s}$



Una vez encontrada la velocidad, calculamos el número de Re para determinar si el flujo es laminar o turbulento Ec. (5).

$$Re = \frac{vd}{\nu} \dots\dots\dots Ec. (5)$$

Sustituyendo los valores correspondientes

$$Re = \frac{(.4933).0508}{65.1 E - 6}$$

$Re = 384.94$  ; éste número adimensional corresponde a flujo laminar de acuerdo al criterio de determinación del flujo .

Flujo laminar  $Re < 2300$

Flujo turbulento  $Re > 2300$

Ahora bien, necesitamos calcular el coeficiente de fricción  $f$  de la tubería, para poder calcular las pérdidas, para ello el número  $\epsilon/D$  determina el valor de diseño de acuerdo a la tubería que se usa, en este caso tubería de acero, la cual según el diagrama del anexo 2 tiene un valor de .006 cm. Por lo que:

$$\frac{\epsilon}{D} = \frac{.006}{5.08} = 1.1811 E-3$$

Con este dato ya podemos calcular el coeficiente de fricción  $f$  , en base al Re obtenido y al número adimensional  $\frac{\epsilon}{D}$  nuevamente con el diagrama utilizado anteriormente.

Por lo que:

$$f = .036$$

Y la pérdida es determinada por la ecuación (8):

$$h_l = (f) \frac{l}{d} \cdot \frac{V^2}{2} \dots\dots\dots \text{Ec. (8)}$$

$$h_l = (0.036) \frac{0.4}{0.0508} \cdot \frac{0.4933^2}{19.612}$$

$$h_l = 3.5172E - 3 \text{ m. c. l.}$$

Ahora bien necesitamos conocer las pérdidas por accesorios en la línea de succión, apoyados en la ecuación (9):

$$h_a = \sum \frac{V^2}{2g} \dots\dots\dots \text{Ec. (9)}$$

Los accesorios instalados antes de la bomba únicamente es la válvula de pie la cual tiene un coeficiente de 10.

$$h_a = (10) \frac{0.4933^2}{19.612} = 0.1240 \text{ m. c. l.}$$

Ahora vamos a calcular la pérdida en la descarga de la misma manera que lo hicimos para la succión.

Calculamos las pérdidas primarias, necesitamos conocer para ello diversos parámetros, utilizando (11):

$$Q = A \cdot V$$

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{1 \frac{l}{s}}{\frac{\pi d^2}{4}}$$

$$\text{Haciendo conversiones : } 1 \frac{l}{s} = 1E - 3 \frac{m^3}{s}$$

Por lo que:

$$V = \frac{1E-3 \frac{m^3}{s}}{\frac{\pi d^2}{4}} \quad \text{Sustituyendo el diámetro}$$

$$V = \frac{1E-3 \frac{m^3}{s}}{\frac{\pi(0.0381m)^2}{4}}$$

$$\therefore V = 0.8771 \text{ m/s}$$

Una vez encontrada la velocidad, calculamos el número de Re para determinar si el flujo es laminar o turbulento con (5).

$$Re = \frac{vd}{\nu} \dots\dots\dots \text{Ec. (5)}$$

Sustituyendo los valores correspondientes

$$Re = \frac{(0.8770)(0.0381)}{65.1 E - 6}$$

$Re = 513.26$  ; éste número adimensional corresponde a flujo laminar de acuerdo al criterio de determinación del flujo .

Flujo laminar  $Re < 2300$

Flujo turbulento  $Re > 2300$

Ahora bien, necesitamos calcular el coeficiente de fricción  $f$  de la tubería , para poder calcular las pérdidas primarias, para ello el número épsilon determina el valor de diseño de acuerdo a la tubería que se usa, en este caso tubería de acero , la cual según el diagrama del anexo 2 tiene un valor de .006 cm. Por lo que:

$$\frac{\varepsilon}{D} = \frac{.006}{3.81} = 1.570 \text{ E-3}$$

Con este dato ya podemos calcular el coeficiente de fricción  $f$  , en base al  $Re$  obtenido y al número adimensional  $\frac{\varepsilon}{D}$  nuevamente con el diagrama utilizado anteriormente.

Por lo que:

$$f = .039$$

Y la pérdida es determinada por (8):

$$h_l = (f) \frac{l}{d} \cdot \frac{V^2}{2} \dots\dots\dots \text{Ec. (8)}$$

$$h_l = (0.039) \frac{14.7}{0.0381} \cdot \frac{0.8770^2}{19.612}$$

$$h_l = 0.5901 \text{ m. c. l.}$$

Ahora bien necesitamos conocer las pérdidas por accesorios en la línea de succión, apoyados en la ecuación (9):

$$h_a = \sum \frac{V^2}{2g} \dots\dots\dots \text{Ec. (9)}$$

Los accesorios instalados después de la bomba son multiplicados por su coeficiente de fricción.

2 válvulas control de presión	x 0.7
2 válvulas de control direccional	x 1.5
1 válvula de cierre	x 0.2
1 salida de depósito a tubería	x 0.5
1 válvula antirretorno	x 0.5
9 codos de 90°	x 1
1 codo de 45°	x 0.4

---


$$\sum K \longrightarrow 15.0$$

$$h_a = (15) \frac{0.8771^2}{19.612} = 0.5530 \text{ m.c.l.}$$

Ya teniendo la caída de presión antes y después de la bomba, por tubería y por accesorios realizamos la suma.

Pérdida en succión

$$h_l = 3.5172 \text{ E-3 m.c.l.}$$

$$h_a = 0.1240 \text{ m.c.l.}$$

Pérdida en descarga

$$h_l = 0.5901 \text{ m.c.l.}$$

$$h_a = 0.5530 \text{ m.c.l.}$$

---


$$h_{\text{pérdidas}} \longrightarrow = 1.2706 \text{ m.c.l.}$$

$$h_{\text{total}} = 1.2706 \text{ m.c.l.} + (Z_1 - Z_2)$$

$$1.2706 \text{ m.c.l.} + 3.360 \text{ m.c.l.}$$

---


$$h_{\text{total}} = 4.6306 \text{ m.c.l.}$$

Sustituimos los valores que determinamos anteriormente, en la ecuación de Bernoulli (10):

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 + E_A = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2 + \text{Pérdidas}$$

$$\frac{101.325 \text{ KPa}}{8531.22 \frac{\text{N}}{\text{m}^3}} + E_A = \frac{4\ 571.313 \text{ KPa}}{8531.22 \frac{\text{N}}{\text{m}^3}} + \frac{(.8770 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2}{19.612 \text{ m/s}^2} + (192.55\text{m} - 189.19\text{m}) + 4.6303 \text{ m. c. l.}$$

$$11.87\text{m} + E_A = 535.83\text{m} + 0.0392\text{m} + 3.36\text{m} + 4.6303 \text{ m. c. l.}$$

$$E_A = 45.81\text{m}$$

De acuerdo a este resultado podemos encontrar la potencia hidráulica de la bomba con (15).

$$CV = \frac{\gamma \cdot Q \cdot E_A}{75} \dots\dots\dots \text{Ec. (15)}$$

$$CV = \frac{8531.22 \frac{\text{N}}{\text{m}^3} \cdot 0.001 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \cdot 45.81\text{m}}{75}$$

$$CV = 5.21$$

La presión a la que trabajará la bomba será mayor que la presión a la que lo hace el cilindro por las pérdidas de carga que existen entre ambos. Sin embargo debemos cuidar que las pérdidas sean pequeñas comparadas con la presión de trabajo, reduciendo los codos y la tubería a distancias más cortas con el fin de evitar dichas pérdidas.

Las revoluciones de una bomba son un criterio importante de selección, ya que el caudal de transporte es determinado por las revoluciones N.

Hemos seleccionado un giro de 1800 rpm, rango frecuente en los motores utilizados en aplicaciones industriales, por lo que podemos encontrar el tamaño de la cilindrada con (16).

$$Cilindrada = \frac{Q_{max}}{Velocidad} = \frac{282 \text{ l/min} \left( \frac{1000 \text{ cm}^3}{1 \text{ litro}} \right)}{1800 \text{ rpm}} = 156.66 \frac{\text{cm}^3}{\text{rev}}$$

Lo que sería la cilindrada teórica, los rendimientos en las bombas de desplazamiento positivo oscilan entre 0.8 a 0.9, un rendimiento elevado comparado con las bombas centrífugas, así estimando un rendimiento del 90%, la cilindrada necesaria para suministrar el caudal requerido será de:

*Cilindrada tomando en cuenta el rendimiento*

$$\frac{Cilindrada}{\eta} = \frac{156.66 \frac{\text{cm}^3}{\text{rev}}}{0.9} = 174.07 \frac{\text{cm}^3}{\text{rev}}$$

En caso de no encontrar en el mercado una bomba con estas características se debe adquirir una de mayor cilindrada y añadir otro limitador de caudal.

La válvula de seguridad se desea que su presión de apertura sea 5% mayor al valor de la presión máxima con la que la bomba trabaje.

La válvula que actúa de contrabalance se tara a una presión 50% mayor que la necesaria para sujetar el peso de la compuerta.

$$P_1 = 1.5 \frac{60\,000 (9.806)}{A_1} = 6\,856\,968.10 \text{ Pa}$$

De acuerdo a lo especificado en la Normatividad para compuertas y equipo para la obra de toma CFE X8000-09, a continuación realizaremos el diseño del depósito contenedor de aceite, el depósito en un sistema oleodinámico posee varias funciones, la más evidente de ellas, como ya vimos, es el almacenamiento de fluido del sistema, pero cumple otras funciones muy importantes tales como ayudar a enfriar el fluido a través de sus paredes o ayudar a precipitar los contaminantes sólidos de éste mismo.

Procedemos a realizar el cálculo, al equipo industrial se acostumbra proveerlo con un depósito cuya capacidad en litros sea por lo menos cinco o seis veces la capacidad de la bomba expresada en litros por minuto.

$$V = 6 \cdot Q_c \dots\dots\dots Ec. (17)$$

Donde:

V= Volumen

Q<sub>c</sub>=Caudal de la bomba por minuto

$$V = 6 \cdot 60 \text{ lt} \quad \therefore \quad V = 360 \text{ lt}$$

Sin embargo se pretende llenar el nuevo depósito con una cantidad mayor, previniendo una falta de aceite por fugas. Las medidas con las que contará el nuevo depósito de aceite se muestran en la fig. 44.

Hemos considerado varios puntos importantes para el diseño del depósito:

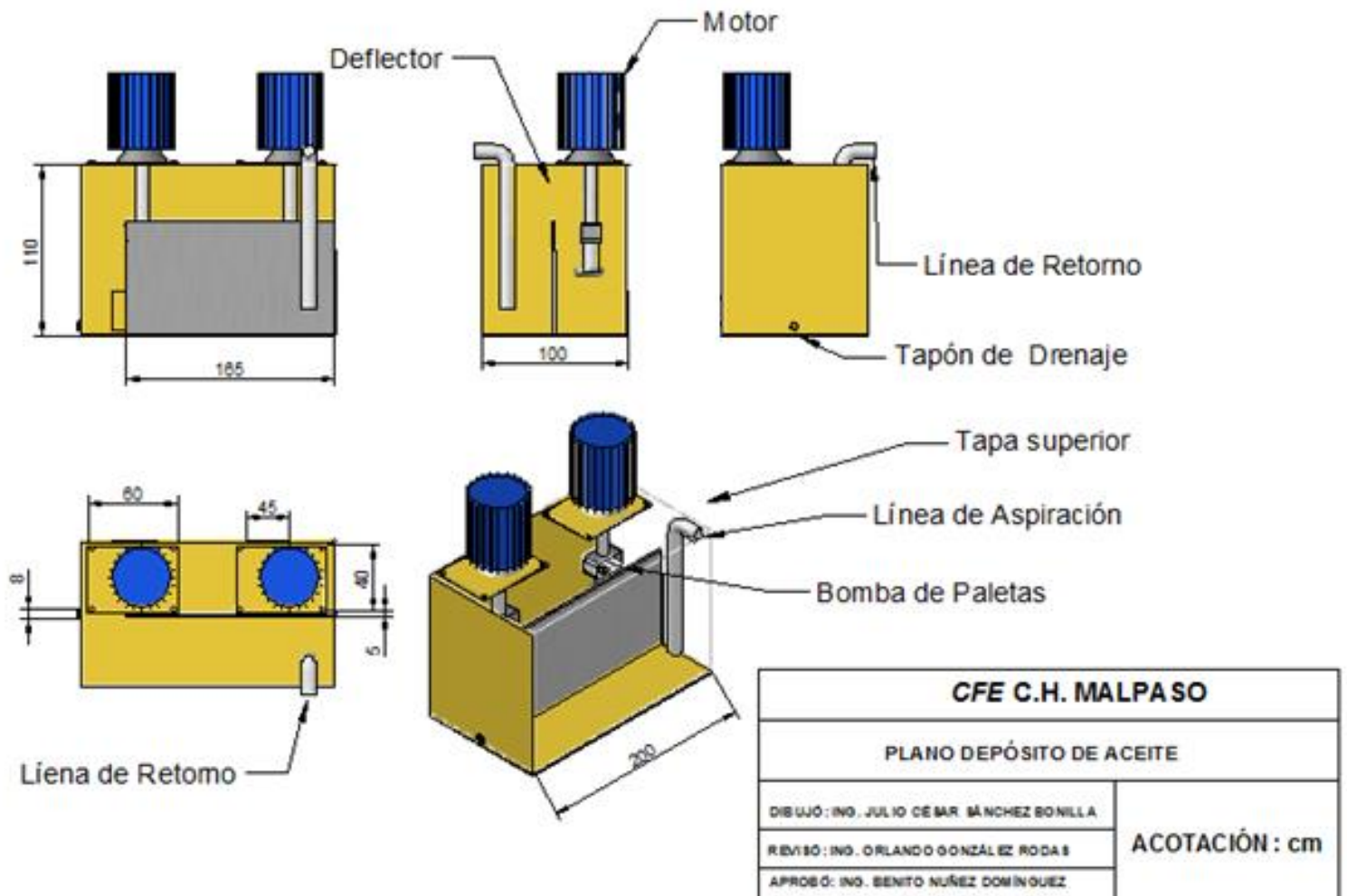
- Las condiciones de espacio nos ofrecen la ventaja de crear un depósito más grande, con la finalidad de disipar el calor por convección hacia el ambiente.
- Se colocará un deflector para separar el fluido que llega al depósito por la línea de retorno y evitar así que ingrese enseguida a la bomba.
- La línea de retorno dentro del depósito debe estar a un nivel inferior al del aceite para evitar la formación de espuma.



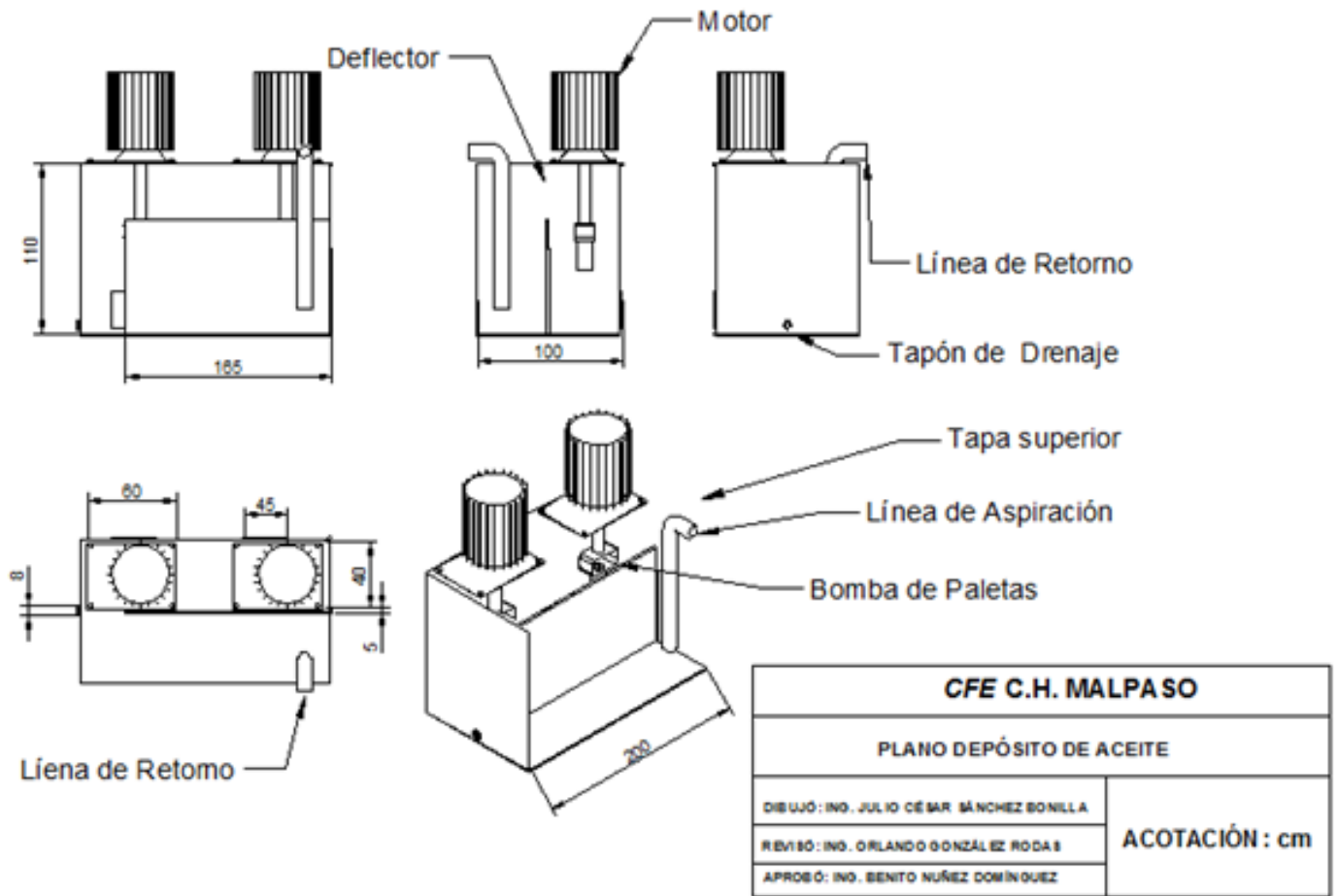
- Ofrecer una superficie que permita el montaje de algunos de los componentes del sistema.
- Tener un tapón de drenaje para facilitar la evacuación del aceite en caso de operaciones de mantenimiento.
- Almacenar un volumen de fluido relativamente grande, suficiente para que la velocidad de circulación de éste a su paso, sea tan baja que permita que los contaminantes de tamaño regular se sedimenten
- Debe permitir el almacenamiento de todo el fluido contenido en el interior del circuito, y que puede pasar al depósito durante una operación de mantenimiento.

## 7 Resultados (planos, graficas, prototipos y programas)

El siguiente diseño corresponde al depósito de aceite, realizado mediante el programa Autocad, los diferentes componentes se ilustran a continuación.



Plano 44. Diseño de depósito Dúplex de aceite



Plano 44.1 Diseño de depósito Dúplex de aceite

Nos dimos a la tarea de simular el trabajo del sistema mediante el programa Automation Studio 5.0 realizando la automatización de nuestro sistema para la operación en base a las necesidades de la C.H. Netzahualcóyotl. Podemos observar en la figura 45, los sensores que corresponden a cada nivel de apertura de la compuerta, en este caso el sensor a4 representa al nivel de bypass.

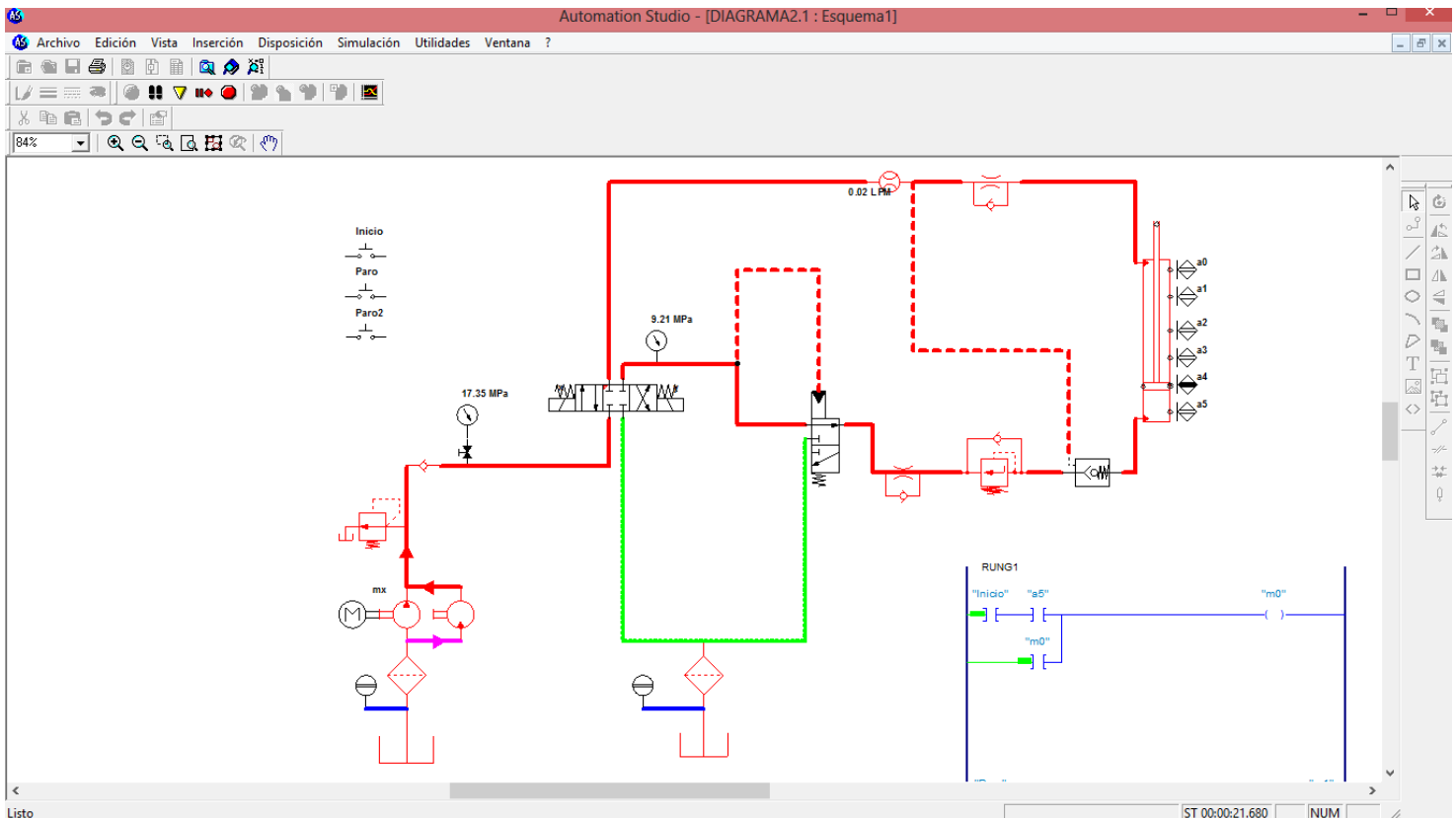


Fig. 45 Diagrama Hidráulico realizado en Automation Studio 5.0

Los niveles de la compuerta están representados por:

**a<sub>0</sub>** = Compuerta totalmente cerrada

**a<sub>1</sub>** = Compuerta Abierta

**a<sub>2</sub>** = Compuerta en Recuperación

**a<sub>3</sub>** = Cierre Inminente

**a<sub>4</sub>** = Bypass

**a<sub>5</sub>** = Compuerta cerrada

## **7.1 Funcionamiento**

### **Apertura de la Compuerta**

El funcionamiento del sistema propuesto es muy sencillo; la bomba alimentada por un motor eléctrico transporta el aceite ,una vez que ha sido filtrado, hacia la válvula direccional 4/3 N.C., en ésta línea una válvula check (antirretorno) permite que el fluido tenga una trayectoria en una sola dirección, previamente si es detectada una sobrepresión en el sistema ocasionaría que la válvula de seguridad actuara devolviendo el fluido al depósito, una vez situado el aceite en los puertos centrales de la válvula 4/3 N.C. se energiza la bobina para desplazar el carrete hacia izquierda para posteriormente, por medio de la presión piloto, abrir la válvula 3/2 N.C.

Enseguida el flujo de aceite circula a través de una válvula de control de flujo (estrangulación), la cual es regulable, el pistón del cilindro hidráulico se desplazará hacia arriba y con ello la compuerta para ceder el paso del agua del embalse hacia las turbinas, el nivel de compuerta corresponde en éste momento al nivel de bypass.

La válvula de contrabalance realizará dos funciones, proporciona un apoyo al cilindro para que haga bajar la carga a una velocidad controlada y soportar el peso de la compuerta en cualquier nivel de apertura de la compuerta.

### **Cierre de la Compuerta**

El cierre de la compuerta puede ser por el propio peso de la compuerta (por gravedad), o bien, puede ser operado por la válvula 4/3 N.C. la cual es desplazada hacia la derecha luego de haber sido energizada, para posteriormente atravesar una válvula de control de flujo estranguladora, una línea de presión piloto abre la válvula antirretorno para poder dejar pasar el aceite en sentido contrario al efectuado en la apertura de la compuerta (hacia la línea de retorno), una vez que el aceite se encuentra en la parte ciega del pistón causando el desplazamiento vertical hasta cerrar la compuerta, apoyada esta maniobra por la válvula de contrabalance provocando una contrapresión para detener la compuerta en cada fase de cierre.

## **8 Conclusiones y recomendaciones**

En base a la propuesta elaborada, se realizó la cotización del proyecto por parte de la empresa OLEODINAMICA, REFACCIONES Y EQUIPOS , empresa dedicada al sector industrial, la cotización es consultable en la parte de anexos (5).

El sistema propuesto está destinado a tener un control adecuado y eficiente de las compuertas, reduciendo los elementos eléctricos y sustituyendolos por elementos mecánicos a fin de evitar un paro inesperado por falta de alimentación en la red eléctrica, con ello se satisface el objetivo general trazado a principio de éste proyecto.

Hay que tener en cuenta que para fluidos hidráulicos se deben establecer intervalos de cambio de aceite adecuadamente, en este caso, para no dejar que éste se descomponga. En caso necesario, se puede analizar periódicamente muestras en el laboratorio para establecer la frecuencia de cambio, también usar solamente mangueras y recipientes limpios para transferir el fluido del bidón al depósito hidráulico. Generalmente para los equipos industriales es recomendable un grupo de trasiego equipado con un filtro de 20 micras absolutas.

Si el fluido se mantiene limpio y libre de humedad durará mucho más tiempo y se evitará dañar las piezas internas que están en constante movimiento de los componentes hidráulicos. Otro punto importante es el mantener el depósito adecuadamente lleno, sino lleno a una capacidad de 85% para aprovechar sus características de disipación de calor e impedir que la humedad se condense en las paredes interiores, si existen fugas deben repararse inmediatamente

## 9 Fuentes de información

MANUAL VICKERS HIDRÁULICA INDUSTRIAL 935100-A

MANUAL BÁSICO DE OLEOHIDRÁULICA SOHIPREN S.A.OLEOHIDRÁULICA

HIDRÁULICA GENERAL. VOLUMEN 1. SOTELO. LIMUSA NORIEGA EDITORES.

MECÁNICA DE FLUIDOS 8ª.EDICIÓN. VICTOR STREETER

MECÁNICA DE LOS FLUIDOS E HIDRÁULICA. RONALD V. GILES

HIDRÁULICA BÁSICA 3.0 CAPACITACIÓN DE LA POTENCIA HIDRÁULICA

FUNDAMENTOS BÁSICOS DE LA ÓLEO-HIDRÁULICA. HIDRANA VEN

<http://www.somet.net/oleodinamica>

## 10 Anexos

### Anexo 1

Grado de viscosidad ISO VG	Viscosidad cinemática media cSt @ 40°C	Límite inferior cSt @ 40°C	Límite superior cSt @ 40°C
2	2.2	1.98	2.42
3	3.2	2.88	3.52
5	4.6	4.14	5.06
7	6.8	6.12	7.48
10	10	9.00	11.00
15	15	13.50	16.50
22	22	19.80	24.20
32	32	28.80	35.20
46	46	41.40	50.60
68	68	61.20	74.80
100	100	90	110
150	150	135	165
220	220	198	242
320	320	288	352
460	460	414	506
680	680	612	748
1000	1000	900	1100
1500	1500	1350	1650
2200	2200	1980	2420
3200	3200	2880	3520

Tabla 1. Grados de viscosidad ISO

### Características Típicas

Mobil DTE de Nombre	Método de Prueba	Light	Medium	Heavy Medium	Heavy
Densidad @ 15°C Kg/L	ASTM-D-4052	0.85	0.86	0.87	0.88
Punto Mínimo de Fluidez, °C, máx.	ASTM-D-97	-18	-15	-15	-15
Punto de inflamación, °C, mín.	ASTM-D-92	200	200	207	215
Grado ISO	ASTM-D-2422	32	46	68	100
Viscosidad @ 40°C, cSt	ASTM-D-445	31	44.5	65.1	95
Viscosidad @ 100°C, cSt	ASTM-D-445	5.54	6.9	8.7	10.89
Índice de Viscosidad	ASTM-D-2270	102	98	95	92
Color ASTM	ASTM-D-1500	0.5	1.5	2.0	2.0
Tiempo para alcanzar 0ml de emulsión a 54°C	ASTM-D-1401	15	20	20	30
TOST , lodos, 1000hrs %masa	ASTM-D-4310	0.3	0.2	0.02	0.02
FZG Soporte de Carga 4-Bolas Etapa de falla	DIN-51354	8	9	10	10
Número de Neutralización	ASTM-D-974	0.1	0.16	0.2	0.2



# Características del aceite Mobil DTE

## Anexo 2

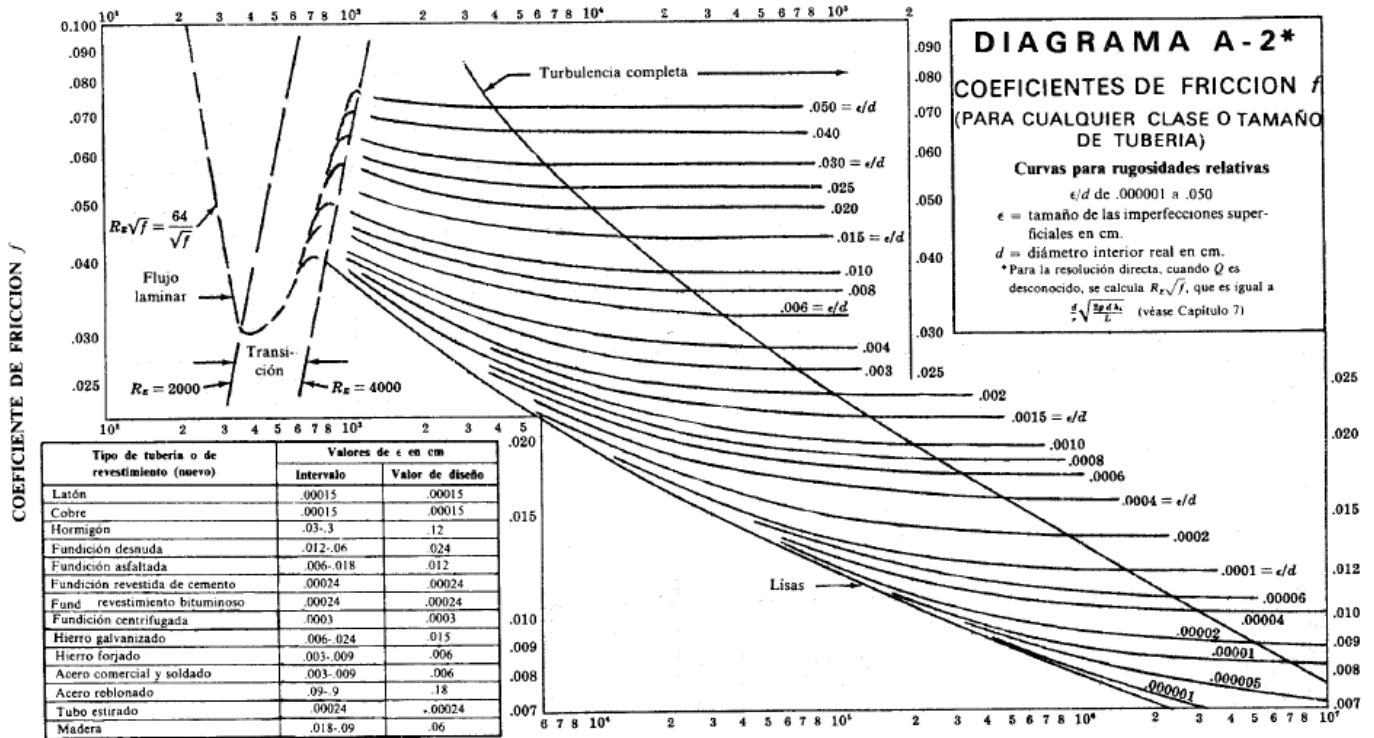


Diagrama de Moody

### Anexo 3

<b>Caída de presión DN 1.5” coeficientes.</b>	
<b>Tipo de singularidad</b>	<b>K</b>
Depósito a tubería	0,5
Válvula de compuerta totalmente abierta	0,2
Válvula de compuerta mitad abierta	5,6
Curva de 90°	1,0
Curva de 45°	0,4
Válvula de pie	10
Emboque (entrada en una tubería)	0,5
Salida de una tubería	1,0
Ensanchamiento brusco	$(1-(D_1/D_2)^2)^2$
Reducción brusca de sección (Contracción)	$0,5(1-(D_1/D_2)^2)^2$
Válvula control de presión	0,7
Válvula control direccional	1,5
Válvula antirretorno	0,5

Tabla de coeficientes para la determinación de la caída de presión en sistemas hidráulicos.



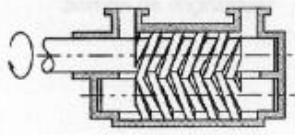

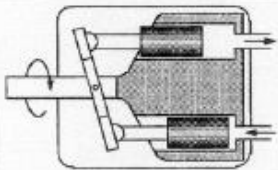
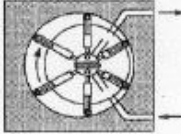
## Anexo 4 Pérdida de carga en accesorios comunes

### PERDIDAS DE CARGA EN ACCESORIOS

(Subíndice 1 = aguas arriba y subíndice 2 = aguas abajo)

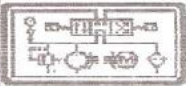
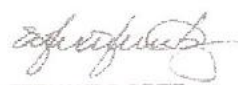
Accesorio	Pérdida de carga media
1. De depósito a tubería – conexión a ras de la pared (pérdida a la entrada)	$0,50 \frac{V_2^2}{2g}$
– tubería entrante	$1,00 \frac{V_2^2}{2g}$
– conexión abocinada	$0,05 \frac{V_2^2}{2g}$
2. De tubería a depósito (pérdida a la salida)	$1,00 \frac{V_1^2}{2g}$
3. Ensanchamiento brusco	$\frac{(V_1 - V_2)^2}{2g}$
4. Ensanchamiento gradual (véase Tabla 5)	$K \frac{(V_1 - V_2)^2}{2g}$
5. Venturímetros, boquillas y orificios	$\left(\frac{1}{c_v^2} - 1\right) \frac{V_2^2}{2g}$
6. Contracción brusca (véase Tabla 5)	$K_c \frac{V_2^2}{2g}$
7. Codos, accesorios, válvulas*	$K \frac{V^2}{2g}$
Algunos valores corrientes de $K$ son:	
45°, codo .....	0,35 a 0,45
90°, codo .....	0,50 a 0,75
Tes .....	1,50 a 2,00
Válvulas de compuerta (abierta) .....	aprox. 0,25
Válvulas de control (abierta) .....	aprox. 3,0

Anexo 5 .Parámetros de las bombas de funcionamiento constante más difundidas en el mercado.

















	Tipo de bomba	Margen de revoluciones r.p.m.	Volumen de expulsión (cm <sup>3</sup> )	Presión nominal (bar)	Rendimiento
	Bomba de engranajes externos	500 - 3500	1,2 - 250	63 - 160	0,8 - 0,91
	Bomba de engranajes internos	500 - 3500	4 - 250	160 - 250	0,8 - 0,91
	Bomba helicoidal	500 - 4000	4 - 630	25 - 160	0,7 - 0,84
	Bomba de aletas celulares	960 - 3000	5 - 160	100 - 160	0,8 - 0,93
	Bomba de émbolos axiales	..... - 3000	100	200	0,8 - 0,92
		750 - 3000	25 - 800	160 - 250	0,82 - 0,92
	Bomba de émbolos radiales	750 - 3000	25 - 800	160 - 320	0,8 - 0,92
		960 - 3000	5 - 160	160 - 320	0,90


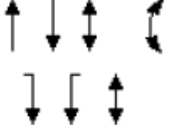

Fuente: Hidráulica FESTO\_Didactic

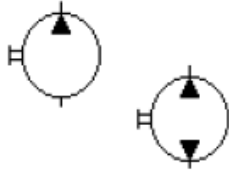
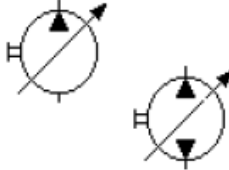
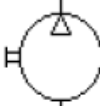
Anexo.6 Cotización por parte de la empresa OLEODINAMICA, REFACCIONES Y EQUIPOS

		<b>OLEODINAMICA, REFACCIONES Y EQUIPOS.</b>		
www.oleodinamica.com.mx		Fernando de Jesús Ortiz Yam; R.F.C. OIYF 541106 K55 C. 115 # 545-2 x 64-A y 64-B, Col. Castilla Cámara, C.P. 97278, Mérida, Yucatán. Tels. Y Faxes. 01 (999) 928-01-59 y 923-19-97		
CH MALPASO SR. JULIO CESAR S. BONILLA		FECHA: 18 DICIEM 13 COT: 123/3410/2013		
ATENDIENDO A SU AMABLE SOLICITUD LE COTIZAMOS LO SIGUIENTE :				
PART.	DESCRIPCIÓN	CAN.	PRE.UNIT.	SUB-TOTAL
1	DEPOSITO EN ACERO INOXIDABLE CON MAMPARA, TAPA, TAPON LLENADOR CON RESPIRADERO Y NIVEL DE ACEITE CON TERMOMETRO INCLUIDO	1	41.600,00	41.600,00
2	FILTRO MARCA PARKER DE MEDIANA PRESION CON ELEMENTO A 10 MICRAS	1	8.200,00	8.200,00
3	BOMBA DE PALETAS MARCA DENISON TIPO T8C	1	17.500,00	17.500,00
4	MOTOR TRIFASICO MARCA WEG 20 HP / 4 POLOS CON BRIDA	1	19.800,00	19.800,00
5	VALVULA DE SEGURIDAD MARCA DENISON MONTAJE DIRECTO A BOMBA .	1	8.100,00	8.100,00
6	VALVULA DE RETENCION DE 1,0"	1	3.400,00	3.400,00
7	MANOMETRO Y VALVULA AISLADORA	1	4.900,00	4.900,00
8	ELECTROVALVULA 4/3 BOBINAS A 120V CETOP 5 INCLUYE MONTAJE	1	9.600,00	9.600,00
9	VALVULA 3/2 OPERADA CON SEÑAL PILOTO HCA. CETOP 7 CON MONTAJE	1	11.275,00	11.275,00
10	VALVULA ESTRANGULADORA ANTIRRETORNO	1	3.900,00	3.900,00
11	VALVULA CONTRABALANCE PILOT EXTERNO	1	5.100,00	5.100,00
12	CHECK PILOTADO	1	4.500,00	4.500,00
NO INCLUYE EL PRECIO DEL CILINDRO HIDRAULICO YA QUE NO NOS PROPORCIONAN MEDIDAS .				
<b>DATOS BANCARIOS : CLABE : 0 2 1 9 1 0 0 4 0 1 4 0 8 5 6 3 3 7</b>		SUBTOTAL		137.875,00
<b>NOMBRE : FERNANDO DE JESUS ORTIZ YAM BANCO : HSBC</b>		I.V.A. 16 %		22.060,00
<b>CUENTA NO. 4 0 1 4 0 8 5 6 3 3</b>		TOTAL		159.935,00
a) - PRECIOS MAS I.V.A. b) - PRECIOS L.A.B. MERIDA, YUCATAN c) - CONDICIONES DE PAGO: CONTADO AL ORDENAR d) - TIEMPO DE ENTREGA: 5-6 SEMANAS TODO EL PEDIDO, ALGUNAS PARTIDAS A 2 SEMANAS. e) - VIGENCIA DE LA COTIZACION: 1 SEMANA. f) - FAVOR DE DEPOSITAR A NOMBRE DE : FERNANDO DE JESUS ORTIZ YAM AL NO. DE CUENTA: HSBC 4 0 1 4 0 8 5 6 3 3		ATENTAMENTE  ING. FERNANDO ORTIZ DIRECTOR GENERAL		

## Anexos 7 . Simbolos hidráulicos

Descripción	Símbolo	Aplicaciones
<b>1 Básicos</b>		
1.1 Líneas		
Continuas		Línea principal
Trazo largo		Línea secundaria
Trazo corto		Línea de drenaje o pilotaje
Doble		Conexión mecánica (eje, palanca,...)
Cadena larga		Envoltura (Límite de un conjunto)
1.2 Círculos, semicírculos		
Grande		Unidades de conversión de energía (bombas, motores, compresores...)
Mediano		Instrumentos de medida
Pequeño		Conexiones rotativas, válvulas con bola
Muy pequeño		Accionadores mecánicos
Semicírculo		Actuadores rotativos
1.3 Cuadros y rectángulos		Generalmente válvulas de control (excepto antirretornos)
1.4 Rombos		Aparatos acondicionadores (filtros, separadores, lubricadores, intercamb.)
1.5 Varios		
		Conexión entre líneas
		Muelle
		Restricción (afectada por la viscosidad)
		Restricción (no afectada por la viscos.)





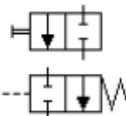
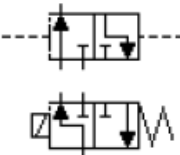
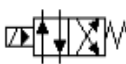
2 Funcionales		
2.1 Triángulos Sólido Hueco		Dirección del fluido hidráulico Dirección del fluido neumático
2.2 Flechas		Dirección y sentido de giro  Vías y dirección (internas en válvulas)
2.3 Flecha inclinada		Posibilidad de regulación o variación


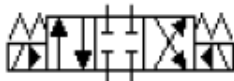
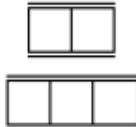
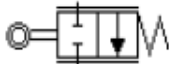
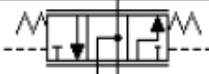
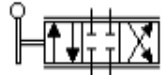
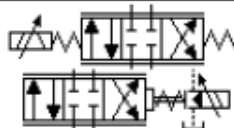
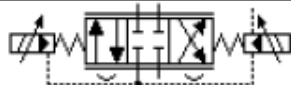
Descripción	Símbolo	Aplicaciones
3 Bombas y compresores		
3.1 Cilindrada fija		Una dirección del fluido  Dos direcciones del fluido
3.2 Cilindrada variable		Una dirección del fluido  Dos direcciones del fluido
3.3 Compresor (capacidad fija)		Siempre una dirección del fluido





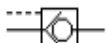
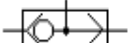
4 Motores y bomba-motor		
4.1 Cilindrada fija		<p>Una dirección del fluido</p> <p>Dos direcciones del fluido</p>
4.2 Cilindrada variable		<p>Una dirección del fluido</p> <p>Dos direcciones del fluido</p>
4.3 Oscilante		
4.4 Cilindrada fija		<p>Funciona como bomba o como motor según la dirección del flujo</p> <p>Funciona como bomba o como motor sin cambiar la dirección del flujo</p> <p>Funciona como bomba o como motor independientemente de la dirección del flujo</p>





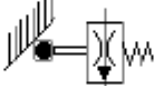



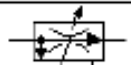
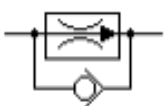




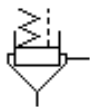

5 Cilindros		
5.1 De simple efecto		<p>Retorno por fuera sin especificar</p> <p>Retorno por muelle</p>
5.2 de doble efecto		<p>Con un vástago</p> <p>Con doble vástago</p>
5.3 Diferencial		<p>Depende de la diferencia de áreas efectivas a ambos lados del pistón</p>
5.4 Con amortiguador		<p>Amortiguador simple y fija</p> <p>Amortiguador doble y fija</p> <p>Amortiguador simple y ajustable</p> <p>Amortiguador doble y ajustable</p>
5.5 Telescópico		<p>De simple acción</p> <p>De doble acción</p>



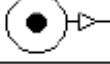
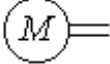
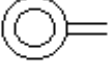




6 Válvulas de control: generalidades		
6.1 Un cuadro		Se trata de una válvula de control de presión o de caudal
6.2 Dos o más cuadros		Se trata de una válvula direccional con tantas posiciones como cuadros
6.3 Simplificado		Usado para válvulas repetitivas, el núm. remite a la válvula original
7 Válvulas direccionales: generalidades		
7.1 Pasos Cuadros que contienen líneas interiores		Un paso Dos vías cerradas Dos pasos Dos pasos y una vía cerrada Dos pasos interconectados Un paso en <i>by-pass</i> y dos vías cerradas
8 Válvulas direccionales		
8.1 Dos vías y dos posiciones		Control manual Accionada por presión
8.2 Tre vías y dos posiciones		Accionada por presión en ambos lados Accionada por solenoide y retorno por muelle
8.3 Cuatro vías y dos posiciones		Pilotada por válvula de solenoide y retorno por muelle


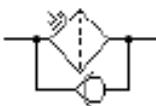




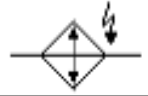
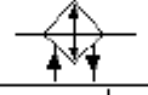











Descripción	Simbolo	Aplicaciones
<b>8 Válvulas direccionales (cont.)</b>		
8.4 Cinco vías y dos posiciones		Accionada por presión en ambos sentidos
8.5 Cuatro vías y tres posiciones		Pilotada con válvula de solenoide y centrada por muelles
<b>9 Válvulas progresivas</b> Dos posiciones extremas y un número infinito de posiciones intermedias, en función del desplazamiento		
9.1 General		Muestra las dos posiciones extremas  Muestra las dos posiciones extremas y la central (o neutral)
9.2 Dos vías		Accionada por rodillo y retorno por muelle
9.3 Tres vías		Accionada por presión y retorno por muelles
9.4 Cuatro vías		Accionada por palanca
<b>10 Servoválvulas</b>		
10.1 De una etapa		Funcionamiento directo  Con realimentación mecánica y pilotaje indirecto
10.2 De dos etapas		Con realimentación hidráulica y pilotaje indirecto






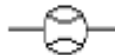

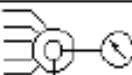
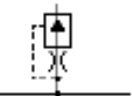




<b>11 Antirretornos</b>		
11.1 Libre		Abre si la presión de entrada es superior a la de la salida
11.2 Con muelle		Idem, más la fuerza del muelle
11.3 Paracaídas		Cierra al romperse la tubería y despresurizar
11.4 Pilotado abierto		Al pilotar se cierra el paso
11.5 Pilotado centrado		Al pilotar se abre el paso
11.6 Selector de pilotaje		Mantiene la presión en la línea de pilotaje tomándola de la línea activa

Descripción	Símbolo	Aplicaciones
12 Válvulas reguladoras de presión		
12.1 Seguridad		Directa Con pilotaje interno Con pilotaje interno y drenaje externo
12.2 Seguridad proporcional		La presión de salida queda limitada a un valor proporcional al del pilotaje
12.3 Secuencia		Abre cuando la presión de entrada vence la fuerza del muelle
12.4 Reductora		Sin descarga Sin descarga y con control remoto Con descarga Con descarga a tanque y con control remoto
12.5 Reductora diferencial		La presión de salida se reduce en una cantidad fija de la presión de entrada
12.6 Reductora proporcional		La presión de salida se reduce en relación fija a la presión de entrada
12.7 Control remoto		Controla la presión de pilotaje de la válvula principal
12.8 Puesta en vacío, descarga		Al llegar a una presión determinada conecta al tanque la línea principal

Descripción	Símbolo	Aplicaciones
<b>13 Válvulas reguladoras de caudal</b>		
13.1 Genérica		Símbolo simplificado no indica el método de control ni el estado de la válvula
13.2 Proporcional		Control manual
		Control mecánico y retorno por muelle
13.3 Reguladora		Caudal de salida constante Independiente de la presión de entrada
		Caudal de salida constante. Igual que la anterior, pero descargando al tanque el exceso de caudal
		Caudal de salida regulable
		Caudal de salida regulable y descarga a tanque
		Nota: las válvulas compensadas operan en un sólo sentido de circulación. Para caudales invrsos incluir un antirretorno
13.4 Divisora de caudal		El caudal se divide en otros dos con relaciones constantes, independientes de las variaciones de presión
13.5 Llave de bola		Funciona totalmente abierta o cerrada
13.6 Llave de paso		Funciona totalmente abierta o cerrada
13.7 Válvula de aguja		Permite restringir el caudal
<b>14 Válvulas de cartucho</b>		
14.1 Corredera normalizada		Relación de áreas = 1:1
		Relación de áreas = 1:1,1 y 1:2

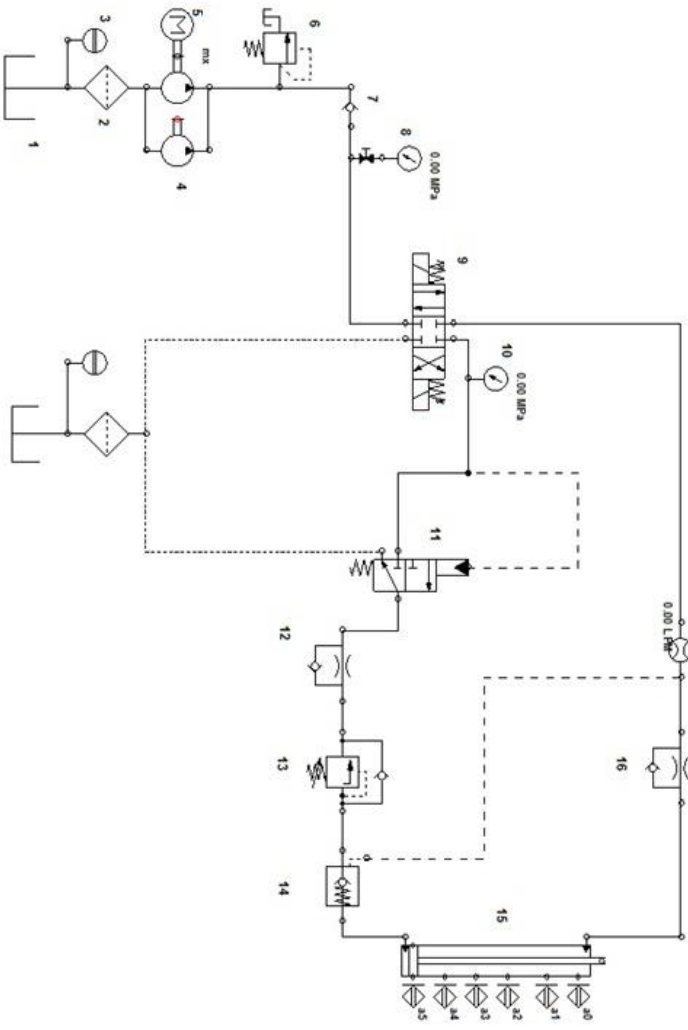
15 Fuentes de energía		
15.1 Fuentes de presión Hidráulica Neumática		Fuente de energía inespecifica
		Fuente de energía hidráulica
		Fuente de energía neumática
15.2 Motor eléctrico	 	
15.3 Motor térmico	 	
16 Acumuladores		
16.1 Neumático		El fluido se mantiene presurizado en su interior por medio de un gas comprimido
16.2 Mecánico		El fluido se mantiene presurizado en su interior por medio de un muelle

Descripción	Símbolo	Aplicaciones
<b>18 Acondicionadores</b>		
18.1 Filtro o colador		
18.2 Filtro con <i>by-pass</i>		Y con indicación de colmación
18.3 Filtro de aires		Para aireación de depósitos y filtración en cilindros de simple efecto
18.4 Tapón de llenado		Para llenados de depósitos, puede incluir un filtro de aire
18.5 Controlador de temperatura		Inespecífico
18.6 Refrigerador		Por agua
		Eléctrico
18.7 Calentador		Por agua
		Eléctrico
<b>19 Mecanismos de control</b>		
19.1 Manuales		Pulsador
		Palanca
		Pedal
19.2 Mecánicos		Seguidor
		Muelle
		Leva
		Leva unidireccional
19.3 Eléctricos		Solenoides
		Proporcional
		Motor

Descripción	Símbolo	Aplicaciones
19 Mecánicos de control (cont.)		
19.4 Hidráulicos		Por presión
		Por presión diferencial
19.5 Combinados		Hidráulico y eléctrico
20 Instrumentos de medición		
20.1 Manómetro		
20.2 Termómetro		
20.3 Caudalímetro		
21 Accesorios		
21.1 Aislador de manómetro		
21.2 Selector de manómetro		
21.3 Válvula de purga de aire		
21.4 Nivel de fluido		Simple
		Con termómetro
21.5 Presostato		
21.6 Acoplamiento elástico		



Proyecto: Diagrama Hidráulico para el funcionamiento de las compuertas obra de Toma C.H. Netzahualcóyotl



Numero de Referencia	Elemento
1	Deposito de aceite
2	Filtro
3	Medidor de nivel
4	Bomba hidráulica
5	Motor eléctrico
6	Válvula de seguridad
7	Válvula check
8	Mandometro c/válvula cierre
9	Válvula control 4/3 N.C.
10	Mandometro
11	Válvula control 3/2 N.C.
12	Válvula de estrangulación c/antirretorno
13	Válvula de contrabalance
14	Válvula check c/piloto
15	Cilindro hidráulico
16	Válvula de estrangulación c/antirretorno

Tabla de elementos que conforman el sistema oleodinámico.

