

**UNIVERSIDAD DISTRITAL "FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS" - FACULTAD TECNOLÓGICA**  
**PROYECTO CURRICULAR DE TECNOLOGÍA E INGENIERÍA MECÁNICA**  
**FORMATO DE PROYECTOS DE GRADO**

**Nº DE RADICACIÓN:** \_\_\_\_\_

**INFORMACIÓN EJECUTORES**

**Ejecutor 1**

Nombre (s):	LUÍS EMILIO
Apellido (s):	BARRERA ÁVILA
Código:	20102275003
E-mail:	lebarreraa@gmail.com
Teléfono fijo:	2987347
Celular:	3162868501



**Ejecutor 2**

Nombre (s):	SAIR ALONSO
Apellido (s):	CUELLAR PRADO
Código:	20102275007
E-mail:	saircuellar@yahoo.es
Teléfono fijo:	7312923
Celular:	3167559080



**INFORMACIÓN DEL PROYECTO**

Título del Proyecto:	Diseño y construcción de un banco de pruebas de cilindros hidráulicos para maquinaria pesada e industrial.	
Duración (estimada):	7 meses	
Tipo de Proyecto: (Marqué con una "x")	Innovación y Desarrollo Tecnológico	<input checked="" type="checkbox"/>
	Prestación y Servicios Tecnológicos	<input type="checkbox"/>
	Otro	<input type="checkbox"/>
Modalidad del Trabajo de Grado:	Proyectos Científicos y Comunitarios	
Línea de Investigación de la Facultad*:	Optimización de Procesos	
Línea de Investigación del Proyecto Curricular:	Diseño en ingeniería mecánica	
Grupo de Investigación:		
Proyecto de Investigación:		
Áreas del conocimiento que involucra:	Mecánica de fluidos, hidráulica, seguridad industrial, diseño de máquinas.	

**INFORMACIÓN PASANTÍA**

Nombre de la empresa:	
Dirección:	
Teléfonos:	
Correo electrónico:	
Página Web:	

**INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA**

Director: (Vo. Bo.)	
Proyecto de Pasantía: (Tutor): (Vo. Bo.)	
Formulación Proyecto de Grado: (Profesor): (Vo. Bo)	Ing. JOHN ALEJANDRO FORERO CASALLAS Ms.C.

## TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE FIGURAS.....	5
ÍNDICE DE TABLAS.....	6
RESUMEN.....	7
0.INTRODUCCIÓN .....	8
1.PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	9
1.1 ESTADO DEL ARTE.....	10
1.2 JUSTIFICACIÓN.....	13
2. OBJETIVOS.....	14
2.1 GENERAL.....	14
2.2 ESPECÍFICOS.....	14
3. MARCO TEÓRICO .....	15
3.1 HIDRÁULICA .....	16
3.2 OLEHIDRÁULICA.....	16
3.3 PRINCIPIOS FÍSICOS .....	16
3.3.1 Principio de Pascal.....	16
3.3.2 Ley de continuidad .....	17
3.3.3 Teorema de Bernoulli.....	18
3.3.3.1 <i>Energía estática potencial</i> .....	18
3.3.3.2 <i>Energía hidrostática</i> .....	18
3.3.3.3 <i>Energía hidrodinámica</i> .....	19
3.3.4 Potencia.....	20
3.3.5 Perdidas de carga .....	20
3.3.6 Resistencia hidráulica .....	20
3.4 DISEÑO DEL SISTEMA HIDRÁULICO .....	21
3.4.1 Estructura de bloques de una instalación oleohidráulica .....	21

3.4.2 Elementos de las instalaciones hidráulicas .....	21
3.4.2.1 Bombas.....	21
<i>Datos necesarios de las bombas</i> .....	21
<i>Tipos de bombas</i> .....	21
3.4.2.2 Deposito.....	21
3.4.2.3 Acondicionadores de aceite.....	22
3.4.2.4 Filtro .....	22
3.4.2.5 Manómetro .....	22
3.4.2.6 Red de distribución.....	22
3.4.2.7 Elementos de regulación y control.....	22
<i>Válvulas de dirección o distribuidores</i> .....	22
<i>Válvulas anti retorno</i> .....	22
Válvulas de regulación de presión y caudal .....	22
3.4.2.8 Elementos actuadores o de trabajo .....	23
<i>Cilindros</i> .....	23
<i>Cilindros de simple efecto</i> .....	23
<i>Cilindros de doble efecto</i> .....	23
<i>Presión de operación</i> .....	23
<i>Velocidad de operación</i> .....	23
<i>Requisitos de potencia</i> .....	24
<i>Empuje y arrastre</i> .....	24
3.4.2.9 Motores .....	25
4. METODOLOGÍA .....	25
4.1 Etapa de documentación .....	25
4.2 Etapa de diseño primario .....	26
4.3 Etapa de diseño secundario.....	26
4.4 Etapa de simulación.....	27
4.5 Etapa de fabricación .....	27

4.6 Etapa de elaboración de documento final .....	27
5. PRESUPUESTO Y FUENTES DE FINANCIACION .....	28
6. CRONOGRAMA .....	30
7. BIBLIOGRAFÍA .....	31
GLOSARIO .....	32

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Fórmula del volumen respecto al área y desplazamiento .....	14
Figura 2	Fórmula de presión en relación a la fuerza vrs. área .....	15
Figura 3	Presión aplicada a un fluido .....	15
Figura 4	Ley de continuidad .....	16
Figura 5	Teorema de Bernoulli .....	17
Figura 6	Elementos básicos para el funcionamiento de un sistema hidraulico..	21
Figura 7	Metodología en el proceso de diseño mecánico .....	25

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Costos mano de obra .....	28
Tabla 2. Presupuesto banco de prueba .....	28
Tabla 3. Presupuesto general proyecto.....	29

## RESUMEN

El presente documento está basado en satisfacer la necesidad de la empresa HIDRAULICOS Y CROMADOS LTDA., quienes como responsables de la fabricación y reparación de cilindros hidráulicos, pretenden garantizar su trabajo frente al cliente apoyándose en un banco de pruebas para cilindros hidráulicos para maquinaria pesada e industrial.

La meta del presente proyecto es diseñar y construir un banco de pruebas para cilindros hidráulicos de hasta una longitud de 2 metros de carrera y 0.25 metros de diámetro de pistón con capacidad de hasta 20 Mega pascales para la empresa HIDRAULICOS Y CROMADOS LTDA., ubicada en la ciudad de Bogotá. Así mismo, los resultados de éste, se documentarán dejando establecido un manual de operación y mantenimiento de la máquina que facilite su puesta en marcha.

La metodología que se aplicará para la elaboración del banco está basada en la elección correcta de todos y cada uno de los componentes del sistema final, con base en a alternativas existentes en el mercado, tanto para el sistema hidráulico como para el sistema de adquisición de datos, garantizando que la empresa HIDRAULICOS Y CROMADOS LTDA., cuente con un equipo capaz de comprobar sus cilindros hidráulicos que fabrica y repara, evitando reclamaciones por parte del cliente.

## 0. INTRODUCCIÓN

Los cilindros hidráulicos representan, dentro del conjunto de bienes del equipo, uno de los productos de uso más frecuente a nivel mundial. A medida que los cilindros son de mayor tamaño y para usos más críticos, su selección y recepción se hace más tecnificada, interviniendo no sólo el precio, sino el buen rendimiento, el comportamiento mecánico, la calidad de fabricación, etc., todo lo cual se desarrolla a partir de estudios técnicos y ensayo en banco de pruebas, y una vez ofertado, se decepciona por parte del cliente con la tranquilidad de que su equipo ha sido verificado con anterioridad.

Ante la competencia existente en el mercado de los cilindros hidráulicos, se proyecta la construcción de un nuevo banco de ensayos de cilindros hidráulicos en una empresa colombiana ubicada en la ciudad de Bogotá llamada HIDRAULICOS Y CROMADOS LTDA, que oferta la fabricación y reparación de cilindros hidráulicos para maquinaria pesada e industrial. El nuevo banco de ensayos se hace imprescindible tanto para el desarrollo del producto como para las preceptivas pruebas de recepción por parte del cliente. Dicho banco dispondrá de la potencia, capacidad y equipamiento necesarios para abordar las pruebas de recepción de modelos de cilindros con más prestaciones (más soporte de carga), satisfaciendo así las especificaciones más estrictas de las normas actuales. El banco estará preparado para dar cabida a diferentes tamaños cilindros y en él se tendrá la posibilidad de realizar ensayos de presión suponiendo la real.

El banco requerirá una bancada horizontal que permita el acoplamiento de las máquinas al circuito hidráulico, a los servicios auxiliares, a la instrumentación, y a los motores en las condiciones de robustez y rigidez necesarias. En el diseño del banco será necesario hacer un estudio preliminar de la resistencia mecánica de la bancada con el fin de evitar posibles accidentes y averías. Para ello se llevará a cabo un estudio de las tensiones y los desplazamientos que aparecen en la misma realizándose una simulación, proceso que consiste en construir modelos, mediante un programa informático, que describen la parte esencial del comportamiento de un sistema de interés, así como en diseñar y realizar experimentos con el modelo y extraer conclusiones de sus resultados, también se debe realizar un estudio para determinar si la capacidad que tiene la unidad hidráulica que posee la empresa cumple con los requerimientos que exige el diseño.



## 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los inconvenientes que los clientes han tenido a causa de los imperfectos que ocasionalmente se presentan en los cilindros hidráulicos que son reparados en la empresa HIDRAULICOS Y CROMADOS LTDA son causa de molestia, pérdida de tiempo y dinero por falta de operatividad de la máquina a la cual pertenece el componente. Esta serie de sucesos genera inconformidad y por consiguiente un desprestigio del trabajo realizado en cuanto a la calidad.

Aunque la respuesta por parte de la empresa prestadora del servicio es inmediata para dar solución al problema, se necesita un sistema confiable de verificación de los elementos reparados para que cumplan con todos los requerimientos técnicos, y así garantizar su buen funcionamiento; de esta manera, se evitara quejas y reclamos por trabajos defectuosos.

En vista de la problemática mencionada, se debe construir e implementar un *banco de pruebas para cilindros hidráulicos para maquinaria pesada e industrial* que proveerá a la empresa un gran beneficio en cuanto a reducción de tiempo de entrega, así como, la satisfacción de retornar al cliente su componente reparado en una condición excelente, listo para ser instalado en su máquina.

El cliente obtendrá una garantía única en cuanto a la calidad del servicio, porque sabrá que su componente no le fallará debido a que ha sido probado con anterioridad simulando el trabajo como si estuviera en operación real. Esto también evitará reclamos del cliente, si él hace un proceso erróneo en la instalación o un mal manejo del elemento reparado.

## 1.1 ESTADO DEL ARTE

En los últimos tiempos, se ha empezado a hablar del concepto de confiabilidad, en la medida que se comprendió que no era suficiente lograr una alta disponibilidad, sino también disminuir al mínimo la probabilidad de falla de las máquinas durante su operación, es decir, lograr un alto estándar de calidad. Las consecuencias de una falla pueden generar un lucro cesante o pérdida de producción, pasando por las horas de mano de obra improductivas, hasta la degradación y rotura de las propias máquinas. Una alta disponibilidad no implica necesariamente una alta confiabilidad, pero una alta confiabilidad si implica una buena disponibilidad y seguridad, en la medida que la maquinaria presenta una baja probabilidad de falla. Para el caso de la maquinaria pesada, la disponibilidad será el producto de la confiabilidad individual de cada sistema que la compone<sup>1</sup>.

Se entiende por maquinaria pesada a toda maquinaria móvil, diesel – hidráulica y diesel – eléctrica, tal como: maquinaria vial, agrícola, para minería, equipamiento portuario, entre otras que son utilizadas en la construcción, minería, transporte, sector naval y portuario. Dicha maquinaria está constituida por una serie de sistemas mecánicos, como motores, compresores de aire, cajas de engranajes, y por circuitos hidráulicos.<sup>2</sup>

Al tener que reparar o fabricar cilindros hidráulicos para maquinaria pesada o industrial que operan en condiciones específicas, y que en la mayoría de las veces se encuentran en campo abierto en donde el costo de operación y el cumplimiento de la obra es tema fundamental, es indispensable garantizar el trabajo que se realiza al proceso de mantenimiento de los componentes en mención, ya que de éste depende que no se presenten inconvenientes que lleguen a retrasar la programación establecida para la reparación y puesta en marcha de la máquina. Por esta razón, es necesario contar con un sistema que sea capaz de verificar la funcionabilidad del equipo reparado antes de que éste salga de la empresa.

Este tipo de situaciones ha llevado a que las empresas desarrollen tecnologías para detectar y corregir las fallas que se producen en diversos componentes de

---

<sup>1</sup>. Carolina Altmann, El análisis de aceite como herramienta del mantenimiento proactivo en flotas de maquinaria pesada. Disponible en [http://widman.biz/boletines\\_informativos/lubricacion\\_ca.pdf](http://widman.biz/boletines_informativos/lubricacion_ca.pdf). pág. 1

<sup>2</sup>Ibíd. , pág. 2

la maquina. Actualmente se encuentran a disposición diversos mecanismos que evalúan el comportamiento de diferentes componentes hidráulicos simulando condiciones reales de trabajo. Las investigaciones han llegado a tal punto que es posible analizar las deformaciones a las cuales está sometido un cilindro hidráulico al someterlo a una carga determinada, un ejemplo de este tipo es una investigación realizada en la Universidad Politécnica de Cataluña (UPC), por los ingenieros Esteva Codina, MunirKhamastha y el colombiano Edgar Salazar, quienes diseñaron un banco de pruebas de pandeo de cilindros oleo hidráulicos, el cual permite el montaje de una alta gama de dimensiones, arrojando datos que permiten determinar su comportamiento bajo carga de acuerdo con la norma ISO/ TS 13725.<sup>3</sup>

Otros estudios de aplicación relacionados con el tema se trabajan en la industria LJM en Dinamarca, cuyo proceso se especializa en construir cilindros hidráulicos para la industria de los aerogeneradores en la cual los clientes hacen grandes demandas en lo que respecta a la limpieza de los cilindros. La clase ISO 15/13/11 es un requerimiento mínimo. Durante la soldadura, mecanizado y montaje de los cilindros hidráulicos se introducen grandes cantidades de suciedad y de partículas. A fin de impedir estos problemas y satisfacer los requerimientos del fabricante de aerogeneradores es necesario limpiar los cilindros antes de utilizarlos. Como solución la industria CJC diseño un banco de pruebas en el cual se filtra el aceite con un filtro fino HDU 27/54 CJC™ y se analiza por un contador de partículas UCC integrado en el banco. El banco de pruebas funciona automáticamente y cuando el aceite de salida del cilindro alcanza la clase de limpieza requerida el contador UCC envía una señal al banco de pruebas y la prueba se detiene. Al mismo tiempo se imprime el recuento de partículas como documentación de que el cilindro ha alcanzado el código de limpieza requerido. Esta documentación se entrega con el cilindro al cliente como una garantía de que el cilindro ha sido probado y limpiado de acuerdo a sus requerimientos.<sup>4</sup>

A nivel suramericano se encuentra la empresa EMGESA S.A. de Chile, que cuenta con un banco de pruebas de elementos oleo hidráulicos (bombas, motores, válvulas y cilindros) con capacidad de simulación de carga, velocidad o ciclo de trabajo real, control de variables y rendimiento.

---

<sup>3</sup>. C. Esteve, S. Edgar, "Capacidad de carga de cilindros oleo hidráulicos: Norma ISO/TS 13725," ScientiaetTechnica, vol. 29, pp. 163-168, Dic. 2005.

<sup>4</sup>C.C.JENSEN IBÉRICA, S.L. (2005, Febrero 23).Aceite hidráulico, lavado y bancos de pruebas. [En línea], español. Disponible en "http://www.cjc.dk/fileadmin/user\_upload/pdf/CJC\_Application\_Studies/AS\_Spanish/ Industria\_AceiteHidraulico\_LavadoBancosPruebas\_ASIN5041ES.pdf", [2012, Enero 04].

Para la prueba de bombas cuentan con un sistema computarizado capaz de mantener la velocidad constante a medida que varían las condiciones. El sistema también genera un informe automatizado a partir de los valores emitidos por los sensores medidores de caudal, presión, temperatura y velocidad, que evita posibilidades de error y garantiza la veracidad de los valores obtenidos. Este informe permite tener una visión real del funcionamiento de los componentes reparados y así asegurar la calidad del trabajo.

En Colombia existen empresas que cuentan con equipos capaces de simular las condiciones de carga y presión de los cilindros hidráulicos que se han reparado para que estos queden verificados antes de la entrega final, como por ejemplo el banco de pruebas con el que cuenta la empresa General de equipos de Colombia, GECOLSA S.A. en sus instalaciones para los procesos de ensayo<sup>5</sup>. De aquí se desprende la importancia de la decisión de impulsar la expansión del sector industrial, para la consecución de un desarrollo tecnológico autónomo que utilice los recursos que se tengan en el país.

La empresa HIDRÁULICOS Y CROMADOS LTDA en sus siete años de experiencia ha demostrado la calidad de sus servicios al reparar y fabricar cilindros hidráulicos para maquinaria pesada e industrial utilizados frecuentemente en la industria petrolera, de construcción y remoción de tierra, entre otras. Sin embargo, en el último año han sufrido una serie de dificultades relacionadas directamente con la verificación de los equipos que se reparan ya que no se cuenta con un banco de pruebas apropiado para tal fin, lo que provoca una inconformidad en el cliente. Además, en vista de que subcontratar el servicio de comprobación en un banco de pruebas es inoficioso y genera un sobre costo, hace decaer el nombre que comercialmente ya tiene la empresa; por eso es conveniente y preciso tener un propio equipo de pruebas en la empresa que permita verificar los componentes reparados a todos sus clientes.

De esta misma manera, muchas de las empresas dedicadas al mantenimiento de componentes hidráulicos a nivel nacional optan por invertir en el área, implementando bancos de pruebas con el fin de fortalecer y generar confiabilidad al cliente en los procesos de reparación de sus máquinas. Por consiguiente, es indispensable que la empresa HIDRÁULICOS Y CROMADOS LTDA posea su propio equipo de pruebas para poder competir con el mercado existente.

---

<sup>5</sup><http://www.gecolsa.com.co/irj/portal/>

## 1.2 JUSTIFICACIÓN

La importancia de llevar a cabo este proyecto de crear *banco de pruebas para cilindros hidráulicos para maquinaria pesada e industrial* viene fundamentada en varios aspectos como la calidad, reducción de costos y confiabilidad.

La ventaja de poseer un banco como éste es que se podrá someter a los cilindros hidráulicos a pruebas de operación antes de entregarlo al cliente. Gracias a esto se garantiza un trabajo de calidad y con un certificado de funcionamiento del componente, además, se previenen devoluciones que implican pérdidas de tiempo y dinero ocasionados por defectos en los elementos reparados, ya que si se detecta una anomalía en el momento de la prueba se puede corregir sin necesidad de esperar a que el cilindro este operando en la máquina.

Actualmente los trabajos que se realizan en el taller no se someten a un proceso de comprobación riguroso debido a que no se simulan las condiciones normales de operación como son la presión, el caudal, la fuerza de trabajo y la temperatura; por lo tanto, el servicio prestado por la empresa no tiene un alto grado de confiabilidad.

El equipo es necesario debido a que con él se podrá probar las condiciones reales de trabajo limitadas en rangos de presiones que alcanzan los 20MPa, los cilindros que se consideran pueden tener una carrera máxima de 2 m con un diámetro de pistón máximo de 0.25m debido a la configuración y capacidad de la unidad del sistema hidráulico que posee la empresa.

Finalmente, un punto importante considerado es que el *banco de pruebas para cilindros hidráulicos para maquinaria pesada e industrial* podría ser ampliado en capacidad y funcionalidad de acuerdo a las necesidades de la empresa a futuro.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 GENERAL**

Diseñar y construir un banco de pruebas para cilindros hidráulicos de maquinaria pesada e industrial.

### **2.2 ESPECÍFICOS**

- Describir el proceso de diseño del banco de pruebas.
- Diseñar el sistema hidráulico para el banco de pruebas.
- Definir los costos de fabricación.
- Realizar la construcción del banco de pruebas.
- Aplicar procedimientos que permitan identificar y registrar acciones que evalúen el desempeño del banco de pruebas.
- Realizar un análisis financiero que permita comparar la viabilidad respecto a otros tipos de diseño.

### 3. MARCO TEÓRICO

#### 3.1 HIDRÁULICA

La hidráulica es una rama de la física y la ingeniería que se relaciona con el estudio de las propiedades mecánicas de los fluidos.

La hidráulica es la aplicación de la mecánica de fluidos en ingeniería, para construir dispositivos que funcionan con líquidos, por lo general agua o aceite. La hidráulica resuelve problemas como el flujo de fluidos por conductos o canales abiertos y el diseño de presas de embalse, bombas y turbinas. Su fundamento es el principio de Pascal, que establece que la presión aplicada en un punto de un fluido se transmite con la misma intensidad a cada punto del mismo.

$$V = \frac{dx}{dt}$$

$$X = \frac{Vol}{A}$$

$$\frac{dx}{dt} = \frac{dVol}{A dt}$$

$$V = \frac{1}{A} \frac{dVol}{dt} = \frac{1}{A} \frac{1}{p} \frac{dM}{dt} = \frac{1}{Ap} Q$$

Ec. 1

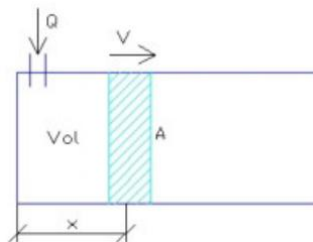


Figura 1. Fórmula del volumen respecto al área y desplazamiento.

La velocidad del pistón es controlable: por tanto regulando el caudal entrante al cilindro o saliente, mediante una válvula de estrangulación. Sin embargo, el

caudal entrante o saliente no depende sólo de la posición de la válvula de estrangulación, sino también de la carga pues debe cumplirse:

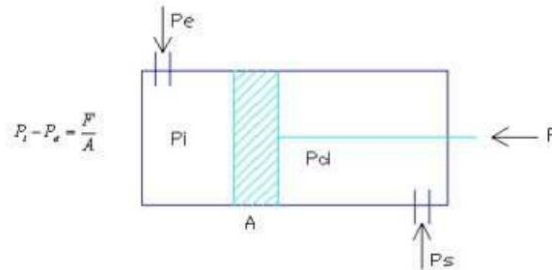


Figura 2. Fórmula de presión en relación a la fuerza vrs. Área.

Con lo cual, como una de las presiones  $P_i$  o  $P_d$  será fija ( $P_i = P_e$  con estrangulación en la salida,  $P_d = P_s$  con estrangulación en la entrada), la otra dependerá de la carga  $F$  y por tanto el valor de  $F$  afectará al caudal circulante.

## 3.2 OLEOHIDRÁULICA

La oleo hidráulica o técnica del aceite comprimido en la industria moderna ha crecido debido a las ventajas tales como la versatilidad, implantación simple, silenciosa y de control sencillo tanto de la fuerza, como de los pares de giro y de la velocidad de los mecanismos que componen las maquinas. Una ventaja adicional son las elevadas presiones de trabajo que permiten transmitir grandes esfuerzos o pares de rotación a través de actuadores lineales concebidos para este fin como motores o cilindros hidráulicos. A esto debemos sumar la posibilidad del manejo mediante automatización de los componentes principales que posee el circuito<sup>6</sup>.

## 3.3 PRINCIPIOS FÍSICOS

### 3.3.1 Principio de Pascal

La presión aplicada a un fluido confinado se transmite íntegramente en todas las direcciones y ejerce fuerzas iguales sobre áreas iguales, actuando estas fuerzas normalmente a las paredes del recipiente.

<sup>6</sup> Roca Ravel, felip. Oleo hidráulica básica – Diseño de circuitos. Madrid: Edición UPC, 1997





Figura 3. Presión aplicada a un fluido.

$$p_1 = \frac{F_1}{A_1} p_2 = \frac{F_2}{A_2}$$

$$p_1 = p_2 \frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2}$$

Ec. 2

En cuanto a los desplazamientos de los émbolos, como el volumen de líquido que sale del cilindro 1 es igual al que entra en el cilindro 2

$$V_1 = A_1 * l_1 V_2 = A_2 * l_2$$

$$V_1 = V_2 A_1 * l_1 = A_2 * l_2$$

Ec.3

$l_1$ desplazamiento del émbolo 1

$l_2$ desplazamiento del émbolo 2

### 3.3.2 Ley de continuidad

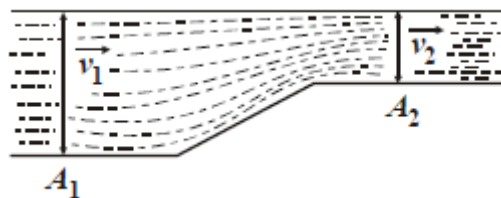


Figura 4. Ley de continuidad.

Considerando a los líquidos como incomprensibles y con densidades constantes, por cada sección de un tubo pasará el mismo caudal por unidad de tiempo.

$$Q_1 = \frac{V_1}{t} = \frac{A_1 * l_1}{t} = A_1 * V_1$$

$$Q_2 = \frac{V_2}{t} = \frac{A_2 * l_2}{t} = A_2 * V_2$$

$$Q_1 = Q_2 \Rightarrow A_1 * V_1 = A_2 * V_2 \quad \text{ley de continuidad}$$

Ec. 4

Cuando las secciones de las conducciones son circulares.

$$D_1^2 * V_1 = D_2^2 * V_2$$

Ec.5

Donde la velocidad varía de forma inversamente proporcional al cuadrado del diámetro.

### 3.3.3 Teorema de Bernoulli

Si consideramos dos secciones en un mismo conductor, podemos establecer el siguiente balance energético:

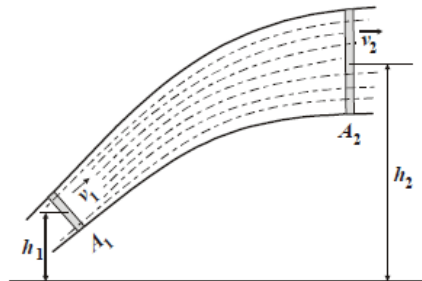


Figura 5. Teorema de Bernoulli.

**3.3.3.1 Energía estática potencial:** depende de la masa y la posición relativa de esa masa.

$$m * g * h_1 \rightarrow m * g * h_2$$

Ec. 6

**3.3.3.2 Energía hidrostática debida a la presión:** determina el trabajo desarrollado en cada momento

$$p_1 * A_1 * l_1 = F_1 * l_1 = W_1 \quad p_2 * A_2 * l_2 = F_2 * l_2 = W_2$$

Ec. 7

**3.3.3.3 Energía hidrodinámica:** es debida a la energía cinética del fluido, por lo tanto depende de la velocidad.

$$\frac{1}{2} m * V_1^2 \rightarrow \frac{1}{2} m * V_2^2$$

Ec. 8

Si consideramos dos secciones diferentes, tal y como se indican en la figura anterior, y sumamos todas las energías que entran en juego:

$$m * g * h_1 + p_1 * A_1 * l_1 + \frac{1}{2} * m * v_1^2 = m * g * h_2 + p_2 * A_2 * l_2 + \frac{1}{2} * m * v_2^2$$

Ec. 9

Como  $A * l$  es el volumen desplazado del fluido, y como

$$V_1 = V_2 = V_{yp} = \frac{m}{\rho} \rightarrow m = \rho * V$$

Ec. 10

quedaría:

$$\rho * g * h_1 + p_1 + \frac{1}{2} * \rho * v_1^2 = \rho * g * h_2 + p_2 + \frac{1}{2} * \rho * v_2^2$$

Ec. 11

denominada ecuación de Bernouilli.

En instalaciones horizontales, la variación de energía potencial es cero, por lo que:

$$p_1 + \frac{1}{2} * \rho * v_1^2 = p_2 + \frac{1}{2} * \rho * v_2^2$$

Ec. 12

Por lo tanto, si disminuye la velocidad, debe aumentar la presión para que la igualdad se mantenga. Por otra parte, como la masa de fluido en una determinada sección es pequeña, la energía cinética, aunque tengamos

velocidades considerables, es despreciable en instalaciones de este tipo. El transporte de energía es función de la presión a que sometemos el fluido<sup>7</sup>.

### 3.3.4 Potencia ( $P$ )

La potencia necesaria de la bomba es función de:

$$P = \frac{p * Q}{\eta}$$

Ec. 13

$P$  = Potencia en **W**

$p$  = Presión en **N/m<sup>2</sup> = Pa**

$Q$  = Caudal en **m<sup>3</sup>/s**

$\eta$  = Rendimiento de la bomba **en tanto por uno**

### 3.3.5 Pérdidas de carga ( $h_f$ )

Tanto en régimen laminar como turbulento, representa la disminución de presión que experimenta un líquido al circular por un conductor.

$$h_f = \Psi * \frac{l * V^2}{2 * g * D}$$

Ec. 14

$h_f$  = Pérdida de carga expresada en altura de columna de líquido

$l$  = Longitud del conducto

$D$  = Diámetro del conducto

$v$  = Velocidad del líquido

$g$  = Constante de gravedad

$\Psi$  = Coeficiente de fricción.

En el caso de régimen laminar

$$\psi = \frac{64}{R_e}$$

Ec. 15

### 3.3.6 Resistencia hidráulica ( $R$ )

Es la resistencia que oponen los elementos del circuito hidráulico al paso del líquido.

$$R = \frac{\Delta p}{Q}$$

Ec. 16

---

<sup>7</sup> Roca Ravel, felip. Oleo hidráulica básica – Diseño de circuitos. Madrid: Edición UPC, 1997  
20

### 3.4 DISEÑO DEL SISTEMA HIDRÁULICO

En los sistemas hidráulicos básicamente se transforma energía mecánica en energía hidráulica. El fluido es solo un medio de transporte en el cual se puede regular y comandar la energía, para que sea nuevamente transformada en energía mecánica.

#### 3.4.1 Estructura de bloques de una instalación oleo hidráulica

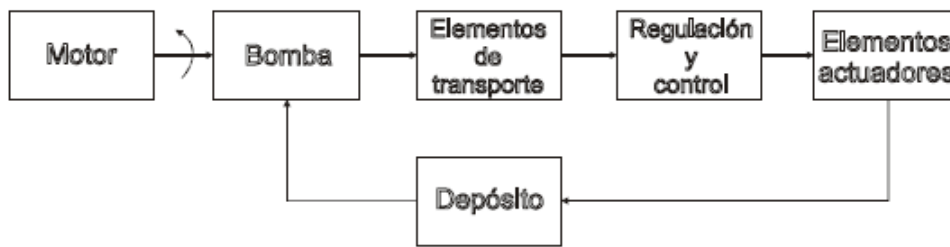


Figura 6. Elementos básicos para el funcionamiento de un sistema hidráulico

Fuente: Principios de hidráulica y neumática. Pág. 90

#### 3.4.2 Elementos de las instalaciones hidráulicas

##### 3.4.2.1 Bombas

Nos proporcionan una presión y caudal adecuado de líquido a la instalación.

##### **Datos necesarios de las bombas**

- Caudal que proporciona
- Presión de trabajo

##### **Tipos de bombas**

- De émbolo
- Rotativas

##### 3.4.2.2 Depósito

Su misión es recuperar el fluido después de usarlo y mantener un nivel adecuado al uso de la instalación.

### **3.4.2.3 Acondicionadores del aceite**

Son dispositivos que nos permiten mantener el aceite en unas condiciones de limpieza adecuadas al uso de los elementos de la instalación, de tal manera, que alarga la vida de ésta. Estos elementos son:

#### **3.4.2.4 Filtro**

Es el encargado de retirar del aceite las partículas sólidas en suspensión (trozos de metal, plásticos, etc.)

#### **3.4.2.5 Manómetro**

Se pone después de la bomba e indica la presión de trabajo.

#### **3.4.2.6 Red de distribución**

Debe garantizar la presión y velocidad del aceite en todos los puntos de uso. En las instalaciones oleo hidráulicas, al contrario de las neumáticas, es necesario un circuito de retorno de fluido, ya que este se vuelve a utilizar una y otra vez.

El material utilizado suele ser acero o plástico reforzado y depende de su uso.

#### **3.4.2.7 Elementos de regulación y control**

Son los encargados de regular el paso del aceite desde las bombas a los elementos actuadores. Estos elementos, que se denominan válvulas, pueden ser activados de diversas formas: manualmente, por circuitos eléctricos, neumáticos, hidráulicos o mecánicos. La clasificación de estas válvulas se puede hacer en tres grandes grupos:

##### ***Válvulas de dirección o distribuidores***

Estos elementos se definen por el número de orificios (vías) y las posiciones posibles, así como por su forma de activación y desactivación.

##### ***Válvulas anti retorno***

Permiten el paso del aceite en un determinado sentido, quedando bloqueado en sentido contrario.

##### ***Válvulas de regulación de presión y caudal***

Son elementos que, en una misma instalación hidráulica, nos permiten disponer de diferentes presiones y caudales. Pueden ser estranguladoras, temporizadoras, etc. Y se utilizan para modificar la velocidad de los elementos actuadores, también llamados de trabajo.

### **3.4.2.8 Elementos actuadores o de trabajo**

Son los encargados de transformar la energía oleo hidráulica en otra energía, generalmente de tipo mecánico. Los podemos clasificar en dos grandes grupos: cilindros y motores.

#### ***Cilindros***

Transforman la energía oleo hidráulica en energía mecánica con un movimiento rectilíneo alternativo. Los hay de dos tipos:

#### ***Cilindros de simple efecto***

Sólo realizan trabajo útil en un sentido de desplazamiento de vástago. Para que el émbolo recupere la posición de reposo se dota al cilindro de un muelle. Normalmente este muelle está diseñado para almacenar el 6% de la fuerza de empuje, o bien, como es el caso de los elevadores hidráulicos, aprovechan la acción de la gravedad.

#### ***Cilindro de doble efecto***

Estos elementos pueden realizar trabajo en ambos sentidos de desplazamiento. Sin embargo hay que tener en cuenta que la fuerza de avance y retroceso es diferente, ya que en un sentido hay que tener en cuenta el diámetro del vástago.

#### ***Presión de operación***

La presión de operación de un cilindro puede variar según la aplicación.

#### ***Velocidad de operación***

La velocidad de operación de los cilindros hidráulicos varía según el volumen del cilindro y los galones por minuto (gpm) de la bomba hidráulica en uso. Si la salida en gpm de la bomba y las dimensiones del cilindro son conocidas, se puede usar la siguiente fórmula para determinar el tiempo de operación (en segundos) de un cilindro para pasar de cerrado ha abierto totalmente:

- $T = (60 \times \text{flujo (galones de EE.UU.)}) / (\text{capacidad de la bomba (gpm)})$
- El tiempo de cierre es ligeramente más rápido debido al volumen del cilindro que ocupa la varilla. Para asegurar un mantenimiento mínimo y evitar la rotura de piezas, no seleccione nunca un cilindro que opere a una velocidad superior a la recomendada por el implemento o su aplicación.

### **Requisitos de potencia**

La siguiente fórmula sirve para calcular los requisitos de potencia aproximada (hp) para aplicaciones hidráulicas:

$$HP = \frac{(0,6 * \text{capacidad de la bomba (gpm)} \times \text{lb} - \text{plg}^2)}{1000}$$

Ec. 17

### **Empuje y arrastre**

La fuerza de empuje, también denominada fuerza de empuje y arrastre, es la fuerza que el cilindro ejerce expresada en libras. El empuje es la fuerza ejercida en la varilla del pistón cuando se aplica presión sobre el diámetro completo del pistón. El arrastre es la fuerza ejercida en la varilla del pistón cuando se aplica presión directamente sobre el lado de la varilla del pistón. El arrastre es siempre menor que el empuje por la reducción del área del cilindro debida a la presencia de la varilla del cilindro.

Para averiguar la capacidad exacta de empuje de un cilindro, multiplique las pulgadas cuadradas del área de la cara del pistón ( $A_{cp}$ ) por la presión del cilindro ( $P_c$ ) expresada en libras por pulgada cuadrada.

$$E = A_{cp} * P_c$$

Ec. 18

Para averiguar la capacidad de arrastre exacta, utilice la misma fórmula, pero reste el área de la varilla ( $A_v$ ) en pulgadas cuadradas del área de la cara del pistón

$$A = (A_{cp} - A_v) P_c$$

Ec.19

Cuando se puedan instalar de forma segura cilindros nuevos de diferente tamaño para operar un implemento, es muy importante utilizar un factor de seguridad en el diseño y fabricación de los soportes de montaje de los nuevos cilindros. Ese factor de seguridad debe considerar la presión máxima de alivio del sistema hidráulico, así como las posibles sobrecargas.



### 3.4.2.9 Motores

Son elementos que transforman la energía oleo hidráulica en energía mecánica de rotación. Los hay en diversos tipos, entre los que cabe destacar de engranajes, de pastones rotativos de espas.

## 4. METODOLOGÍA

Para el desarrollo del presente trabajo, se llevarán a cabo una serie de etapas, siguiendo un orden lógico que sea consecuente con el proceso de diseño y además que permitan llegar fácilmente al objetivo final. De igual forma se aplicarán algunas metodologías de Francesc Maña, quien plantea un mapa de técnicas que se muestran en la figura 7.

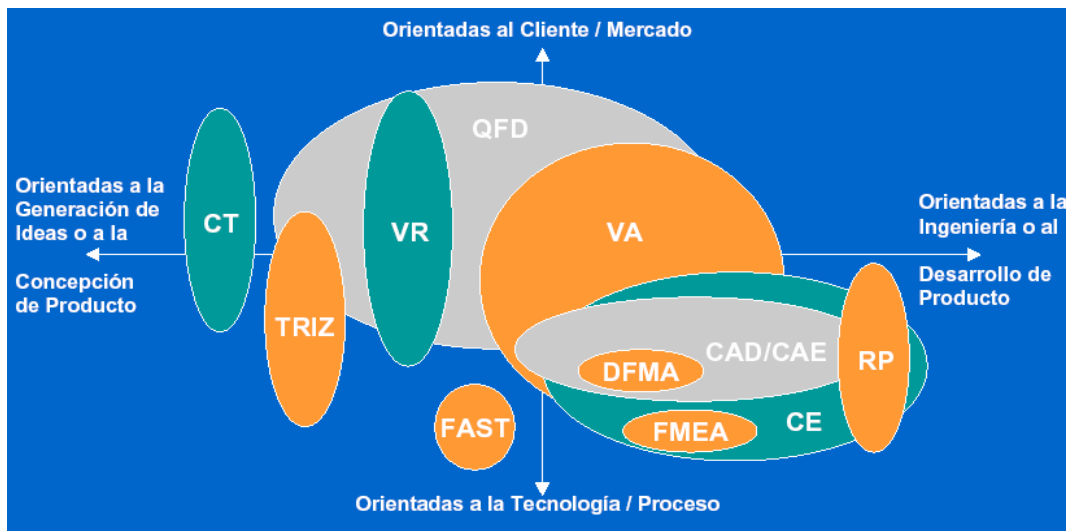


Figura 7. Metodologías en el proceso de diseño mecánico.

Fuente: Maña F. Herramientas y técnicas de gestión de la innovación para la creación de valor. pág. 23

### 4.1 Etapa de documentación

La primera etapa inicia con la identificación de los requerimientos del cliente, en este caso de la empresa HIDRAULICOS Y CROMADOS LTDA, que permita identificar los límites del diseño, funciones y condiciones de trabajo.

Luego de generar las ideas de posibles soluciones se hace un (TRIZ) donde se consulta todo lo relacionado con los bancos de pruebas de cilindros, se documenta, se organiza y se clasifica la información con el fin de poder tener acceso a ella fácilmente en los pasos siguientes.

## **4.2 Etapa de diseño primario**

Luego de analizar la información recopilada se procede a decidir cuáles serán los sistemas que pueden solucionar los requerimientos del cliente HIDRAULICOS Y CROMADOS LTDA.

Se elabora una matriz QFD<sup>8</sup> con el fin de reconocer objetivamente todos aquellos aspectos que determinan los requerimientos del cliente para posteriormente convertirlos en pasos sucesivos que lleven al diseño detallado del producto.<sup>9</sup>

Teniendo en cuenta los resultados mostrados por esta matriz se evaluarán los parámetros que determinan la viabilidad del diseño tales como los costos, materiales, diseño etc. y se procederá a examinar y contemplar los primeros bosquejos del banco de pruebas.

Se obtendrán varios diseños que cumplan con los requerimientos de la empresa y también con la normatividad del país establecida para este tipo de maquinas. Se comenzaran a evaluar los puntos a favor y en contra de cada uno de ellos mediante otra matriz QFD y las que presenten mejores condiciones seguirán a una evaluación más profunda.

## **4.3 Etapa de diseño secundario**

Los bosquejos obtenidos en la etapa primaria de diseño que presentaron las mejores condiciones en la matriz QFD, continúan a una evaluación detallada.

Se procede a realizar los cálculos que están inmersos en el diseño como resistencia de materiales, mecánica de fluidos, diseño del sistema de control, perdidas eléctricas, mecánicas, temperatura y presión, y así definir cuál de las alternativas se acopla de mejor manera a los requerimientos de la empresa HIDRAULICOS Y CROMADOS LTDA

---

<sup>8</sup>Despliegue de la función calidad (QualityFunctionDeployment)

<sup>9</sup>Yacuzzi& Martín (2000) Qfd: conceptos, aplicaciones y nuevos desarrollos (Universidad del CEMA)

#### **4.4 Etapa de simulación**

Luego de calculadas las variables se procede a incluir e interrelacionar los diferentes resultados en el software de simulación que corresponde.

En Solid Works se realizará la construcción de los componentes de la estructura elegida con base en los cálculos de resistencia de materiales, luego se apreciarán las cargas experimentadas por todas las partes de la estructura, y se generarán los planos de los diversos elementos y del conjunto como tal.

Luego de haber definido el sistema se procede a utilizar un simulador para entrelazar el diseño hidráulico establecido en la fase anterior.

#### **4.5 Etapa de fabricación**

Después de haber realizado la simulación, se procede a la fabricación del banco de pruebas, basado en el concepto de diseño robusto, teniendo en cuenta la disponibilidad económica y el apoyo de la empresa HIDRAULICOS Y CROMADOS LTDA.

Por último se realizarán pruebas a los componentes fabricados y reparados por la empresa en el banco de pruebas, que demuestren su buen funcionamiento y puesta a punto, con el fin de llevarlo al laboratorio para obtener el certificado de calibración según normas de la Organización Nacional de Acreditación (ONAC).

#### **4.6 Etapa de elaboración de documento final**

En esta etapa del proyecto se elabora el manual del banco de pruebas para cilindros hidráulicos para maquinaria pesada e industrial, en el cual se consigna el modo de instalación, preparación para las pruebas, operación, interpretación de resultados, mantenimiento y planos del conjunto y sus componentes.

Como parte complementaria se realiza la redacción y revisión del documento de tesis de grado para optar al título de Ingeniero Mecánico, siguiendo las normas para presentación de trabajos escritos.

## 5. PRESUPUESTO Y FUENTES DE FINANCIACIÓN

Tabla 1. Costos académicos

<b>COSTOS ACADEMICOS</b>				
<b>DESCRIPCION</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Dedicación semanal</b>	<b>Valor Hora</b>	<b>Costo personal</b>
		<b>Horas</b>	<b>Pesos</b>	<b>Pesos</b>
Autores del proyecto	2	16	\$ 17.000	\$ 15.232.000
Profesor	1	0,5	\$ 50.000	\$ 700.000
Director o tutor interno	1	1	\$ 50.000	\$ 1.400.000
Fotocopias	250		\$ 50	\$ 12.500
Internet		15	\$ 1.000	\$ 420.000
			<b>TOTAL</b>	<b>\$ 17.764.500</b>

Tabla 2. Presupuesto banco de pruebas

<b>PRESUPUESTO PARA BANCO DE PRUEBAS</b>		
<b>COMPONENTE HIDRAULICO</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>COSTO</b>
Bomba 12 g.p.m montaje SAE a 1.800 r.p.m. giro derecho	1	\$655.800
Motor eléctrico 25 h.p a 1.800 rpm montaje ejecución b5	1	\$3.780.600
Acople campana	1	\$265.300
Acople flexible	1	\$245.000
Filtro de succión 2" npt	1	\$180.800
Tapa de llenado con filtro	1	\$657.000
Manómetro glicerina	2	\$90.000
Filtro de retorno	1	\$385.000
Manifold cetop 5 4 estaciones	1	\$575.000
Válvula de alivio cetop 5	1	\$312.000
Válvula 4/2 cetop 5	1	\$313.300
Válvula desviadora de caudal 1/2npt	1	\$313.200
Válvula control de flujo cetop 5	3	\$950.000
Electro válvula 4/3 cetop 5 220v	3	\$1.320.000
Tanque con capacidad para 80 galones	1	\$1.350.000
Mangueras hidráulicas de conexión y prueba	20m	\$1.400.000
Cilindro hidráulicos de carga	1	\$6.500.000
Mandos eléctricos	4	\$260.000
Estructura de soporte ( chasis)	1	\$4.600.000
	<b>TOTAL</b>	<b>\$28.974.600</b>

Tabla 3.Presupuesto general del proyecto

<b>PRESUPUESTO GENERAL DEL PROYECTO</b>		
Duración estimada en meses		7
Semanas		28
<b>DESCRIPCION</b>	<b>Costo asociado</b>	<b>Fuentes de financiación</b>
Costos académicos	\$ 15.232.000	Personal
Costos académicos	\$ 700.000	Institucional
Gastos generales	\$ 1.400.000	Institucional
Software o equipo de apoyo	\$ 1.100.000	Personal
Banco de pruebas	\$ 28.974.600	Empresarial
Proceso de manufactura	\$ 3.570.000	Empresarial
Certificado de calibración de instrumentos	\$ 1.500.000	Personal
<b>Subtotal</b>	<b>\$ 52.476.600</b>	
<b>7%</b>	Imprevistos	\$ 3.673.362
<b>TOTAL PRESUPUESTADO</b>	<b>\$ 56.149.962</b>	

## 6. CRONOGRAMA

ETAPA	ACTIVIDAD	ENERO			FEBRERO				MARZO				ABRIL				MAYO				JUNIO				JULIO			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
DOCUMENTACION	Identificación de requerimientos del cliente	■	■																									
	Documentación		■	■	■	■																						
	Organización y clasificación de información			■	■	■	■	■																				
DISEÑO PRIMARIO	Análisis de la información						■	■	■	■	■	■																
	Elaboración de matriz QFD de requerimientos del cliente						■	■	■	■	■	■																
	Concepción de las primeras propuestas de diseño											■	■	■	■	■	■	■										
	Evaluación de propuestas mediante matriz QFD												■	■	■	■	■	■	■									
DISEÑO SECUNDARIO	Selección de diseño óptimo																	■	■									
	Cálculo para las variables de diseño																		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	Ajuste del diseño a la normatividad existente																							■	■	■	■	■
SIMULACION	Inclusión de datos al software																											
	Elaboración de planos de diseño																											
	Análisis de datos obtenidos mediante aplicación de software																											
	Optimización del diseño																											
	Pruebas de simulación																											
	recopilación de resultados																											
FABRICACION	Compra de materiales y elementos requeridos																											
	Construcción de estructura, partes y montaje																											
	Prueba de funcionamiento																											
	verificación de resultados																											
ELABORACION DOC. FINAL	Redacción de manual de operación y mantenimiento del banco de prueba para cilindros hidráulicos para maquinaria pesada e industrial																											
	análisis financiero comparativo con respecto a otros diseños.																											
	redacción de documento final																											

## 7. BIBLIOGRAFÍA E INFOGRAFIA

Aguayo, F; Caro, A. "ingeniería del diseño y desarrollo del producto: Un enfoque Metodológico". 2004. Disponible en [http://www.copitise.es/doc/001156\\_sevilla\\_tecnica\\_35.pdf](http://www.copitise.es/doc/001156_sevilla_tecnica_35.pdf)

Altmann, Carolina. El análisis de aceite como herramienta del mantenimiento proactivo en flotas de maquinaria pesada. Disponible en [http://widman.biz/boletines\\_informativos/lubricacion\\_ca.pdf](http://widman.biz/boletines_informativos/lubricacion_ca.pdf).pág.1

C.C.Jensen Ibérica, S.L. (2005, Febrero 23). Aceite hidráulico, lavado y bancos de pruebas. [En línea], español. Disponible en "http://www.cjc.dk/fileadmin/user\_upload/pdf/CJC\_Application\_Studies/AS\_Spanish/Industria\_AceiteHidraulico\_LavadoBancosPruebas\_ASIN5041ES.pdf", [2012, Enero 04].

C. Esteve, S. Edgar, "Capacidad de carga de cilindros oleo hidráulicos: Norma ISO/TS 13725," Scientia et Technica, vol. 29, pp. 163-168, Dic. 2005.

Fay A. James. Mecánica de fluidos. Editorial CECSA. 4ta Edición. México 1995

Mañà F. Herramientas y técnicas de gestión de la innovación para la creación de valor. Instituto Catalán de Tecnología (ICT) 2000. Disponible en [http://www.inexmoda.org.co/Portals/35/documentacion/sesion\\_grupo\\_asociativoen\\_funcionalidad/herramientas\\_y\\_tecnicas\\_de\\_gestion\\_de\\_la\\_innovacion\\_para\\_la\\_creacion\\_de\\_valor.pdf](http://www.inexmoda.org.co/Portals/35/documentacion/sesion_grupo_asociativoen_funcionalidad/herramientas_y_tecnicas_de_gestion_de_la_innovacion_para_la_creacion_de_valor.pdf)

Ullman, D. The Mechanical design process. 3a. Ed. McGraw Hill 2003.

Vernard J.K, Street R.L. Elementos de mecánica de fluidos. Editorial CECSA. 3ra Edición. Versión 51. España 1998

Williams, Gareth. Fundamentos básicos de mecánica de fluidos. Editorial McGraw Hill Interamericana. 3ra Edición. México 1996

Wilson D. Jerry. La mecánica de fluidos, aplicaciones e implicaciones. Editorial Prentice Hall. 2da Edición. Chile 1994

## GLOSARIO

**ACTUADOR:** Dispositivo que convierte la energía hidráulica en energía mecánica. (Motor o cilindro)

**ACTUADOR LINEAL:** Actuador que transforma la energía hidráulica en un movimiento rectilíneo. (Cilindro)

**ACTUADOR ROTATIVO:** Dispositivo que transforma la energía hidráulica en un movimiento giratorio. (Motor hidráulico)

**BOMBA:** Dispositivo que convierte la energía mecánica en transmisión fluida de esta energía.

**CAÍDA DE PRESIÓN:** Diferencia de presiones entre dos puntos de un sistema o componente.

**CARGA:** Energía referida a la unidad de peso.

**CARRERA:** Longitud de trabajo de un cilindro.

**CAUDAL:** Volumen de fluido descargado por una bomba en un tiempo dado.

**COMPRESIBILIDAD:** Es la capacidad de los fluidos para disminuir su volumen al aumentar la presión a la que están sometidos.

**CILINDRO:** Elemento que transforma la energía hidráulica en movimiento y fuerzas lineales. La fuerza es proporcional al área de la sección recta y a la presión hidráulica que actúa sobre la misma.

**CILINDRO DE DOBLE EFECTO:** Cilindro en el que la fuerza del fluido puede ser aplicada en ambas direcciones.

**CILINDRO DE SIMPLE EFECTO:** Cilindro en el que la energía hidráulica produce fuerza o movimiento en una sola dirección.

**CONTRAPRESION:** Se refiere a la presión que existe en la línea de retorno al tanque.

**FLUIDO:** Líquido preparado especialmente para utilizarlo como medio transmisor de potencia en un sistema hidráulico.



**FUERZA:** Cualquier causa que tienda a producir o modificar un movimiento.

**MOTOR:** Dispositivo que transforma la energía hidráulica en energía mecánica de rotación.

**PISTÓN:** Pieza de forma que se ajusta dentro de un cilindro y transmite o recibe un movimiento mediante un vástago conectado a la misma.

**PRESIÓN:** Es la fuerza por unidad de área. Se expresa normalmente en bar, pascales o psi.

**VASTAGO:** Pieza de forma cilíndrica de diámetro constante que se utiliza para transmitir un empuje.

**VELOCIDAD:** Es la rapidez con que el fluido se desplaza en una línea hidráulica.