



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

**PROPUESTA DE CONTENIDO PRAGMÁTICO, SOBRE MONTAJE DE BOMBAS
HIDRÁULICAS HORIZONTALES ROTATORIAS, PARA EL CURSO DE MÁQUINAS
HIDRÁULICAS**

Zarahí Alejandra Monterroso Barrios
Asesorado por el Ing. José Ismael Véliz Padilla

Guatemala, octubre de 2019

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**PROPUESTA DE CONTENIDO PRAGMÁTICO, SOBRE MONTAJE DE BOMBAS
HIDRÁULICAS HORIZONTALES ROTATORIAS, PARA EL CURSO DE MÁQUINAS
HIDRÁULICAS**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

ZARAHÍ ALEJANDRA MONTERROSO BARRIOS
ASESORADO POR EL ING. JOSÉ ISMAEL VÉLIZ PADILLA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERA MECÁNICA

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2019

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Luis Diego Aguilar Ralón
VOCAL V	Br. Christian Daniel Estrada Santizo
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

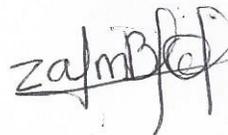
DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Carlos Enrique Chicol Cabrera
EXAMINADOR	Ing. Luis Alfredo Asturias Zúñiga
EXAMINADOR	Ing. Esdras Feliciano Miranda Orozco
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

PROPUESTA DE CONTENIDO PRAGMÁTICO, SOBRE MONTAJE DE BOMBAS HIDRÁULICAS HORIZONTALES ROTATORIAS, PARA EL CURSO DE MÁQUINAS HIDRÁULICAS

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica, con fecha 5 de marzo de 2018.



Zarahí Alejandra Monterroso Barrios

Guatemala, 8 de julio de 2019

Ingeniero
Roberto Guzmán Ortiz
Director Escuela de Ingeniería Mecánica
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

Ingeniero Guzmán:

Por este medio hago constar que he revisado y aprobado el trabajo de graduación de la estudiante **Zarahí Alejandra Monterroso Barrios**, con registro académico **201213558** y CUI **2326 59214 0101**, el cual lleva como título: **“PROPUESTA DE CONTENIDO PRAGMÁTICO, SOBRE MONTAJE DE BOMBAS HIDRÁULICAS HORIZONTALES ROTATORIAS, PARA EL CURSO DE MÁQUINAS HIDRÁULICAS”**.

Con base en lo anterior, hago de su conocimiento esta información a efecto de continuar con el trámite respectivo para su aprobación, sin otro particular,

Atentamente,



José Ismael Véliz Padilla
Ingeniero Mecánico
Colegiado 3646
ASESOR

JOSÉ ISMAEL VÉLIZ PADILLA
INGENIERO MECÁNICO
COLEGIADO 3646



USAC

TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Mecánica

Ref.E.I.M.188.2019

El Coordinador del Área Complementaria de la Escuela de Ingeniería Mecánica, luego de conocer el dictamen del Asesor y habiendo revisado en su totalidad el trabajo de graduación titulado: **PROPUESTA DE CONTENIDO PRAGMÁTICO, SOBRE MONTAJE DE BOMBAS HIDRÁULICAS HORIZONTALES ROTATORIAS, PARA EL CURSO DE MÁQUINAS HIDRÁULICAS**, presentado por la estudiante **Zarahí Alejandra Monterroso Barrios**, CUI **2326592140101** y Reg. Académico No. **201213558** recomienda su aprobación.

"Id y Enseñad a Todos"

Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez
Coordinador Área Complementaria
Escuela de Ingeniería Mecánica



Guatemala, julio 2019



USAC

TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Mecánica

Ref.E.I.M.255.2019

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor y con la aprobación del Coordinador del Área Complementaria del trabajo de graduación titulado: **PROPUESTA DE CONTENIDO PRAGMÁTICO, SOBRE MONTAJE DE BOMBAS HIDRÁULICAS HORIZONTALES ROTATORIAS, PARA EL CURSO DE MÁQUINAS HIDRÁULICAS**, presentado por la estudiante **Zarahí Alejandra Monterroso Barrios**, CUI **2326592140101** y Reg. Académico No. **201213558** y luego de haberlo revisado en su totalidad, procede a la autorización del mismo.

"Id y Enseñad a Todos"


Ing. Roberto Guzmán Ortiz
Director
Escuela de Ingeniería Mecánica



Guatemala, octubre de 2019

/aej

Universidad de San Carlos
de Guatemala

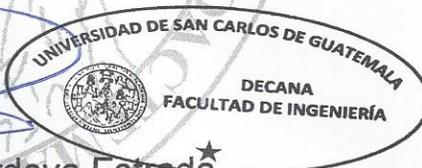


Facultad de Ingeniería
Decanato

Ref.DTG.477.2019

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, al trabajo de graduación titulado: **PROPUESTA DE CONTENIDO PRAGMÁTICO, SOBRE MONTAJE DE BOMBAS HIDRÁULICAS HORIZONTALES ROTATORIAS, PARA EL CURSO DE MÁQUINAS HIDRÁULICAS**, presentado por la estudiante universitaria: **Zarahí Alejandra Monterroso Barrios**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.



Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
Decana

Guatemala, Octubre de 2019

/cc

ACTO QUE DEDICO A:

Dios

Por la vida y la fuerza para cumplir mis sueños, sintiendo su presencia en mi vida, siempre he sido su consentida.

Virgen María

Nuestra Señora de los Ángeles, bella madre del cielo, por ser mi guía y nunca soltar mi mano a lo largo de mi vida.

Mis padres

David Alfredo Monterroso Alfaro y Mirna Aracely Barrios de Monterroso, infinitas gracias por todo su apoyo, amor y ejemplo, con todos sus sacrificios y enseñanzas me han hecho una mujer fuerte. Aunque no soy perfecta, tengo la bendición y privilegio de ser su hija, este logro es de ustedes, los amo.

Mis hermanos

Jenny Darily y Alex David Monterroso Barrios, por cuidarme y acompañarme siempre, por su amor, confianza, el consejo y los ánimos para nunca rendirme, los amo.

Mi sobrino

Pablo Javier López Monterroso, muchas veces quise rendirme pero recordaba que alguien seguía mis pasos, lucha por tus sueños nene, porque si se puede.

Mi novio

Raúl Arturo Ramírez Ramírez, gracias por acompañarme en todo este proceso, por tu comprensión, tu amor y apoyo, por compartir tus sueños conmigo, juntos podemos lograr todo.

Mi tío

Luis Emilio Barrios (q. e. p. d.), el mejor, muchas gracias mi buen amigo, el recuerdo de tu sonrisa me ha dado fuerza para seguir adelante, siempre vivirás en mi corazón.

Mis abuelos

Francisco Monterroso (q. e. p. d.), Olga Alfaro (q. e. p. d.), Carlos Castillo (q. e. p. d.) y Alicia Barrios (q. e. p. d.), estoy segura que también celebran este día.

Mi familia

Mis tíos, tías, primos y primas, quienes estuvieron pendientes de cada paso para lograr esta meta y a quienes aún viven en mi corazón.

Mis amigos

A todos, gracias por llenar mi vida de momentos especiales y apoyarme en cada paso para alcanzar esta meta, haciendo mis días más entretenidos.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Mi eterno amor y agradecimiento a la gloriosa y tres veces centenaria, por abrirme sus puertas y brindarme una gran oportunidad.
Facultad de Ingeniería	Por la oportunidad de desarrollar y culminar mi carrera profesional.
Escuela de Ingeniería Mecánica	A cada uno de sus catedráticos, por ser fuente de todos los conocimientos y experiencias, por ser la guía sin envidia para alcanzar esta meta.
Ing. José Ismael Véliz Padilla	Por sus enseñanzas, su ejemplo y su amistad, su colaboración y su apoyo profesional con mi trabajo de graduación.
Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez	Por brindarme sus consejos y tenderme una mano amiga en todo momento, por tener siempre las palabras exactas para guiarme.
Ing. Julio Mazariegos	Por apoyarme en todo momento con su amistad incondicional, por su colaboración y consejos para desarrollar mi carrera profesional y mi trabajo de graduación.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS	IX
GLOSARIO	XI
RESUMEN.....	XV
OBJETIVOS.....	XVII
INTRODUCCIÓN	XIX
1. CONCEPTOS.....	1
1.1. Metodología de enseñanza-aprendizaje del curso	1
1.1.1. Técnicas de enseñanza.....	1
1.1.1.1. Clases magistrales	2
1.1.1.2. Laboratorio.....	3
1.1.1.3. Visitas técnicas	4
1.1.2. Tipos de conocimiento	5
1.1.2.1. Conocimiento profesional	5
1.1.2.2. Conocimiento universitario	5
1.2. Máquinas hidráulicas.....	6
1.3. Bombas hidráulicas	7
1.3.1. Funcionamiento	8
1.3.2. Clasificación.....	9
1.3.3. Eficiencia	10
1.3.4. Criterios de selección	10
1.3.5. Problemas hidrodinámicos	11
1.3.5.1. Cavitación	11
1.3.5.2. Golpe de ariete	14

1.4.	Montaje de equipo.....	15
1.4.1.	Estudio de planos.....	16
1.4.2.	Replanteo.....	17
1.4.3.	Supervisión.....	18
1.4.4.	Instalación.....	19
1.4.5.	Pruebas.....	20
1.5.	Mantenimiento.....	21
1.5.1.	Tipos de mantenimiento.....	23
1.5.2.	Inspección.....	24
1.6.	Seguridad industrial.....	24
1.6.1.	Equipo de protección personal.....	25
1.6.2.	Condiciones y actos inseguros.....	26
1.6.3.	Uso de herramientas.....	28
1.6.4.	Instalaciones.....	29
2.	BOMBAS HIDRÁULICAS ROTATORIAS.....	31
2.1.	Funcionamiento.....	33
2.2.	Partes de una bomba hidráulica.....	34
2.2.1.	Carcasa.....	36
2.2.2.	Impulsor.....	37
2.2.3.	Cojinetes.....	38
2.2.4.	Eje.....	39
2.3.	Tipos de bombas rotatorias.....	40
2.3.1.	De lóbulos.....	40
2.3.2.	De engranajes.....	41
2.3.3.	De tornillo.....	43
2.3.4.	De paletas deslizantes.....	44
3.	MONTAJE Y MANTENIMIENTO.....	47

3.1.	Montaje de bombas	47
3.1.1.	Herramientas	47
3.1.2.	Procedimiento.....	50
3.2.	Mantenimiento	72
3.2.1.	Diagnóstico de fallas.....	73
3.2.2.	Control de equipo	76
3.2.3.	Tareas de mantenimiento	77
4.	CÁLCULOS	81
4.1.	Generalidades	81
4.2.	Cálculos para bombas hidráulicas.....	81
4.2.1.	Curvas características	82
4.2.2.	Carga.....	86
4.2.3.	Potencia.....	89
4.2.4.	Eficiencia	92
4.2.5.	Golpe de ariete	92
5.	NORMAS DE SEGURIDAD	97
5.1.	Salud y seguridad ocupacional.....	97
5.2.	Acuerdo Gubernativo 229-2016.....	98
5.2.1.	Vibraciones.....	98
5.2.2.	Equipo de protección personal	99
5.2.3.	Motores, transmisiones y máquinas	101
5.2.4.	Inspección y mantenimiento	101
5.2.5.	Herramientas	103
5.3.	Norma ISO 45001.....	104
5.4.	Norma OHSAS 18001	107
	CONCLUSIONES	109

RECOMENDACIONES 111
BIBLIOGRAFÍA..... 113
APÉNDICES..... 117
ANEXOS..... 119

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Material digital del curso.....	2
2.	Instalaciones del laboratorio del curso	3
3.	Visitas técnicas complementarias	4
4.	Clasificación de máquinas hidráulicas.....	7
5.	Esquema básico de bomba hidráulica.....	8
6.	Clasificación general de bombas hidráulicas	9
7.	Efectos de cavitación en equipo hidráulico	13
8.	Efectos del golpe de ariete en sistemas hidráulicos.....	14
9.	Supervisión de piezas de bombas rotatorias.....	18
10.	Fases de instalación de proyectos	20
11.	Síntesis del proceso de montaje	21
12.	Tareas de mantenimiento.....	22
13.	Equipo de protección personal.....	26
14.	Uso correcto del equipo de seguridad.....	27
15.	Almacenaje correcto de herramientas.....	28
16.	Instalaciones adecuadas.....	29
17.	Ejemplo de aplicación de una bomba rotatoria	32
18.	Placa de información de la bomba	36
19.	Rotores simples y múltiples.....	38
20.	Rodamientos	39
21.	Eje de bomba rotatoria.....	39
22.	Bomba de lóbulos internos.....	40
23.	Bomba de lóbulos externos.....	41

24.	Bomba de engranaje externo.....	42
25.	Bomba de engranaje interno.....	43
26.	Bomba de tornillo.....	44
27.	Bomba de paletas deslizantes.....	46
28.	Herramienta para bomba de lóbulos.....	48
29.	Herramienta para bomba de engranajes.....	49
30.	Herramienta para bomba de paletas deslizantes.....	49
31.	Bomba de lóbulos interno por partes.....	50
32.	Paso 1.....	51
33.	Paso 2.....	52
34.	Paso 3.....	53
35.	Paso 4.....	53
36.	Paso 5.....	54
37.	Paso 6.....	54
38.	Paso 7.....	55
39.	Bomba de lóbulos interno armada.....	55
40.	Bomba de engranajes por partes.....	56
41.	Paso 1.....	57
42.	Paso 2.....	57
43.	Paso 3.....	58
44.	Paso 4.....	58
45.	Paso 5.....	59
46.	Bomba de engranajes armada.....	59
47.	Bomba de paletas por partes.....	60
48.	Paso 1.....	62
49.	Paso 2.....	62
50.	Paso 3.....	63
51.	Rotor con paletas.....	63
52.	Paso 4.....	64

53.	Parte rotatoria cerrada	65
54.	Paso 5	65
55.	Paso 6	66
56.	Paso 7	66
57.	Paso 8	67
58.	Paso 9	67
59.	Paso 10.....	68
60.	Identificación de partes	68
61.	Paso 11	69
62.	Paso 12.....	70
63.	Paso 13.....	70
64.	Paso 14.....	71
65.	Paso 15.....	71
66.	Bomba de paletas armada	72
67.	Modelo de orden de trabajo para bomba rotatoria	78
68.	Modelo de solicitud de insumos	79
69.	Diagrama básico de instalación hidráulica	81
70.	Curvas características de bomba de engranajes	83
71.	Curvas características de bomba de engranajes	84
72.	Curvas características de bomba de paletas	85
73.	Diagrama ideal de posición de una bomba rotatoria	86
74.	Ejemplo de potencia.....	90
75.	Diámetro y espesor de tubería	93
76.	Ejemplo de golpe de ariete.....	94

TABLAS

I.	Clasificación de bombas rotatorias según su capacidad.....	33
II.	Ventajas y desventajas de las bombas rotatorias	34

III.	Lista de materiales admisibles	35
IV.	Materiales admisibles según el fluido de operación.....	35
V.	Descripción de la placa de información	37
VI.	Herramientas a utilizar por bomba	48
VII.	Lista de piezas de bomba de lóbulo interno	51
VIII.	Lista de piezas de bomba de engranajes	56
IX.	Lista de piezas de bomba de paletas.....	61
X.	Identificación de partes externas	69
XI.	Simbología en manuales	73

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
HP	Caballos de fuerza (unidad de potencia).
D	Diámetro.
gal/min	Galones por minuto.
°C	Grados Celsius.
kg/cm²	Kilogramos por centímetro cuadrado (unidad de presión).
kPa	Kilopascales.
kW	Kilovatio.
L/min	Litros por minuto.
m	Metro.
m/s	Metros por segundo.
mm	Milímetro.
%	Porcentaje.
RPM	Revoluciones por minuto.
s	Segundos.
bar	Unidad de presión.
psi	Unidad de presión libra-fuerza/pulgada ² .

GLOSARIO

ANSI	American National Standards Institute. Instituto Nacional Americano de Estándares.
Capacidad	Volumen de líquido bombeado por unidad de tiempo, conforme a sus condiciones de operación.
Celeridad	Velocidad de propagación de la onda de presión a través del agua dentro de una tubería.
Competencia	Habilidad para desarrollar una actividad o tarea de forma eficaz.
Corrosión	Reacción dañina de la estructura de un material con el fluido en contacto.
Desplazamiento	Volumen de líquido desplazado respecto a las revoluciones del rotor.
Eficiencia	Relación entre datos teóricos obtenidos bajo condiciones ideales y datos reales en condiciones normales de operación para evaluar el desempeño.
Excéntrico	Elemento cuyo centro de torsión coincide con su centro de masa o rigidez.

Hidrodinámica	Ciencia que estudia el movimiento de los líquidos incompresibles, las leyes y causas que producen su comportamiento.
HLS	High Level Structure. Estructura de alto nivel.
Índice de viscosidad	Propiedad de los fluidos que indica el cambio de viscosidad en relación a la temperatura de operación.
ISO	International Organization for Standardization. Organización Internacional de Normalización.
Líquido abrasivo	Sustancia que contiene partículas inorgánicas, con mayor dureza que el material en contacto, capaz de provocar desgaste o erosión.
Monel	Aleación de níquel y 30 % de cobre.
NPSH	Net Positive Suction Head. Carga Neta Positiva en Aspiración.
NPSHdis	Carga Neta Positiva en Aspiración Disponible.
NPSHr	Carga Neta Positiva en Aspiración Requerida.
OHSAS	Occupational Health and Safety Assessment Series.
Peso específico	Propiedad producto de la relación entre el peso y el volumen de un fluido.

Potencia	Cantidad de trabajo realizado por unidad de tiempo, variable clave para seleccionar la unidad motriz.
Pragmático	Contenido relacionado con la práctica, es el conjunto de acciones a realizar para desarrollar una tarea.
Presión de vapor	Presión de saturación, aquella donde la fase líquida y vapor se encuentran en equilibrio, a determinada temperatura.
Rendimiento	Valor porcentual para determinar la eficiencia de la bomba, análisis de la entrega respecto al gasto.
Vacío	Presión manométrica menor a la presión atmosférica, se estudia como un valor negativo.
Viscosidad	Resistencia de un fluido a deformarse, debido a las tensiones internas producidas durante su trayectoria.
Volumen específico	Propiedad inversa a la densidad, es la relación entre el volumen ocupado por unidad de masa de un fluido.

RESUMEN

Se presentan cinco capítulos estructurados y orientados al desarrollo de una propuesta de contenido pragmático para el curso de Máquinas Hidráulicas, como apoyo al estudiante de Ingeniería Mecánica. En el primer capítulo se definen los conceptos generales relacionados a la propuesta, métodos de enseñanza, fases de montaje, tipos de mantenimiento y la seguridad e higiene aplicables a cualquier proceso industrial.

En el segundo capítulo se describe a detalle cada una de las partes y el funcionamiento de las bombas hidráulicas rotatorias, los tipos más representativos y sus características. Se brinda información acerca de sus ventajas y desventajas, materiales de construcción y aplicaciones en los distintos tipos de industria, según el líquido de operación.

El tercer capítulo es el desarrollo del contenido pragmático de bombas rotatorias, se propone realizar la práctica con un modelo de bomba de lóbulos, una bomba de engranajes y una bomba de paletas. Para cada una se presenta la lista de sus partes, las herramientas a utilizar y los pasos a seguir para el montaje, siempre con fines didácticos, finalmente se presentan modelos de control por medio de órdenes de trabajo para el área de mantenimiento.

En el cuarto capítulo se brindan las ecuaciones correspondientes al caso, en las cuales se obtienen algunos criterios de selección basados en cálculos y se presentan algunos modelos de curvas características. En el quinto capítulo se detalla toda la normativa de seguridad industrial aplicable al montaje y desmontaje de bombas y sistemas hidráulicos en general.

OBJETIVOS

General

Hacer una propuesta de contenido pragmático sobre montaje de bombas hidráulicas horizontales rotatorias para el curso de Máquinas Hidráulicas.

Específicos

1. Describir los métodos de enseñanza aplicados, el equipo actual y conceptos generales del curso Máquinas Hidráulicas.
2. Describir cada una de las partes, funcionamiento y aplicaciones de las bombas hidráulicas horizontales rotatorias.
3. Realizar las guías detalladas con base en las buenas prácticas de montaje para los modelos de bombas hidráulicas horizontales rotatorias y su mantenimiento.
4. Presentar los cálculos de selección y diseño de las bombas hidráulicas horizontales.
5. Brindar normas de seguridad aplicadas al montaje y mantenimiento de las bombas hidráulicas y de las herramientas requeridas.

INTRODUCCIÓN

En la Facultad de Ingeniería se emplean distintos métodos de enseñanza-aprendizaje, entre los cuales están las clases magistrales, estudio de casos aproximados a reales con la resolución de ejercicios o problemas, prácticas de laboratorios y talleres, visitas técnicas programadas y guiadas, aprendizaje orientado a proyectos y el aprendizaje autónomo como parte del compromiso de cada estudiante.

Los métodos prácticos incluyen laboratorios y visitas técnicas programadas, estas son las mejores opciones de aprendizaje, ya que por la naturaleza de la carrera se desea conocer y aprender empleando todos los sentidos. La mayoría de los cursos profesionales de la Escuela de Ingeniería Mecánica cuenta con la accesibilidad a espacios destinados a laboratorios, donde el estudiante tiene la oportunidad de complementar, por medio del uso supervisado de máquinas y herramientas, equipo e instrumentos de medición, los conocimientos teóricos adquiridos.

El programa de estudios de la carrera de Ingeniería Mecánica incluye estudios de diversos conceptos y aplicaciones, entre los que se encuentran las máquinas en general. Una máquina es un conjunto de mecanismos funcionando coordinadamente para realizar un trabajo, según el fluido que operan estas máquinas se dividen en hidráulicas y térmicas.

Las máquinas hidráulicas son aquellas cuyo fluido de trabajo son líquidos incompresibles cuya densidad se considera constante con su paso a través de la máquina, donde existe un intercambio de energías. Las bombas hidráulicas

son máquinas hidráulicas generadoras que transforman energía mecánica en hidráulica y aumentan la presión del fluido de trabajo incrementando la energía del sistema. Existen diversos tipos de bombas hidráulicas, que logran cubrir muchas necesidades en distintos tipos de industria.

Para la instalación, montaje y mantenimiento de todas las máquinas requeridas en cualquier proyecto, se requiere un plan descriptivo o técnico que muestre detalladamente todas las guías del montaje, desde la recepción del equipo correcto en óptimas condiciones hasta las pruebas de funcionamiento y mantenimiento a practicar, según las especificaciones del fabricante, experiencia de los encargados, normativa vigente y otros documentos técnicos.

1. CONCEPTOS

1.1. Metodología de enseñanza-aprendizaje del curso

La metodología de enseñanza-aprendizaje se refiere principalmente a la didáctica como herramienta pedagógica para transmitir y aprender los conocimientos o procedimientos de forma eficiente y eficaz.

Existe un principio básico dentro de la metodología de enseñanza-aprendizaje, la teoría de aprendizaje significativo de David Ausubel, que menciona la importancia de poseer conocimientos previos relacionados con los nuevos conceptos para facilitar su comprensión.

Para el caso del curso de Máquinas Hidráulicas, del área complementaria de la Escuela de Ingeniería Mecánica, es necesario que el estudiante cumpla con los requisitos establecidos en cuanto a conocimientos, los cuales incluyen el área básica de la Escuela de Ciencias y dentro del área profesional los cursos de Mecánica de Fluidos e Hidráulica, con el apoyo de la Escuela de Ingeniería Civil.

1.1.1. Técnicas de enseñanza

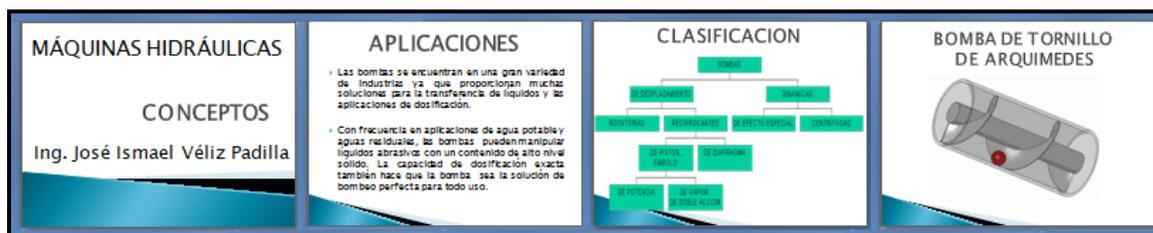
En sentido general, las técnicas de enseñanza son los métodos o procedimientos ordenados con base en principios o normas, orientados a lograr los objetivos establecidos dentro del programa curricular de determinado curso, serán aquellas técnicas que utilizará el docente para transmitir la información del curso a sus estudiantes.

1.1.1.1. Clases magistrales

Las clases magistrales colaboran en el desarrollo del curso, respecto a los conocimientos conceptuales estructurados dentro del programa. Para transmitir la información y experiencias, se emplean los siguientes recursos:

- Material de apoyo escrito: se cuenta con material disponible para que el estudiante pueda fotocopiar el texto, material específico proporcionado por el catedrático y la lista de referencias bibliográficas sugeridas para la consulta del estudiante interesado.
- Exposición oral del contenido: actividad que se realiza con el apoyo del mobiliario, el equipo y el recurso tecnológico durante los períodos establecidos para impartir el curso.
- Material auditivo-visual: diapositivas proyectadas a lo largo del curso para visualizar fragmentos teóricos del contenido, figuras de referencia y algunas animaciones que muestran la forma de operación de los equipos hidráulicos expuestos, como puede apreciarse en la figura 1.

Figura 1. Material digital del curso



Fuente: VÉLIZ, José. *Material elaborado y proporcionado para el curso.* pp. 1-5.

1.1.1.2. Laboratorio

Las prácticas de laboratorio colaboran en el proceso de enseñanza-aprendizaje, debido a que durante su desarrollo el estudiante puede adquirir una parte de los conocimientos procedimentales y habilidades requeridas para la operación de los equipos disponibles.

La Escuela de Ingeniería Mecánica cuenta con el equipo instalado en el Parque Tecnológico, que puede apreciarse en la figura 2, donde se realizan las prácticas de laboratorio correspondientes al curso de Máquinas Hidráulicas, actualmente se emplean los siguientes equipos:

- Bomba de ariete hidráulico
- Bomba centrífuga horizontal
- Equipo de bombeo sumergible
- Turbina Pelton
- Generador eólico
- Paneles solares

Figura 2. Instalaciones del laboratorio del curso



Fuente: elaboración propia. Parque Tecnológico, edificio T-7, Facultad de Ingeniería.

1.1.1.3. Visitas técnicas

Las visitas técnicas cumplen la función de complementar conocimientos a través de experiencias, en el proceso de enseñanza-aprendizaje, donde el estudiante puede visualizar la selección del equipo, distribución física y operación de la maquinaria hidráulica empleada en el campo laboral, principalmente equipo de bombeo. Estas actividades se realizan en distintos lugares externos, como se aprecia en la figura 3. Entre los objetivos de las visitas técnicas exitosas se encuentran:

- Observar el comportamiento de la maquinaria en cada proceso
- Complementar conocimientos conceptuales adquiridos en clase
- Resolución de dudas técnicas

Figura 3. Visitas técnicas complementarias



Fuente: elaboración propia.

1.1.2. Tipos de conocimiento

El estudiante de la Escuela de Ingeniería Mecánica idealmente debe adquirir conocimientos conceptuales y pragmáticos, que se han estructurado dentro de los programas curriculares de cada curso, conforme al cambio de las necesidades y requisitos a través del tiempo, con la implementación y aumento de espacios para desarrollar una parte práctica, en la medida de lo posible.

1.1.2.1. Conocimiento profesional

Es el conocimiento adquirido por descubrimiento, con la realización de la práctica continua durante el ejercicio de una profesión, combinando conceptos y aplicaciones, manteniendo una mente flexible ante las situaciones que puedan presentarse en cualquier momento, aprendiendo cada día con base en la experiencia individual y grupal.

Es el conocimiento basado en competencias, donde se debe combinar y transformar la parte teórica en práctica, supone que se poseen las siguientes características:

- Dominio de los conocimientos
- Actitud decidida y perseverancia
- Habilidad para desarrollar procedimientos
- Resolución eficaz de problemas

1.1.2.2. Conocimiento universitario

Es el conocimiento adquirido por recepción de forma mecánica o de memoria y significativa, dentro de las aulas universitarias como preparación

académica. El aprendizaje es de forma memorística, que al relacionar los conocimientos previos requeridos resulta una mejor comprensión y retención de los nuevos conceptos.

Comprende un conjunto de conocimientos teóricos, conceptos, leyes, teorías y principios establecidos, que permitirán al estudiante pensar, buscar y aplicar soluciones a problemas reales. Está conformado por las etapas de desarrollo de contenido, comprensión y aplicación analítica, para finalmente evaluar los resultados mediante pruebas que el catedrático considere adecuadas.

1.2. Máquinas hidráulicas

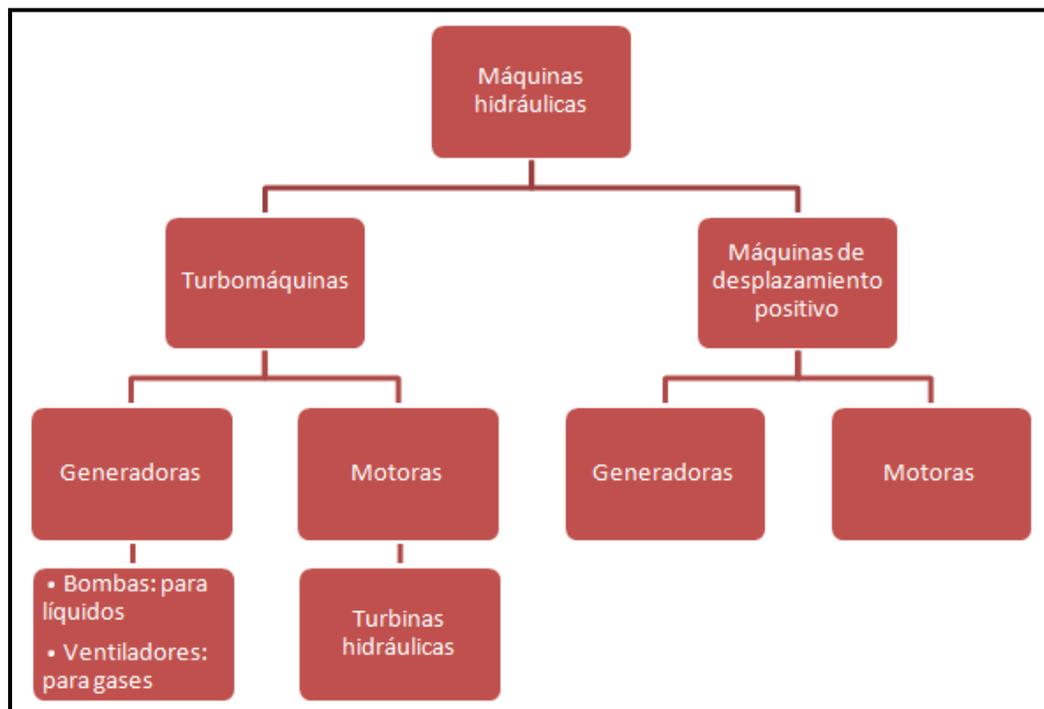
Una máquina es el conjunto de piezas y mecanismos sistematizados interrelacionados entre sí, destinada a modificar, transformar y dirigir fuerzas, una máquina absorbe energía de una forma y la restituye de otra dentro del mismo sistema. Existen distintas formas de clasificar las máquinas en general, entre ellas se pueden mencionar comúnmente las máquinas de fluido, máquinas herramienta y máquinas eléctricas.

Las máquinas de fluido son las de principal interés para este caso y se clasifican en máquinas hidráulicas y máquinas térmicas, según el comportamiento y las características del fluido que operan.

Las máquinas hidráulicas son aquellas cuyo fluido de trabajo es una sustancia incompresible en su paso por la máquina, su densidad y su volumen específico no cambia sensiblemente, permanecen constantes, lo cual hace de su análisis un procedimiento con menor complejidad. En la figura 4 se presenta

la clasificación general de las máquinas hidráulicas para una mejor comprensión.

Figura 4. **Clasificación de máquinas hidráulicas**



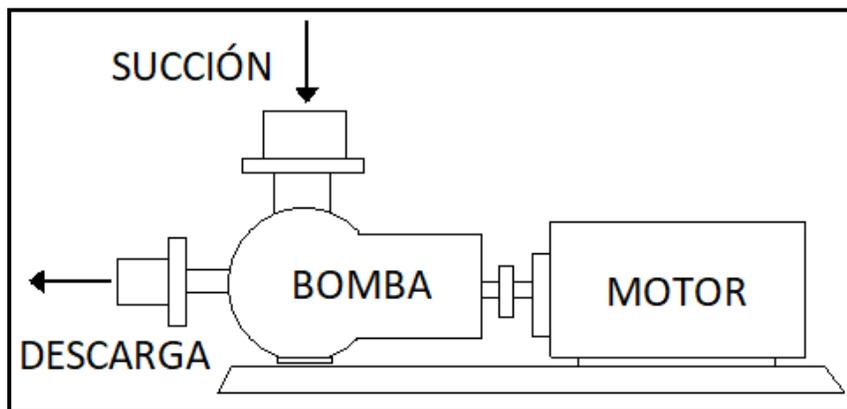
Fuente: elaboración propia, con base en MATAIX, Claudio. *Mecánica de fluidos y máquinas hidráulicas*. p. 358.

1.3. **Bombas hidráulicas**

Una bomba hidráulica es una máquina generatriz transformadora de energía, recibe energía mecánica de un motor y la convierte en energía que el fluido adquiere en forma de presión, velocidad o posición, en su paso por la máquina. Son los elementos encargados de impulsar el líquido dentro de un sistema hidráulico, su propósito es trasladar el líquido hacia determinado lugar

para cumplir con los objetivos del sistema. En la figura 5 se muestra un esquema básico de la instalación de una bomba hidráulica.

Figura 5. **Esquema básico de bomba hidráulica**



Fuente: elaboración propia.

Los distintos tipos de bombas hidráulicas son empleados en una gran variedad de industrias, para la transferencia de líquidos y aplicaciones de dosificación, donde resultan muy eficientes. Son muy utilizadas para agua potable y aguas residuales, algunas pueden operar con líquidos abrasivos con un contenido alto de sólidos.

1.3.1. Funcionamiento

Una bomba hidráulica es el corazón de toda instalación de bombeo, se necesita de esta máquina para hacer funcionar el sistema hidráulico. La bomba se encarga de suministrar la potencia necesaria, para mover el fluido de trabajo de un nivel de altura a otro superior, considerando las pérdidas de energía que se producen dentro de las tuberías, codos, válvulas y demás accesorios.

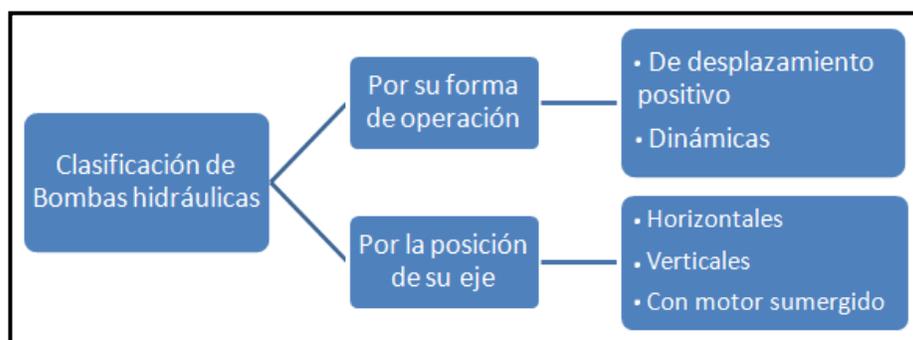
La acción mecánica que produce una bomba hidráulica crea un vacío en la succión, esto permite que la presión atmosférica fuerce fluido del depósito hacia la entrada de la misma, entregando el fluido a la salida de la bomba y lo conduzca hacia el circuito hidráulico.

Cuando la bomba se encuentra en operación el flujo de líquido siempre encuentra cierta resistencia, que junto a la transmisión de fuerzas al fluido se convierte en presión. Esto se refiere normalmente al trabajo realizado por el sistema hidráulico, pero puede ser también debido a restricciones de líneas y de válvulas dentro del sistema. Entonces la presión puede ser controlada por la carga requerida sobre el sistema o por la acción de un dispositivo regulador de presión.

1.3.2. Clasificación

Existen varias formas de clasificar las bombas hidráulicas, entre ellas las más empleadas y las de mayor interés para esta propuesta son las que se muestran en la figura 6:

Figura 6. **Clasificación general de bombas hidráulicas**



Fuente: elaboración propia.

1.3.3. Eficiencia

La eficiencia de una bomba se estudia para evaluar su desempeño, se ve afectada principalmente por las pérdidas hidráulicas, mecánicas y volumétricas, que se producen en el paso del fluido en las tuberías y accesorios del sistema, especialmente dentro de la bomba.

- Eficiencia mecánica: se determina mediante la relación entre la potencia teórica necesaria y la potencia real a la entrada, para un volumen específico a una presión específica de operación.
- Eficiencia volumétrica: se determina mediante la relación entre el volumen teórico de salida y el volumen real a una presión específica.
- Eficiencia total: se determina mediante el producto entre la eficiencia mecánica y la eficiencia volumétrica.

1.3.4. Criterios de selección

Existe una gran variedad de estilos, tipos y capacidades de bombas hidráulicas, seleccionar la adecuada será el resultado del estudio de todos los requisitos del sistema donde trabajará la bomba, se puede mencionar:

- Presión de trabajo
- Caudal
- Carga Dinámica Total (CDT)
- Temperatura
- Condiciones de succión y descarga
- Frecuencia de funcionamiento

- Pérdidas del sistema
- Materiales de construcción
- Unidad motriz y elementos de sujeción
- Tuberías y accesorios del sistema
- Velocidad de operación
- Distribución de espacio
- Características del líquido a bombear
- Costos de inversión, instalación, operación y mantenimiento
- Normativa aplicable

Dentro de las características del fluido de trabajo se encuentra el índice de acidez-alcalinidad, condiciones de viscosidad, presión de vapor a la temperatura de bombeo, densidad, propiedades corrosivas, abrasivas y lubricantes, contenido de impurezas y otras características conforme a la aplicación de la bomba.

1.3.5. Problemas hidrodinámicos

Los problemas hidrodinámicos pueden causar averías en instalaciones hidráulicas, la cavitación y el golpe de ariete son capaces de ocasionar graves daños en las máquinas, incluyendo la destrucción parcial o total del sistema.

1.3.5.1. Cavitación

La cavitación es un fenómeno en el cual se forman unas cavidades debido a la presencia de burbujas, cuando dentro de la bomba se crean vacíos que exceden la presión de vapor del fluido y explotan cuando se someten a la alta presión del sistema, donde se encuentran los elementos rotatorios de la bomba.

Las burbujas están constituidas por vapores del mismo fluido y, al pasar de la zona de aspiración a la zona de impulsión, se encuentran bajo presiones y temperaturas elevadas. Este problema hidrodinámico surge debido a que el fluido tiene dificultad de ser aspirado por la bomba y no logra llenar todo el espacio existente, perdiendo presión.

El diseño ineficiente del sistema hidráulico es la principal causa de la cavitación, en especial la zona de succión y entrada de la bomba, sin embargo existen otras causas que pueden originar este problema en la bomba, entre ellas destacan:

- Suciedad en el filtro de aspiración de la bomba, de ser posible debe eliminarse este elemento, lo ideal es implementar el filtro en el tanque y revisarlo dentro de las tareas de mantenimiento.
- Obstrucciones en la tubería de aspiración.
- Cambios bruscos de velocidad del fluido.
- Alta velocidad de aspiración.
- Baja temperatura de fluido, viscosidad elevada.
- Altura de bombeo muy elevada.
- Poca cantidad de fluido, que no logra cubrir la demanda.
- El tanque está demasiado alejado de la entrada de la bomba, lo que ocasiona pérdidas en la línea de succión.

La cavitación provocará daños principalmente en los elementos rotatorios de la bomba, se pueden presentar picaduras, desgaste y destrucción total de las piezas, reduciendo la vida útil de la bomba y del fluido hidráulico, factores que tendrán fuerte impacto a nivel financiero. En la figura 7 se muestra un ejemplo de los daños que pueden ser causados por el fenómeno de la cavitación en un equipo hidráulico.

Figura 7. **Efectos de cavitación en equipo hidráulico**



Fuente: *Cavitación en las bombas hidráulicas*. www.hidrooil.es/articulo/cavitacion-en-las-bombas-hidraulicas. Consulta: 29 de diciembre de 2018.

Para diseñar correctamente el sistema hidráulico, ejercer control y evitar la cavitación en las bombas, se recomienda:

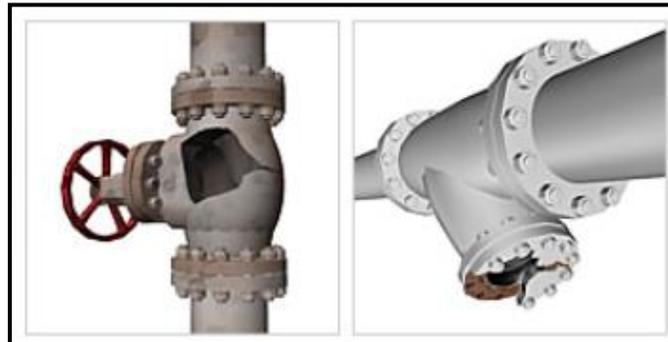
- Diseño de succión con presión positiva, es decir, ubicar la bomba por debajo del nivel del fluido hidráulico.
- Mantener la entrada limpia y libre de obstrucciones.
- Utilizar una tubería de aspiración con diámetro grande y longitud más corta posible.
- Minimizar o evitar el uso de codos en la línea de aspiración, de preferencia utilizar codos de 45°, ya que presentan menor fricción.
- Mantener la velocidad de rotación de la bomba dentro de los márgenes aceptables.
- Verificar el nivel correcto del fluido en el depósito.
- Controlar la línea de aspiración por medio de un vacuómetro.

1.3.5.2. Golpe de ariete

Es un fenómeno hidrodinámico ocasionado por cambios o interrupciones de flujo de forma súbita, produciendo oscilaciones por variaciones de presión y velocidad por encima o por debajo de las condiciones normales de operación, transformando la energía cinética en energía de presión.

Se le denomina golpe de ariete, porque cuando se presentan variaciones repentinas de flujo se puede producir un ruido semejante al que haría la tubería si se le golpea con un martillo. En la figura 8 se muestran algunos ejemplos de los severos daños que pueden provocarse por el golpe de ariete en sistemas hidráulicos.

Figura 8. **Efectos del golpe de ariete en sistemas hidráulicos**



Fuente: *Los peligros del golpe de ariete*. www.tlv.com/global/LA/steam-theory/what-is-waterhammer.html. Consulta: 29 de diciembre de 2018.

Las principales consecuencias de este problema hidrodinámico son:

- Altas presiones
- Cavitación
- Contaminantes en el fluido

- Rotura o fatiga de tuberías y uniones
- Daños severos en las válvulas, la bomba y el motor
- Deterioro de los sellos hidráulicos

1.4. Montaje de equipo

El montaje de equipo se refiere al conjunto de procedimientos ordenados para instalar piezas dentro de una estructura, maquinaria o equipo en un sistema completo, con base en las buenas prácticas de montaje y con plazos restringidos por costos de inversión.

El montaje industrial puede desarrollarse en condiciones geográficas complejas o conectarse con una estructura ya existente. El desarrollo eficiente de la instalación de cada máquina y equipo dentro de cualquier sistema va a garantizar su funcionamiento y rendimiento, incluyendo los procedimientos del mantenimiento necesario.

Para lograr el montaje eficiente deben detallarse dentro de un plan descriptivo o técnico, que incluya todos los procedimientos del montaje, desde la recepción del equipo correcto en óptimas condiciones hasta las pruebas de funcionamiento, según las especificaciones del fabricante, considerando la normativa vigente, la experiencia de los encargados del proyecto y otros documentos técnicos de apoyo disponibles.

El montaje lo deben realizar las personas autorizadas y capacitadas que posean los conocimientos y habilidades para cumplir con las especificaciones, evitar confusiones o errores y asumir la responsabilidad del resultado final.

Durante la ejecución del montaje deben generarse documentos técnicos que hagan constar legalmente la culminación de cada una de las etapas del montaje mediante actas, detallando cada uno de los procesos desarrollados hasta la fecha. Para un mejor control de procesos estos documentos son:

- Acta de replanteo: hace constar la conformidad del instalador con el proyecto.
- Actas de visitas y dirección de obra: se detalla el surgimiento de problemas, las soluciones propuestas y las modificaciones pertinentes del caso.
- Actas de pruebas: presentando el resultado de la instalación y operación del proyecto final.
- Acta de recepción provisional: hace constar la presentación y entrega de la obra terminada.

1.4.1. Estudio de planos

Constituye la primera fase del proceso de montaje, se refiere a la revisión detallada de los planos realizados para definir los espacios donde se realizará el montaje de la maquinaria o equipo. Es importante que el instalador estudie los planos del proyecto para resolver dudas y comentar todas las especificaciones junto con los encargados y los dueños o representantes de las obras, para aclarar todo desde el principio.

Para el montaje de bombas hidráulicas en general puede hacerse un estudio minucioso de la siguiente información:

- Sistema hidráulico completo
- Topografía del lugar de instalación
- Componentes de la bomba
- Herramienta para montaje
- Análisis de procedimientos
- Verificación de espacio suficiente
- Acceso a la obra

1.4.2. Replanteo

El replanteo se refiere a un trabajo manual y de campo, las tareas a realizar en esta fase, para cualquier proyecto, incluyen la revisión del terreno previo a iniciar el montaje de todo el equipo de la obra, marcar puntos de referencia y verificar las longitudes descritas en los planos.

En esta etapa se confirman los planos del proyecto y se logra detectar errores, casusas, consecuencias y posibles conflictos durante las obras de montaje, que puedan modificar atrasando el plazo establecido para su instalación.

Las visitas al lugar de montaje, para las actividades de replanteo, deben planificarse para establecer tiempos, equipo, herramientas e instrumentos de medición a utilizar; entre estos pueden mencionarse principalmente niveles, brújulas, cinta métrica metálica, alambre, clavos, estacas, cordel, galgas, pintura, yeso, rotuladores, calculadora, lápiz y papel.

Para realizar los trabajos de replanteo de forma general y ordenada se deben seguir los siguientes pasos:

- Limpieza del terreno
- Nivelación
- Establecer un nivel de referencia (cota cero)
- Retirar la tierra sobrante del terreno
- Verificar y marcar las medidas del plano en el terreno

1.4.3. Supervisión

Se ha de realizar una supervisión detallada cuando se recibe todo el equipo para el montaje, verificando que coincida con lo solicitado en cuanto a capacidades, medidas y la calidad del material.

Durante este proceso también se considera el correcto transporte y almacenamiento de todo el material y equipo para el proyecto, la carga y descarga de materiales debe hacerse pieza por pieza, con el mayor cuidado para evitar daños por mal manejo. Para el almacenamiento del material deben considerarse el espacio para no sobrepasar la capacidad de la bodega y las condiciones climatológicas del lugar. En la figura 9 se presentan las piezas en óptimas condiciones para realizar la práctica del montaje de las bombas rotatorias, como modelo de orden y limpieza desde el inicio de operaciones.

Figura 9. **Supervisión de piezas de bombas rotatorias**



Fuente: elaboración propia.

1.4.4. Instalación

La instalación de equipo en un proyecto debe estar guiada por un plan de trabajo organizado y ordenado, coordinando cada una de las fases de montaje de cada parte, para lograr los objetivos fijados previamente de forma eficiente, luego de sufrir las modificaciones necesarias en cada una de las fases anteriores y con todo el personal encargado del montaje.

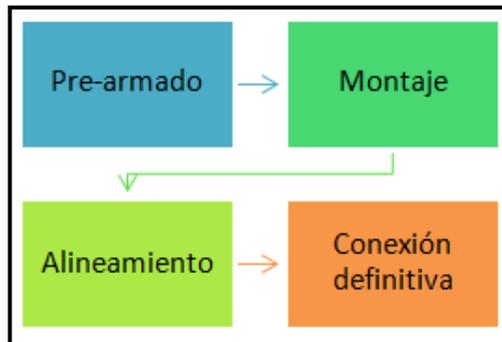
Con la planificación y ejecución de la instalación se pretende lograr un uso eficiente de los equipos, optimizar procesos y reducir costos de instalación y operación. Las actividades a realizar en esta etapa son principalmente:

- Supervisión del recurso humano, material y económico
- Desarrollo cronológicamente ordenado de tareas con plazos fijos
- Manejo y transporte cuidadoso de materiales
- Evaluaciones y correcciones durante el proceso de montaje
- Coordinación de aspectos legales

Los factores adicionales a incluir en el plan de trabajo deberán realizarse bajo las normas de las buenas prácticas y procedimientos de montaje, supervisión y control del instalador, considerando que velar por la seguridad y bienestar del recurso humano es el factor más importante.

En la figura 10 se presenta un diagrama de flujo que contiene las fases para la instalación de equipos en un proyecto.

Figura 10. **Fases de instalación de proyectos**



Fuente: elaboración propia, con base en REBOLLO GALLEGO, José María. *Montaje de redes de distribución de agua*. p. 30.

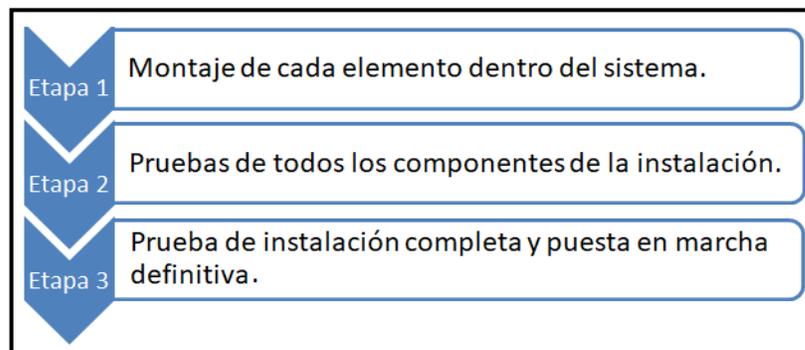
- Pre-armado: con el fin de optimizar tiempo, esta etapa consiste en unir varios elementos de una sección, a nivel del suelo, para levantar un elemento de mayor tamaño.
- Montaje: proceso basado en los planos del montaje definidos, se identifica cada pieza y se coloca en su posición definitiva.
- Alineamiento: después de colocar las piezas se deben alinear en la posición correcta.
- Conexión definitiva: es la etapa final del montaje, en la cual se coloca el sistema de sujeción definitivo, verificando el cumplimiento de los estándares de calidad en el montaje y operación.

1.4.5. Pruebas

La última de las etapas del montaje de maquinaria y equipo consiste en evaluar los resultados de la instalación, verificando el correcto funcionamiento

de cada elemento dentro del sistema completo. En la figura 11 se muestra una síntesis de cada etapa del proceso de montaje de equipo.

Figura 11. **Síntesis del proceso de montaje**



Fuente: elaboración propia, con base en REBOLLO GALLEGO, José María. *Montaje de redes de distribución de agua*. p. 49.

1.5. **Mantenimiento**

El mantenimiento industrial consiste en una serie de tareas y procedimientos a realizar de forma continua y metodológica a fin de conservar la maquinaria y equipo funcionando en condiciones aceptables, tratando de alcanzar un alto grado de confiabilidad y rendimiento.

Los factores más importantes a considerar dentro del mantenimiento son la calidad económica del servicio, la duración óptima del equipo y el costo mínimo. Esto quiere decir que un buen mantenimiento será el que reduzca las suspensiones imprevistas de trabajo y haga uso correcto de los recursos, para lograr los mejores resultados al menor costo posible.

El mantenimiento será eficaz si previene fallas o averías, si se realiza en el menor tiempo y costo posible, si se emplean los recursos planificados de forma óptima y cuando no se presentan accidentes atribuibles a máquinas y equipos.

En la figura 12 se puede apreciar un ejemplo de tareas de limpieza a la parte superior de una trampa de vapor, realizada en una empresa donde el mantenimiento es una de sus mayores prioridades.

Figura 12. **Tareas de mantenimiento**



Fuente: elaboración propia.

Todos los procesos dentro del mantenimiento de maquinaria y equipo deben idealmente ser planificados, desde el punto de vista administrativo, se incluyen tareas como:

- Verificar la existencia de repuestos
- Verificar la calidad de todas las piezas
- Manejo de inventario
- Asignación de tareas
- Control de ejecución de tareas

- Evaluación de desempeño
- Análisis de costos
- Toma de decisiones

1.5.1. Tipos de mantenimiento

El mantenimiento puede clasificarse de acuerdo a la forma de intervención, de la siguiente manera se presentan los empleados comúnmente en maquinaria:

- Preventivo: es el conjunto de medidas empleadas para la reducción de la probabilidad de falla, con base en el manual del fabricante, realizadas mediante rutinas programadas a fin de preservar la vida útil del equipo. Principalmente se realizan evaluaciones, lubricación periódica, limpieza, sustitución de piezas con desgaste y otras reparaciones rápidas.
- Correctivo: es el que se realiza al presentarse una falla parcial o total, dejando de funcionar la máquina o equipo, entonces se debe reparar el daño inmediatamente. Este tipo de mantenimiento incluye el reacondicionamiento de instalaciones, máquinas, equipos o piezas.
- Predictivo: consiste en evaluaciones y análisis de síntomas en piezas o mecanismos, a través de métodos no destructivos y software especializado, para planificar las tareas de mantenimiento necesarias y prevenir fallas, sin necesidad de detener la maquinaria evaluada.

1.5.2. Inspección

Las inspecciones son visitas cortas y programadas periódicamente que realizan los encargados del mantenimiento para evaluar el estado superficial sin efectuar desmontajes y reparaciones largas en las instalaciones, máquinas y equipos. Por lo general se pueden emplear métodos no destructivos para las inspecciones, tales como ultrasonidos, termografía, líquidos penetrantes y distintos instrumentos de medición para cada variable a evaluar.

La inspección será la tarea principal y constante que deberá realizar cualquier persona que se encuentre en contacto directo con la máquina, para establecer un diagnóstico sobre su funcionamiento y estado general.

- Observación: visualizar la superficie de las piezas.
- Audición: escuchar un ruido extra o fuera de los rangos normales aceptados durante el funcionamiento de la máquina.
- Olfato: detectar algún olor fuera de lo normal.
- Sensibilidad: detectar cuidadosamente la temperatura y el estado tangible de las piezas y mecanismos que pueden presentar daño superficial.

1.6. Seguridad industrial

La aplicación de las normas de seguridad industrial ha aumentado en importancia los últimos años, debido al impacto negativo que representa la alta tasa de accidentes laborales, tanto por la salud de todos los colaboradores que

sufren problemas de salud, como para las empresas respecto a la pérdida de recursos que generan.

El objetivo principal de la aplicación de los reglamentos internos de seguridad industrial será alcanzar una cultura general de cero accidentes, en cualquier entorno.

1.6.1. Equipo de protección personal

Actualmente el uso completo del equipo de protección personal, según las actividades que se realizan, ya no es únicamente necesario sino también obligatorio. Normalmente el uso del equipo resulta incómodo para los colaboradores, sin embargo se debe fomentar la cultura de protección de la integridad física y mental del ser humano.

El equipo de protección personal más utilizado consiste en:

- Gafas o lentes protectores.
- Tapones auditivos.
- Protección respiratoria contra polvos, vapores, gases y otras sustancias que representen peligros al olfato.
- Ropa protectora para evitar daños al contacto de la piel con agentes químicos.
- Cascos, gorras o cualquier otro medio de protección equivalente, bien ajustado y de material de fácil aseo.

En la figura 13 se muestra el equipo de protección personal que debe utilizar el operador para realizar las distintas tareas de mantenimiento asignadas.

Figura 13. **Equipo de protección personal**



Fuente: *Equipo de protección personal*. www.prevencionar.com/2018/05/28/guia-para-la-aplicacion-del-reglamento-ue-2016-425-sobre-equipos-de-proteccion-personal. Consulta: 30 de diciembre de 2018.

1.6.2. Condiciones y actos inseguros

El éxito o el fracaso de los planes de contingencia y seguridad industrial es responsabilidad de todos los involucrados en el desarrollo del montaje, desde los encargados del proyecto hasta los colaboradores auxiliares. Durante el desarrollo del proyecto se podrían presentar:

- **Condiciones inseguras:** se refiere a las condiciones en los lugares de trabajo, al grado de inseguridad que representan para las personas que laboran en esos espacios, estas condiciones dependen de diversos factores y pueden ser corregidas por disposición del dueño y los encargados del proyecto. Las condiciones inseguras más frecuentes son estructuras deterioradas, herramienta inadecuada o defectuosa, equipo de protección personal defectuoso o ausente, condiciones ambientales, mala

distribución de material y falta de medidas de prevención de accidentes y de señalización.

- Actos inseguros: son las actitudes o actividades que realizan los instaladores y operadores, que representan un peligro para su salud y bienestar, se corrigen por convicción personal. Puede mencionarse el uso incorrecto, incompleto o ausencia del equipo de protección personal, trabajar bajo efectos de alcohol o estupefacientes, bromas y juegos dentro del área de trabajo, desorden personal, mal uso de herramientas, operar sin autorización, sobrecargar maquinaria, no seguir instrucciones y señalizaciones, entre otros.

En la figura 14 se aprecia el uso correcto del equipo de seguridad, respecto a las condiciones de la tarea que se realiza. Los resultados de la implementación de normas de seguridad son responsabilidad del patrono y del colaborador.

Figura 14. **Uso correcto del equipo de seguridad**



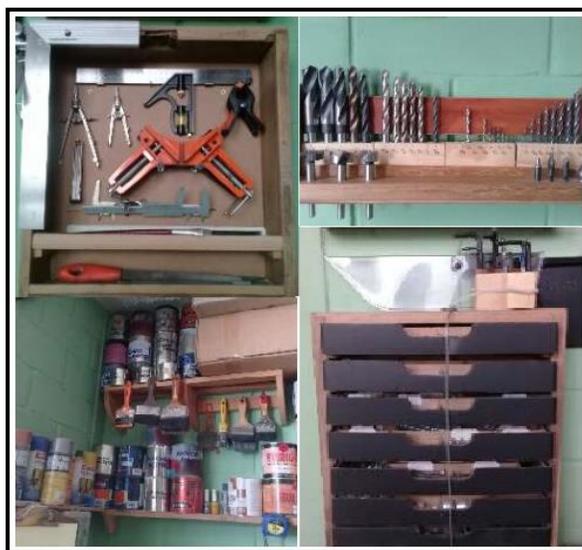
Fuente: *Uso de equipo de protección personal*. www.sondelsa.com. Consulta: 30 de diciembre de 2018.

1.6.3. Uso de herramientas

Las herramientas son el principal recurso tangible del área encargada de montaje y mantenimiento de equipo, son los dispositivos que permiten la ejecución de las tareas diarias con menor dificultad, a estas herramientas también se les debe cuidar para que se conserven en óptimas condiciones.

El personal de mantenimiento debe poseer los conocimientos y habilidades para manipular correctamente la maquinaria, equipo y herramientas, por lo que se debe supervisar constantemente su uso correcto. En caso de encontrar algún inconveniente en la manipulación de herramientas, debe recurrirse a administrar planes de actualización o capacitación, tanto del uso como del almacenaje ordenado y limpio. En la figura 15 se muestra un modelo de almacenaje correcto en una mueblería, donde el uso y cuidado de las herramientas es una de las actividades diarias a realizar.

Figura 15. Almacenaje correcto de herramientas



Fuente: elaboración propia.

1.6.4. Instalaciones

La infraestructura donde se realiza el montaje, operación y mantenimiento de maquinaria y equipo debe recibir también los cuidados y actualizaciones necesarias respecto a salud y seguridad ocupacional. Para las instalaciones principalmente se le da importancia a:

- Iluminación y ventilación
- Pisos, techos y paredes
- Pasillos y gradas
- Puertas y salidas
- Escaleras fijas y de servicio
- Trampas, aberturas y zanjas
- Equipo auxiliar de emergencias
- Señalización

En la figura 16 se muestran las instalaciones limpias y ordenadas, como modelo del área de calderas, en una industria procesadora de tabaco.

Figura 16. Instalaciones adecuadas



Fuente: elaboración propia.

2. BOMBAS HIDRÁULICAS ROTATORIAS

Las bombas hidráulicas rotatorias pertenecen al grupo de las bombas volumétricas o de desplazamiento positivo por su forma de operación, donde el flujo recibe la acción de fuerza de una o más piezas rotatorias, transformando la energía mecánica en energía hidráulica, entregando un flujo continuo de operación con líquidos que no contengan sólidos abrasivos.

Las bombas rotatorias se diferencian principalmente por el tipo de elemento giratorio que transmite la energía al líquido, por esto se denominan bombas de engranajes, tornillo, paletas o bombas rotatorias de lóbulos, accionados por la rotación del eje impulsor. Básicamente este tipo de bomba consiste en una parte fija donde se encuentran los elementos rotatorios, que conforme a su movimiento van a guiar el fluido hacia el área de admisión, trayectoria y descarga, por lo que este diseño no emplea válvulas. Si la bomba cuenta con un solo elemento rotatorio, entonces este va situado excéntricamente en el eje.

Estas bombas tienen diversas aplicaciones, por ejemplo, en la industria de madera y papel, farmacéutica, alimenticia, agroalimentaria, automotriz, textil, química, petroquímica, alimentación de calderas, bombeo de combustible, maquinaria agrícola, y otras aplicaciones, en las que se opera con fluidos de distintas características con alta carga dinámica total. Debido a que pueden presentar desgaste en las superficies móviles, la mayor aplicación de estas bombas es para aceites u otras sustancias que tengan valor lubricante y suficiente viscosidad, aunque algunas se pueden emplear también con agua limpia, materiales corrosivos y crudos pesados. En la figura 17 se observa una

bomba rotatoria de engranajes empleada para suministro de bunker a una caldera.

Figura 17. **Ejemplo de aplicación de una bomba rotatoria**



Fuente: elaboración propia.

Las principales características de una bomba rotatoria son:

- Son de acción positiva, es decir, que la presión desarrollada se limita por la resistencia estructural de las partes internas de la bomba y la descarga dependerá de la velocidad de la bomba y el volumen desplazado.
- Entregan un caudal constante, consecuencia de su movimiento rotacional y definido por las revoluciones del motor.
- Construcción compacta, se presentan con diseños simples que constan de pocas partes móviles.
- Velocidades de operación de moderadas a altas.
- Requieren toda la potencia para llevarlas a su velocidad de operación.
- Bajo costo de inversión.
- Bajo costo de mantenimiento, son fáciles de limpiar.

En la tabla I se presenta la clasificación general de las bombas rotatorias, según sus condiciones de operación respecto a presión y volumen.

Tabla I. **Clasificación de bombas rotatorias según su capacidad**

Denominación	Rango de presión (psi)
Baja presión	0 – 99
Moderada presión	100 – 499
Alta presión	500 en adelante
Denominación	Rango de volumen (gal/min)
Volumen pequeño	0 – 49
Volumen moderado	50 – 499
Volumen grande	500 en adelante

Fuente: elaboración propia, con base en BAUMEISTER, Theodore; AVALLONE, Eugene; BAUMEISTER III, Theodore. *Marks: manual del ingeniero mecánico*. Capítulo 14, p. 11.

Se recomienda seleccionar una bomba rotatoria para las siguientes condiciones generales en un sistema de bombeo:

- Fluido de viscosidad variable
- Viscosidades altas
- Flujo a presión variable
- Alta presión

2.1. **Funcionamiento**

El principio de funcionamiento de una bomba rotatoria está basado en la hidrostática, que se refiere a que el aumento de presión se realiza por el empuje de las paredes de las cámaras que varían su volumen de manera positiva en cada ciclo. En la tabla II se presenta un cuadro comparativo que contiene las ventajas y desventajas del uso de bombas rotatorias.

Tabla II. **Ventajas y desventajas de las bombas rotatorias**

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> • El caudal no depende de la altura de elevación. • Ideales para presiones altas. • Son de una etapa. • Adecuadas para altas viscosidades. • Ideales para números bajos de revoluciones. • Su accionamiento es neumático, hidráulico o electromagnético. • En su mayoría son autocebantes. 	<ul style="list-style-type: none"> • Requiere de válvula de seguridad o limitadora de presión. • En algunos casos, se necesitan amortiguadores. • Algunos tipos de construcción son complicados. • Montaje propenso a averías con válvulas. • Mayor número de piezas propensas a desgaste. • No puede bombear fluidos que contengan sólidos ni abrasivos.

Fuente: elaboración propia.

El procedimiento correcto para el arranque de bombas hidráulicas rotatorias es:

- Revisar la lubricación correcta de los rodamientos
- Abrir la válvula de descarga
- Abrir la válvula de succión
- Hacer funcionar la bomba, controlando la presión

2.2. Partes de una bomba hidráulica

En sentido general, las bombas hidráulicas constan de 4 partes principales para su funcionamiento, fabricados en distintos materiales, según los procesos para los cuales se deseen emplear. En las tablas III y IV se indican los materiales admisibles para bombas rotatorias, según su fluido de operación.

Tabla III. **Lista de materiales admisibles**

Letra/ número	Significado	Letra/ número	Significado
A	Todo de bronce	3	Acero al carbono
B	Ajustado en bronce	11	Aleación base de níquel
C	Todo de hierro	12	Fundición de hierro alto silicio
1	Fundición gris	13	Fundición de hierro austenítica
2	Bronce al estaño	14	Metal monel

Fuente: elaboración propia, con base en BAUMEISTER, Theodore; AVALLONE, Eugene; BAUMEISTER III, Theodore. *Marks: manual del ingeniero mecánico*. Capítulo 14, p. 12.

Tabla IV. **Materiales admisibles según el fluido de operación**

Líquidos	Materiales admisibles	Líquidos	Materiales admisibles
Ácidos grasos	A, 8, 9, 10, 11	Glicerina	A, B, C
Ácido de frutas	A, 8, 9, 10, 11, 14	Manteca de cerdo	B, C
Ácido clorhídrico	11, 12	Agua de cal	C
Ácido nítrico	5, 6, 7, 8, 9, 10, 12	Cloruro de magnesio	A, 8, 9, 10, 11, 12
Ácido tánico	A, 8, 9, 10, 11, 14	Leche	8
Alcohol	A, B	Melazas	A, B
Amoniaco en solución acuosa	C	Nafta	B, C
Cloruro de amonio	9, 10, 11, 12, 14	Aceite combustible	B, C
Asfalto	C, 5	Aceite vegetal	A, B, C, 8, 9, 10, 11, 14
Cerveza	A, 8	Aceite de trementina	B, C
Benceno (benzol)	B, C	Carbonato de potasio	C
Salmuera de cloruro de calcio	C	Licor de jabón	A, 8, 9, 10, 11, 14
Salmuera de cloruro de sodio	A, C, 8	Sosa (carbonato de sodio)	CC
Salmuera de agua de mar	A, B, C	Azúcar	A, 8, 9, 10, 11, 13
Jugo de caña	A, B, 13	Jarabe	A, 8, 9, 10, 11, 13
Acetato de etilo	C, 9, 10	Licores tánicos	A, 8, 9, 10, 11, 12
Cloruro de etileno	A, 8, 9, 10, 11, 14	Alquitrán	C, 3
Jugo de frutas	A, 8, 9, 10, 11, 14	Barniz	A, B, C, 8, 14
Gasolina	B, C	Vinagre	A, 8, 9, 10, 11, 12
Pegamento de cola	B, C	Pulpa de madera	A, B, C

Fuente: elaboración propia, con base en BAUMEISTER, Theodore; AVALLONE, Eugene; BAUMEISTER III, Theodore. *Marks: manual del ingeniero mecánico*. Capítulo 14, p. 12.

2.2.1. Carcasa

La carcasa es la parte externa que contiene y protege todos los elementos internos de operación y al fluido de trabajo. Son fabricadas regularmente de hierro fundido, bronce y acero inoxidable, para cubrir las necesidades del flujo de operación, según sus características corrosivas. En esta se muestra una placa de información general de la bomba, que ha de ser consultada, verificada y respetada para sus distintas aplicaciones.

En la figura 18 se muestra un modelo de la placa de información básica de una bomba, es importante el dominio del idioma inglés para su comprensión.

Figura 18. **Placa de información de la bomba**

ITT		S/N	
MODEL	SIZE	STD.	DIM.
HYDRO PRESS PSI @ 100°F	FLOW GPM	R.P.M.	
MAX. DES. WORKING PRESS., PSI @°F	HEAD FT.	MAT'L.	
CONT/ ITEM NO.	IMP. DIA.	MAX. DIA.	
WARNING Avoid death or serious injury: Do NOT operate pump against closed valves or blocked lines.			

Fuente: Goulds Pumps. *Manual de instalación, funcionamiento y mantenimiento*. p. 19.

Es importante mantener la carcasa de la bomba en buenas condiciones, especialmente la placa de información limpia y en un lugar visible, debido a que indica las características detalladas en la tabla V.

Tabla V. **Descripción de la placa de información**

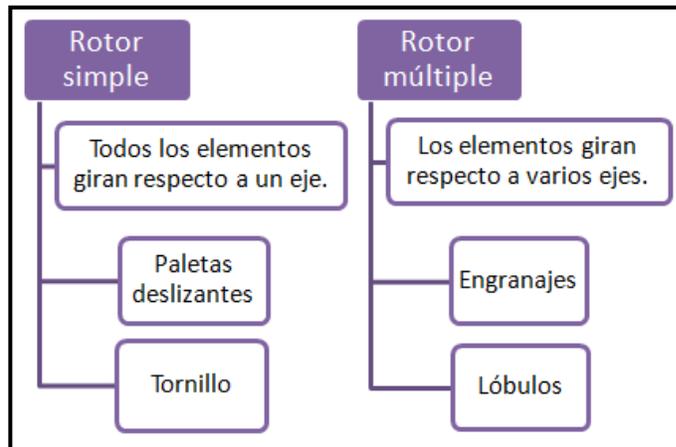
Campo de la placa	Explicación
MODEL	Modelo de la bomba.
SIZE	Tamaño de la bomba.
FLOW	Flujo nominal de la bomba (galones por minuto).
HEAD	Altura de elevación nominal de la bomba (pies).
RPM	Velocidad nominal de la bomba, en revoluciones por minuto.
HYDRO PRESS	Presión hidrostática a 38°C Kg/cm ² .
MAX. DES. WORKING PRESS	Presión de trabajo máxima a temperatura en °C, en Kg/cm ²
S/N	Número de serie de la bomba.
CONT./ITEM NO.	Contrato del cliente o número de artículo.
IMP. DIA.	Diámetro nominal del impulsor
MAX. DIA.	Diámetro máximo del elemento motriz.
STD. DIM	Código dimensional ANSI estándar.
MAT'L	Material de construcción

Fuente: elaboración propia, con base en Goulds Pumps. *Manual de instalación, funcionamiento y mantenimiento.* p. 20.

2.2.2. Impulsor

En el caso de las bombas hidráulicas rotatorias, el impulsor es llamado rotor y son fabricados en hierro, bronce, acero inoxidable y polímeros. Es el elemento encargado directamente de la transformación de la energía, de impulsar y entregar el fluido al sistema. En la figura 19 se presenta un diagrama que contiene la clasificación general de los rotores de una bomba, con sus respectivos ejemplos en cada caso.

Figura 19. **Rotores simples y múltiples**



Fuente: elaboración propia.

2.2.3. **Cojinetes**

El cojinete de la bomba es un rodamiento que permite reducir la fricción entre el eje y los elementos rotatorios de la bomba. Sirven de apoyo, porque al reducir la fricción en el eje de transmisión se reduce la posibilidad de fallo mecánico por fatiga y se logra aumentar la eficiencia mecánica y volumétrica de la bomba. Conforme a sus aplicaciones, estos elementos deben cumplir con las condiciones siguientes:

- Deben poseer elevado poder antifricción
- Alta resistencia al desgaste
- Alta resistencia a la fatiga
- Alta conductividad térmica
- Alta resistencia a la corrosión
- Bajo módulo de elasticidad
- Bajo coeficiente de dilatación térmica

En la figura 20 se muestran cojinetes del tipo rodamiento, empleados para bombas rotatorias de distintas capacidades.

Figura 20. **Rodamientos**



Fuente: *Catálogo de La casa de los rodamientos*. www.lacasadelosrodamientos.net. Consulta: 10 de enero de 2019.

2.2.4. **Eje**

El eje es fabricado principalmente de acero al carbono y acero inoxidable, tiene como función transmitir el torque que recibe del motor durante la operación de bombeo, ambos ejes se unen por medio de un acople. En la figura 21 se muestra un ejemplo de eje para una bomba rotatoria.

Figura 21. **Eje de bomba rotatoria**



Fuente: *Catálogo de Morales & Cía. Ltda.* www.moralesycialtda.com. Consulta: 10 de enero de 2019.

2.3. Tipos de bombas rotatorias

Los tipos de bombas rotatorias de diseño simple y con mayor frecuencia utilizadas en los diversos tipos de industria son los que a continuación se describen:

2.3.1. De lóbulos

Este tipo de bomba consta de elementos rotatorios con dos, tres, cuatro o más lóbulos, similares a las ruedas dentadas pero de forma redondeada en las superficies radiales de los rotores, que se sincronizan para ejecutar una rotación positiva por medio de engranajes externos.

El fluido de trabajo viaja alrededor de los lóbulos y la carcasa, que mantienen un constante contacto durante el movimiento rotatorio, generalmente son para líquidos de viscosidad alta. Cuando los lóbulos son helicoidales son usados para aplicaciones de bajas presiones. En las figuras 22 y 23 se muestran los modelos de bombas de lóbulos, su apariencia física y un dibujo representativo del funcionamiento básico de entrada y salida para cada caso.

Figura 22. **Bomba de lóbulos internos**



Fuente: *Catálogo de fabricantes de bomba de aceite.* www.spanish.alibaba.com/g/gerotor-oil-pump.html. Consulta: 29 de enero de 2019.

Figura 23. **Bomba de lóbulos externos**



Fuente: *Catálogo de La casa de los rodamientos*. www.lacasadelosrodamientos.net. Consulta: 30 de enero de 2019.

2.3.2. De engranajes

Este tipo de bombas emplea directamente los engranajes para generar su movimiento rotatorio y ejecutar el trabajo. Son empleadas comúnmente en la industria alimentaria para el transporte de materias primas, industria química y farmacéutica, para la producción de polímeros y en la industria petroquímica, con aplicaciones a altas presiones y líquidos con altas viscosidades. Para prevenir la cavitación, en el lado de succión, la presión no deberá exceder de 1.5 - 3 psi.

Las principales características de las bombas de engranajes son:

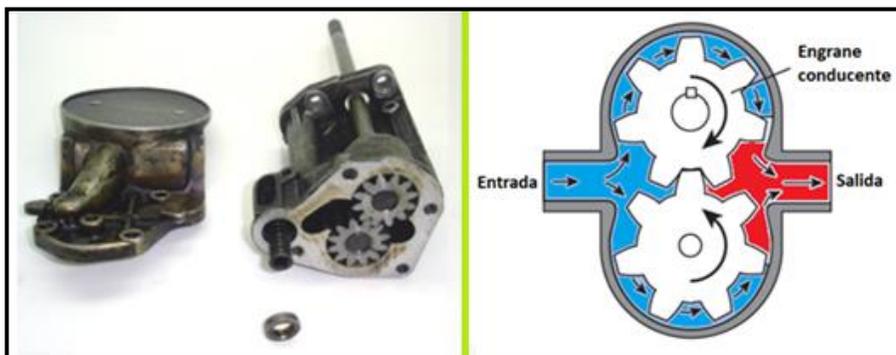
- Bajo costo en relación a otros modelos.
- Tienen pocas piezas móviles.
- Son de diseño simple.
- Montaje y desmontaje sencillo.
- Suministran variedad de caudales, según su velocidad de giro.
- La presión de trabajo está directamente relacionada con las revoluciones.
- Su rendimiento oscila entre el 85 % y el 90 %.

- Son ruidosas.

A continuación se presentan dos modelos de bombas de engranajes:

- Engranaje externo: las bombas de engranaje externo constan de ruedas dentadas de igual diámetro, que impulsan al fluido entre sus dientes y las paredes de la carcasa. Entre sus principales características físicas presentan una forma simétrica y el eje puede girar en ambos sentidos. Sus engranajes pueden ser rectos, helicoidales simples o dobles, como el tipo espina de pescado. En la figura 24 se muestra un modelo de bomba de engranaje externo, su apariencia física y un dibujo representativo del funcionamiento básico de entrada y salida.

Figura 24. **Bomba de engranaje externo**

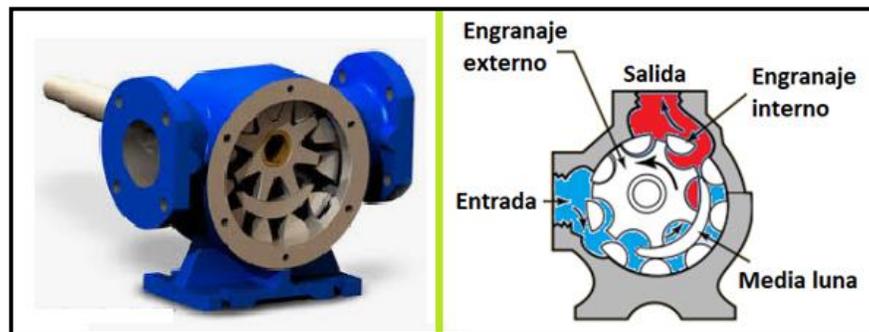


Fuente: *Bombas rotatorias de engranaje*. www.hydraulicspneumatics.com/blog/principios-ingenieriles-b-sicos-bombas-hidr-ulicas. Consulta: 29 de enero de 2019.

- Engranaje interno: este tipo de bomba consta de un rotor con dientes cortados internamente, que encajan con un engrane loco, cortado externamente. Puede utilizarse un elemento en forma de luna creciente para evitar que el líquido retorne al área de succión, de esta manera el líquido es conducido desde el lado de succión hasta el lado de presión a lo

largo de la pared del alojamiento de los engranajes. En la figura 25 se muestra un modelo de bomba de engranaje interno, su apariencia física y un dibujo representativo del funcionamiento básico de entrada y salida.

Figura 25. **Bomba de engranaje interno**



Fuente: *Bomba de engranaje interno*. www.hydraulicspneumatics.com/blog/principios-ingenieriles-b-sicos-bombas-hidr-ulicas. Consulta: 29 de enero de 2019.

2.3.3. De tornillo

Estas bombas reciben este nombre por la forma cilíndrica o de espiral de sus elementos rotatorios, presentan diseños un poco más complejos. Una bomba de tornillo puede constar de un solo elemento de forma simple ejecutando un movimiento giratorio o de dos a tres tornillos roscados que giran de forma sincronizada siempre dentro de la carcasa de la bomba.

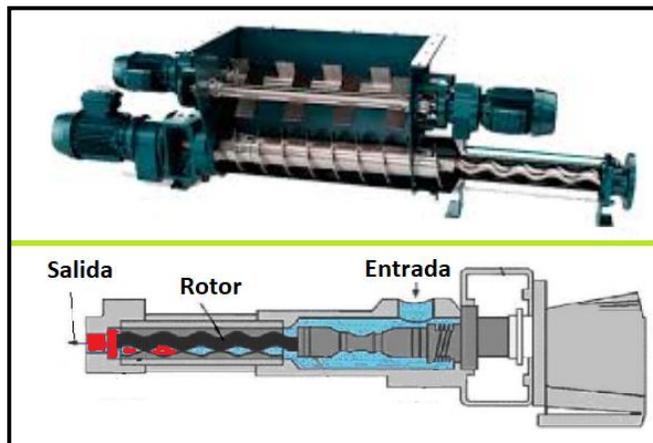
Durante su funcionamiento, el fluido se encierra entre los tornillos que no se tocan entre sí y las paredes de la carcasa, forzando al líquido a circular desde la zona de succión hasta la zona de descarga. Las principales características de las bombas de tornillo son:

- Pueden desarrollar altas presiones, hasta 1000 psi.

- Eficiente para líquidos de viscosidad alta.
- Ideales para aguas residuales, pueden manejar sólidos.
- Son capaces de operar fluidos corrosivos y abrasivos.
- Presentan alto rendimiento.
- Pueden tener tamaños desde 0.3 a 3m. de diámetro exterior.
- Altura de bombeo limitada a 7m.

En la figura 26 se muestra un modelo de bomba de tornillo, su apariencia física y un dibujo representativo del funcionamiento básico de entrada y salida.

Figura 26. **Bomba de tornillo**



Fuente: *Bomba de tornillo*. www.osal.com.ar/detalle.php?a=reparacion-de-bombas-a-tornillo-y-engranajes&t=8&d=33. Consulta: 29 de enero de 2019.

2.3.4. De paletas deslizantes

Esta bomba consta de un rotor que contiene una serie de paletas articuladas que conducen el líquido hasta la zona de descarga de la bomba, por medio de la fuerza centrífuga cuando el rotor gira, empujando estas paletas contra la pared de la carcasa, es decir, las paletas se deslizan dentro y fuera de

las ranuras del rotor para mantener un sello contra el anillo excéntrico, por el contacto. Conforme el movimiento de las paletas, el volumen del fluido cambia, en la succión el volumen de la cámara aumenta y se llena de aceite desde la línea de succión y, en la descarga, el volumen de la cámara disminuye y el aceite es empujado hacia la línea de presión.

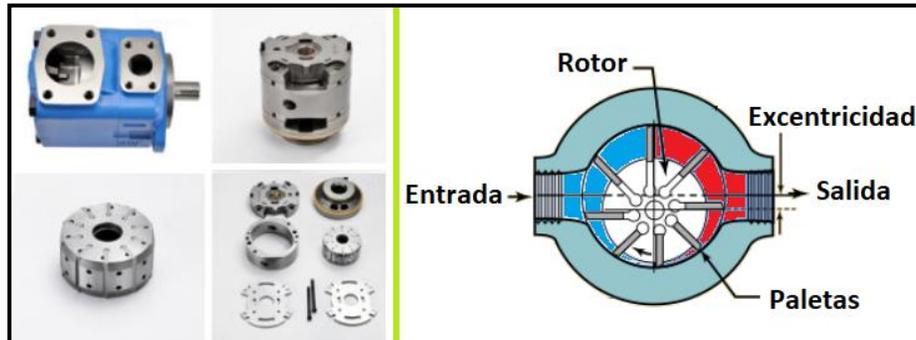
Las paletas son fabricadas de acero templado, bronce o baquelita, diseñadas para formar un sello, un extremo de las paletas es biselado para regular el contacto entre la paleta y el anillo excéntrico. Cuando mayor sea el número de paletas deslizantes, menor será el riesgo de fuga.

Estas bombas entregan un caudal uniforme con un nivel de ruido bajo, operando a velocidades altas y con fluidos de bajo valor lubricante, se produce desgaste rápidamente en los puntos de deslizamiento de las paletas.

Para prevenir la cavitación, la presión en el lado de succión no deberá exceder los 0.1 0.2 bar (10 a 20 kPa) por debajo de la presión atmosférica (presión mínima absoluta: 0.8 bar ó 80 kPa).

En la figura 27 se muestra un modelo de bomba de paletas deslizantes, su apariencia física y un dibujo representativo del funcionamiento básico de entrada y salida.

Figura 27. **Bomba de paletas deslizantes**



Fuente: *Bomba de paletas deslizantes*. es.made-in-china.com/co_longeehyd/product_Eaton-Vickers-V-Vq-Series-Hydraulic-Pump_enugsggsy.html. Consulta: 30 de enero de 2019.

3. MONTAJE Y MANTENIMIENTO

El curso de Máquinas Hidráulicas se desarrolla en 7 unidades teóricas, desarrolla contenidos conceptuales de bombas hidráulicas y turbinas, problemas hidrodinámicos, selección, similitud y teoría de máquinas hidráulicas.

Se procede a desarrollar el proceso de montaje de los modelos de bombas hidráulicas rotatorias, como parte de la propuesta del contenido pragmático para el curso de Máquinas Hidráulicas, con la descripción de las herramientas necesarias para las bombas y el procedimiento a seguir en cada modelo.

3.1. Montaje de bombas

Para el desarrollo de la propuesta del contenido pragmático dentro del curso de Máquinas Hidráulicas se tomarán 3 modelos distintos de bombas rotatorias, para que el estudiante aprecie sus diseños internos:

- Bomba de lóbulos
- Bomba de engranajes
- Bomba de paletas deslizantes

3.1.1. Herramientas

Conforme a la propuesta del contenido pragmático, para cada bomba se emplearán herramientas similares con fines didácticos, se describen en la tabla VI.

Tabla VI. **Herramientas a utilizar por bomba**

Herramienta	Bomba de lóbulos	Bomba de engranajes	Bomba de paletas
Llave mixta	X	X	X
Pinza			X
Sargento			X
Desarmador y martillo			X
Tornillo tipo Spax		X	

Fuente: elaboración propia.

- Bomba de lóbulos: se emplea únicamente una llave mixta de 10mm, que se muestra en la figura 28, para retirar los pernos de sujeción y observar el mecanismo interno de la bomba.

Figura 28. **Herramienta para bomba de lóbulos**



Fuente: elaboración propia.

- Bomba de engranajes: se emplea una llave mixta de 10mm y un tornillo tipo Spax, únicamente para fines didácticos, que facilita la apertura del área de la válvula reguladora, para observar el mecanismo interno de los

engranajes. En la figura 29 se muestra la herramienta a utilizar, en el caso de la bomba de engranajes.

Figura 29. **Herramienta para bomba de engranajes**



Fuente: elaboración propia.

- Bomba de paletas deslizantes: se emplean dos llaves mixtas, una de 12mm y otra de 19mm, una pinza para retirar las piezas donde se requiere fuerza y existe un espacio reducido. El sargento o prensa se utiliza para sujetar la bomba y así poder retirar el sello utilizando un desarmador y un martillo, para finalmente observar el mecanismo de paletas. En la figura 30 se muestra la herramienta a utilizar, en el caso de la bomba de engranajes.

Figura 30. **Herramienta para bomba de paletas deslizantes**



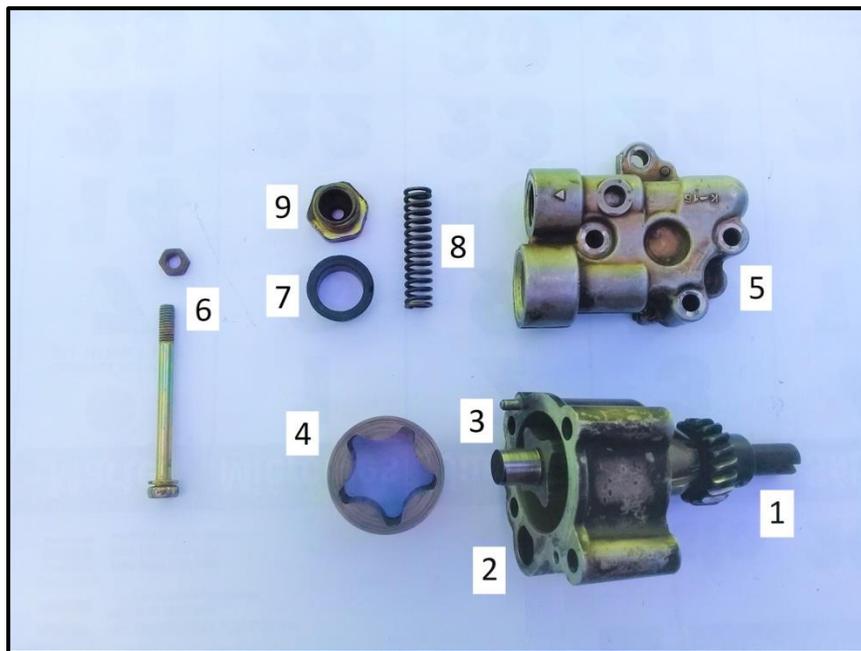
Fuente: elaboración propia.

3.1.2. Procedimiento

Se detalla el procedimiento desde que se tiene la bomba desarmada, para mostrar todas las piezas con las que cuenta cada una desde el principio. El montaje y desmontaje se realiza de la misma forma con los pasos ordenados presentados a continuación:

- Bomba de lóbulos: en la figura 31 se aprecian las partes enumeradas del modelo de la bomba de lóbulos desarmada, las cuales se detallan en la tabla VII, para lograr identificarlas en el desarrollo de la práctica.

Figura 31. **Bomba de lóbulo interno por partes**



Fuente: elaboración propia.

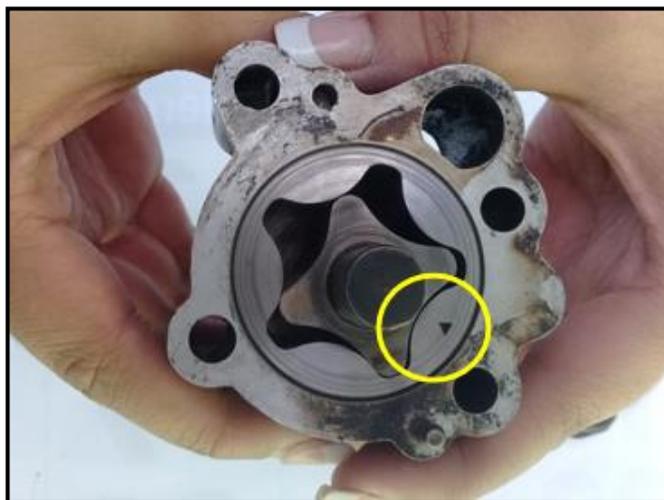
Tabla VII. **Lista de piezas de bomba de l6bulo interno**

N6mero	Nombre
1	Eje
2	Carcasa
3	Rotor
4	Estator
5	Tapa superior
6	Tornillo y tuerca de seguridad
7	Sello hidr6ulico
8	Muelle o resorte
9	Tornillo regulador de presi6n

Fuente: elaboraci6n propia.

- o Paso 1: colocar el estator de forma correcta, verificando que coincida con el rotor de la bomba, como lo indica el peque1o tri6ngulo se1alado en la figura 32.

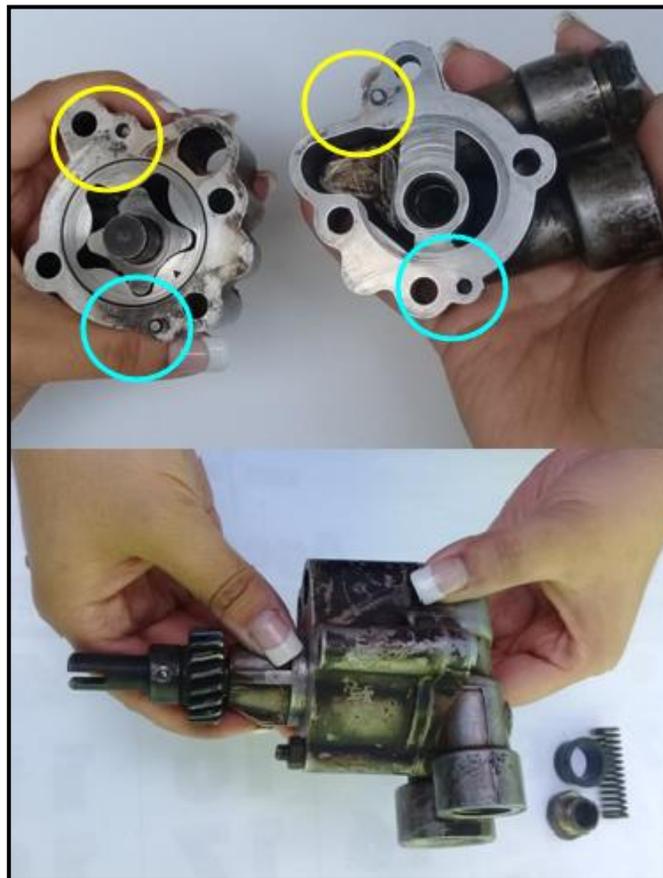
Figura 32. **Paso 1**



Fuente: elaboraci6n propia.

- Paso 2: colocar la tapa superior, verificando la posición correcta por medio de las guías señaladas en la figura 33.

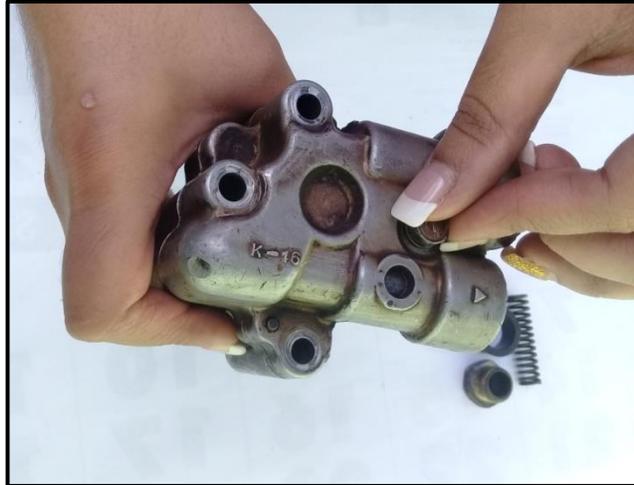
Figura 33. **Paso 2**



Fuente: elaboración propia.

- Paso 3: colocar el tornillo y la tuerca de seguridad en su lugar, como lo indica la figura 34.

Figura 34. **Paso 3**



Fuente: elaboración propia.

- Paso 4: apretar ligeramente el tornillo utilizando la llave mixta de 10mm, como se muestra en la figura 35.

Figura 35. **Paso 4**



Fuente: elaboración propia.

- Paso 5: observar la válvula reguladora de presión al fondo y luego colocar el muelle o resorte, como lo indica la figura 36.

Figura 36. **Paso 5**



Fuente: elaboración propia.

- Paso 6: colocar correctamente el sello hidráulico, como se observa en la figura 37.

Figura 37. **Paso 6**



Fuente: elaboración propia.

- Paso 7: finalmente colocar el tornillo regulador de presión, como se muestra en la figura 38, aplicando una fuerza manual moderadamente alta, sujetando bien la bomba.

Figura 38. **Paso 7**



Fuente: elaboración propia.

En la figura 39 se muestra la bomba de lóbulos interno completamente armada, para finalizar la práctica.

Figura 39. **Bomba de lóbulos interno armada**



Fuente: elaboración propia.

- Bomba de engranajes: en la figura 40 se aprecian las partes enumeradas del modelo de la bomba de engranajes desarmada, las cuales se detallan en la tabla VIII, para lograr identificarlas en el desarrollo de la práctica.

Figura 40. **Bomba de engranajes por partes**



Fuente: elaboración propia.

Tabla VIII. **Lista de piezas de bomba de engranajes**

Número	Nombre
1	Carcasa
2	Engranaje conducido
3	Eje y engranaje conducente
4	Tapa superior
5	Tornillos fijadores
6	Muelle o resorte
7	Tapón de retén

Fuente: elaboración propia.

- Paso 1: colocar el engranaje conducido en su correcta posición, verificando el montaje por medio de las guías, como lo indica la figura 41.

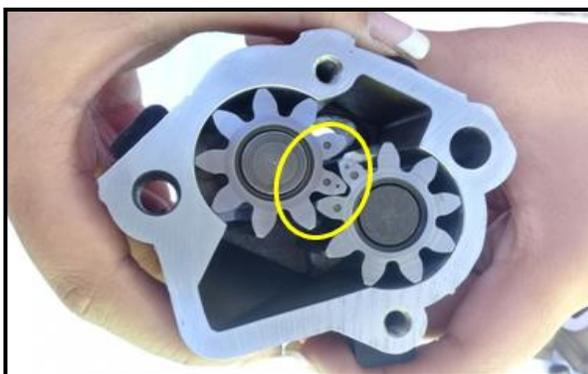
Figura 41. **Paso 1**



Fuente: elaboración propia.

- Paso 2: introducir el eje, el cual está unido al engranaje conducente, por la parte superior, verificando su posición como se muestra en la figura 42.

Figura 42. **Paso 2**



Fuente: elaboración propia.

- Paso 3: colocar la tapa superior de la bomba en su posición correcta, verificando que las partes coincidan, como se muestra en la figura 43.

Figura 43. **Paso 3**



Fuente: elaboración propia.

- Paso 4: colocar ambos tornillos en sus posiciones, como se muestra en la figura 44, luego apretarlos correctamente con la llave mixta de 10mm.

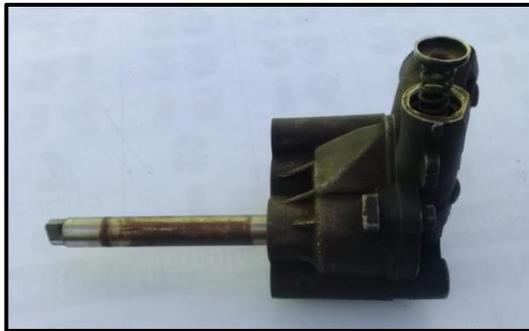
Figura 44. **Paso 4**



Fuente: elaboración propia.

- Paso 5: colocar el muelle o resorte en el lugar correspondiente y presionar uniformemente el tapón de retén para cerrar, como se muestra en la figura 45. Para retirar el tapón de retén, para fines didácticos, se utilizará un tornillo tipo Spax aplicando una fuerza moderadamente pequeña a presión.

Figura 45. **Paso 5**



Fuente: elaboración propia.

En la figura 46 se muestra la bomba de engranajes completamente armada, para finalizar la práctica.

Figura 46. **Bomba de engranajes armada**



Fuente: elaboración propia.

- Bomba de paletas deslizantes: en la figura 47 se aprecian las partes enumeradas del modelo de la bomba de paletas deslizantes desarmada, las cuales se detallan en la tabla IX, para lograr identificarlas en el desarrollo de la práctica.

Figura 47. **Bomba de paletas por partes**



Fuente: elaboración propia.

Tabla IX. **Lista de piezas de bomba de paletas**

Número	Nombre
1	Carcasa
2	Anillo excéntrico
3	Rotor (Disco de paletas)
4	Paletas
5	Placa de presión
6	Muelle o resorte
7	Tapa de presión
8	Anillo de seguridad
9	Muelle o resorte de válvula
10	Embolo de válvula reguladora
11	Tornillo regulador de presión
12	Soporte y tornillos
13	Polea
14	Roldana y tuerca
15	Sello y tapa

Fuente: elaboración propia.

- Paso 1: sujetar firmemente la carcasa e introducir suavemente, en su correcta posición, el anillo excéntrico en el fondo, como se indica en la figura 48.

Figura 48. **Paso 1**



Fuente: elaboración propia.

- Paso 2: introducir correctamente el rotor, verificando la posición de las superficies de la pieza, respecto al eje y al anillo excéntrico, como se muestra en la figura 49.

Figura 49. **Paso 2**



Fuente: elaboración propia.

- Paso 3: colocar cada una de las paletas en sus posiciones dentro del rotor, verificando la forma correcta de colocarlas, como se indica en la figura 50.

Figura 50. **Paso 3**



Fuente: elaboración propia.

La figura 51 muestra el rotor de la bomba con todas las paletas en su correcta posición, listas para el siguiente paso.

Figura 51. **Rotor con paletas**



Fuente: elaboración propia.

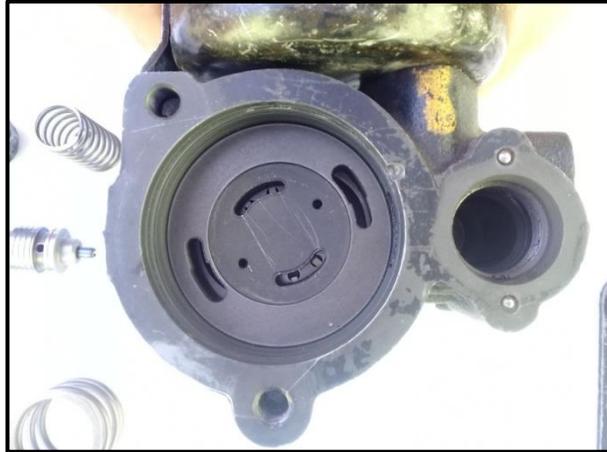
- Paso 4: colocar la placa de presión utilizando las pinzas para mayor accesibilidad, verificando la posición por medio de las guías que trae la misma bomba, como se muestra en la figura 52. Debe quedar de la forma indicada en la figura 53, donde puede hacerse una pequeña visualización de la parte rotatoria cerrada.

Figura 52. **Paso 4**



Fuente: elaboración propia.

Figura 53. **Parte rotatoria cerrada**



Fuente: elaboración propia.

- Paso 5: colocar el muelle o resorte de la válvula reguladora de presión en su respectiva posición, como se muestra en la figura 54.

Figura 54. **Paso 5**



Fuente: elaboración propia.

- Paso 6: se coloca el émbolo de la válvula reguladora en su correcta posición, como se muestra en la figura 55, presionando un poco sin forzar demasiado.

Figura 55. **Paso 6**



Fuente: elaboración propia.

- Paso 7: colocar el tornillo regulador, como se indica en la figura 56, ejerciendo una fuerza manual moderadamente alta, sujetando bien la bomba, sin lastimar ninguna pieza.

Figura 56. **Paso 7**



Fuente: elaboración propia.

- Paso 8: colocar el muelle o resorte respectivo sobre la tapa de la parte rotatoria de la bomba, como se muestra en la figura 57.

Figura 57. **Paso 8**



Fuente: elaboración propia.

- Paso 9: colocar la tapa de presión sobre el muelle o resorte, como se muestra en la figura 58.

Figura 58. **Paso 9**



Fuente: elaboración propia.

- Paso 10: presionar la tapa empleando una prensa sargento para una mejor sujeción del cuerpo de la bomba y colocar el anillo de seguridad, como se indica en la figura 59.

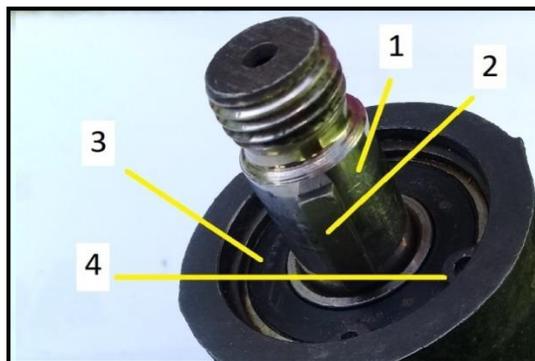
Figura 59. **Paso 10**



Fuente: elaboración propia.

En la figura 60 se muestran las partes externas enumeradas de la bomba de paletas deslizantes, las cuales se detallan en la tabla X.

Figura 60. **Identificación de partes**



Fuente: elaboración propia.

Tabla X. **Identificación de partes externas**

Número	Nombre
1	Eje
2	Cuña o chaveta
3	Cojinete
4	Sello hidráulico

Fuente: elaboración propia.

- Paso 11: se coloca el soporte metálico en su respectiva posición, de la forma indicada en la figura 61.

Figura 61. **Paso 11**



Fuente: elaboración propia.

- Paso 12: colocar los tornillos para fijar la pieza y apretarlos utilizando la llave mixta de 12mm, en orden, primero las orillas y luego el tornillo central, sin apretar demasiado. Colocar la chaveta en su respectiva ranura en el eje, tratar de dejarla un poco inclinada para que ensamblar la polea sea con menor dificultad, como se observa en la figura 62.

Figura 62. **Paso 12**



Fuente: elaboración propia.

- Paso 13: colocar la polea, sin ejercer demasiada presión para evitar lastimarla, pues debe entrar con una fuerza moderada. Puede ser que en este momento la cuña se mueva un poco, pero con paciencia se coloca de nuevo en posición inclinada y se introduce la polea nuevamente. Después de la polea se coloca la roldana o arandela, sobre la polea, como se muestra en la figura 63.

Figura 63. **Paso 13**



Fuente: elaboración propia.

- Paso 14: se coloca la respectiva tuerca sobre la roldana, como se indica en la figura 64, para fijar la polea apretando con la llave mixta de 19mm.

Figura 64. **Paso 14**



Fuente: elaboración propia.

- Paso 15: colocar el sello y tapa en la parte superior de la carcasa de la bomba, utilizando ambas manos para mayor facilidad.

Figura 65. **Paso 15**



Fuente: elaboración propia.

En la figura 66 se muestra la bomba de paletas deslizantes completamente armada, para finalizar la práctica.

Figura 66. **Bomba de paletas armada**



Fuente: elaboración propia.

3.2. Mantenimiento

Las bombas hidráulicas horizontales rotatorias necesitan de pocas tareas de mantenimiento, estas máquinas operando normalmente pueden tener una vida útil larga si se les instala correctamente, operan bajo las condiciones establecidas por el fabricante de acuerdo a su capacidad y reciben un mantenimiento eficiente en cuanto a limpieza y revisiones principalmente. Previo a realizar el mantenimiento de máquinas, el operador debe reconocer las señales de peligro, que se detallan en la tabla XI:

Tabla XI. **Simbología en manuales**

Símbolo	Significado
	<p>PRECAUCIÓN Es una advertencia que indica una situación peligrosa, se pueden provocar lesiones o accidentes.</p>
	<p>RIESGO ELÉCTRICO Es una advertencia que indica peligro eléctrico si no se toman las medidas de seguridad pertinentes.</p>
	<p>ATMÓSFERA EXPLOSIVA Indica advertencia en situaciones que podrían representar riesgo de explosión.</p>
	<p>SUPERFICIE CALIENTE Es una advertencia de riesgo al contacto directo con superficies a altas temperaturas.</p>

Fuente: elaboración propia, con base en Organización Internacional de Normalización. Norma ISO 7010:2012. Símbolos gráficos. Colores y señales de seguridad. Señales de seguridad registradas. www.es.sinalux.eu/es/articulos-tecnicos/sinalux-informa-17-abr-15/nueva-norma-en-iso-7010-2012. Consulta: 23 de enero de 2019.

3.2.1. Diagnóstico de fallas

Una bomba hidráulica, como cualquier máquina, puede presentar fallas en algún momento, bastará con prestar atención a los problemas para determinar las posibles causas del problema para dar las soluciones pertinentes, generalmente las bombas rotatorias tienen una larga vida útil, si desde el principio son correctamente seleccionadas e instaladas.

A continuación se presentan los problemas más comunes y las posibles causas, para revisar y solucionar inmediatamente:

- La bomba no descarga líquido: es un problema que se presenta de forma parcial o total. Las posibles causas son una mala conexión conforme a las condiciones de la bomba, rotación en sentido contrario, elevada altura de aspiración o descarga, entrada de aire en la tubería de aspiración, velocidad muy baja, obstrucciones en el tubo, el impulsor o la carcasa.
- La bomba se detiene luego de arrancar: es un problema serio e indeseable para las industrias donde se involucran estas máquinas en una producción en línea o de forma continua, porque detiene el proceso completo. Son muchas las causas, las bombas no se cebaron correctamente en caso de ser necesario, entradas de aire u obstrucciones en la tubería de succión, anillos hidráulicos mal instalados.
- La bomba vibra o produce mucho ruido: son dos problemas relacionados directamente y sensibles superficialmente, se debe monitorear el ruido y las vibraciones que producen las máquinas, verificando sus rangos aceptables. Son muchas las causas que originan estos problemas, entre ellos los ajustes incorrectos del eje con el impulsor, obstrucciones en el interior de la bomba, líquidos con impurezas, desalineamiento, cuando opera la bomba alguna pieza giratoria toca una pieza estacionaria, cojinetes desgastados, daños en el impulsor, la bomba funciona a muy baja capacidad.
- Calentamiento de cojinetes: cuando se detecta un aumento de la temperatura en las piezas de la bomba es necesario evaluar inmediatamente las causas del problema. Los cojinetes llegarán a estas

condiciones si están mal ajustados, si la bomba está desalineada, el eje está ajustado incorrectamente con el impulsor, falta o exceso de lubricación, lubricantes con impurezas, el impulsor está desequilibrado, posiblemente también presenten desgaste.

- La bomba trabaja forzada: ninguna bomba debe funcionar bajo estas condiciones, debido a que podrían provocar fallas prematuras. Entre las causas que originan un trabajo forzado en las bombas está el desalineamiento, una pieza giratoria toca una estacionaria cuando está funcionando y hay impurezas en el líquido.
- La bomba requiere demasiada potencia: es uno de los problemas que surgen por la selección inadecuada de la bomba. Las causas pueden ser que la bomba está trabajando a una velocidad muy baja, la carga manométrica total del sistema es mayor o menor que la de la bomba, las características del fluido de trabajo no son las planeadas originalmente, desalineamiento, el eje está torcido, una pieza giratoria toca una pieza estacionaria, la empaquetadura es incorrecta, existen obstrucciones en la succión, el impulsor o la carcasa.
- Presión insuficiente: la bomba se encuentra operando bajo condiciones inadecuadas, las cuales pueden ser velocidad baja, aire en el líquido, diámetro del rodete demasiado pequeño, rotación en sentido contrario, anillos y cojinetes desgastados, eje torcido, caja de estopas demasiado apretada, empaquetaduras defectuosas.
- Capacidad inadecuada: este problema surge principalmente por la falta de estudio del sistema hidráulico completo o cambios dentro del mismo. Las causas pueden ser un cebado incorrecto, aire en la entrada y dentro de la

tubería de succión, válvulas inadecuadas, válvulas y carcasa obstruidas, velocidades bajas, cambio de viscosidad por nuevo líquido, conexiones inadecuadas, impulsor dañado y anillos desgastados.

- Carga inadecuada: este problema también puede surgir por la falta de estudio del sistema hidráulico completo o cambios dentro del mismo. Las posibles causas son impurezas en el líquido, velocidades bajas, el sentido de rotación es incorrecto, viscosidad distinta a la original empleada, conexiones inadecuadas, anillos desgastados e impulsor dañado.
- Daños en la carcasa: este problema puede percibirse por medio de la observación, la causa principal es un montaje demasiado tenso, ocasionando fisuras en la carcasa, fugas e incluso el fallo total de la bomba.

3.2.2. Control de equipo

La administración es una herramienta útil, que propone planificar, organizar, ejecutar, controlar y evaluar los resultados de cualquier proceso. Entonces, dentro del mantenimiento de maquinaria y equipo será primordial seguir dichos pasos para desarrollar eficientemente todos los procedimientos necesarios para lograr los objetivos establecidos con resultados óptimos.

Normalmente se debe ejercer control respecto a las tareas de mantenimiento realizado y condiciones de la maquinaria y equipo, así como sobre las herramientas utilizadas, incluso también es necesario llevar un control de los inventarios de repuestos e insumos consumidos y cantidades disponibles en bodega, para evitar contratiempos.

La metodología para el control del mantenimiento queda a criterio de los encargados del área, quienes en la actualidad regularmente optan por implementar archivos cronológicos que incluyen formatos relacionados con sus intereses:

- Solicitud de insumos: lubricantes, *waype*, tornillos, tuercas, etc.
- Solicitud de repuestos: cojinetes, sellos, tubería, válvulas, etc.
- Informe del estado de la maquinaria y equipo, antes y después de realizar el mantenimiento, mediante formatos y observaciones.
- Lista de tareas realizadas.
- Solicitudes de equipo de protección personal.

3.2.3. Tareas de mantenimiento

Es necesario dejar registro escrito de las tareas de mantenimiento, para ejercer un mejor control del estado de la maquinaria y equipo en general. En la figura 67 se presenta un modelo de formato para generar una orden de trabajo, en el caso de las bombas hidráulicas horizontales rotatorias.

Figura 67. **Modelo de orden de trabajo para bomba rotatoria**

ORDEN DE TRABAJO			
Número: _____		Departamento: _____	
Fecha: _____		Encargado: _____	
Hora de inicio: _____		Ubicación: _____	
Tipo de mantenimiento: _____		Código de equipo: _____	
Suministros:		Evaluación:	
EPP	□	Partes externas	
Herramientas	□	Cimentación	□
Repuestos	□	Válvulas	□
		Tuberías	□
Trabajo a realizar:		Carcasa	□
Desmontaje	□	Tornillos	□
Limpieza externa	□	Partes internas	
Limpieza interna	□	Elementos rotatorios	□
Inspección	□	Carcasa	□
Montaje	□	Entrada	□
Anclaje	□	Salida	□
Observaciones: _____			

			Hora final: _____
_____		_____	
Técnico responsable		Encargado de área	

Supervisor general			

Fuente: elaboración propia.

En todo momento debe llevarse un control de todas las tareas realizadas en mantenimiento, así también es necesario llevar el mismo control de todos los recursos disponibles para el área, entre ellos nuevo equipo de protección personal, nuevas herramientas, repuestos y lubricantes. Desde el punto de vista administrativo, será beneficioso para todos llevar el registro de los insumos disponibles, los consumidos y también las personas responsables de su uso y

optimización. En la figura 68 se presenta un modelo de solicitud de insumos, en el cual se puede incluir cualquier tipo de insumo en el detalle.

Figura 68. **Modelo de solicitud de insumos**

SOLICITUD DE INSUMOS	
Número: _____	Fecha: _____
Nombre del Solicitante: _____	
Departamento: _____	
Encargado: _____	
Detalle de la solicitud	Cantidad
TOTAL	
_____ Autorización Supervisor	

Fuente: elaboración propia.

Algunas recomendaciones adicionales para la instalación, operación y mantenimiento de bombas rotatorias en la industria son:

- Consultar en todo momento el manual del fabricante, será el que contiene la información exacta de las características de la bomba.

- Al ser bombas autocebantes, necesitan contar con un líquido capaz de proteger las partes que puedan sufrir desgaste, en relación a cantidad y sus propiedades.
- Siempre se debe colocar un filtro en la línea de succión de las bombas rotatorias, para eliminar posibles impurezas en el líquido.
- Nunca se debe cerrar la válvula de descarga cuando la bomba esté funcionando, se debe recordar que es una máquina que trabaja con temperaturas y presiones altas.
- Colocar medidores de presión en las líneas de descarga, toda máquina debe ser controlada mediante instrumentación pertinente.
- Llevar control del funcionamiento de la bomba, las variables y condiciones de operación.

4. CÁLCULOS

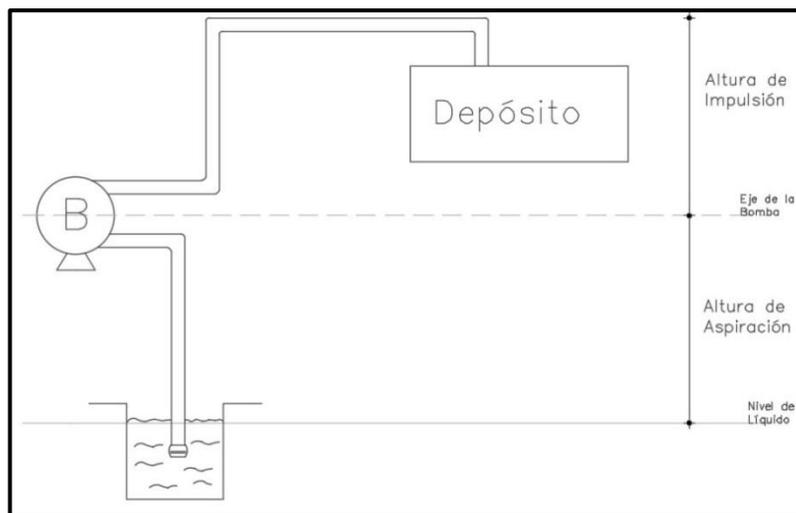
4.1. Generalidades

Se han mencionado anteriormente los aspectos a considerar para la selección de una bomba hidráulica rotatoria, el encargado debe verificar las condiciones físicas y ha de realizar una serie de cálculos para cumplir con las condiciones necesarias de selección y operación de la bomba.

4.2. Cálculos para bombas hidráulicas

Para definir los conceptos necesarios respecto a los cálculos y presentar las ecuaciones correspondientes, se debe observar la figura 69, que presenta un esquema básico de la posición de una bomba en un sistema hidráulico.

Figura 69. **Diagrama básico de instalación hidráulica**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

- **Altura total de aspiración:** se refiere a la suma algebraica de la altura estática de aspiración, la presión existente sobre el líquido en la entrada de la bomba, considerando las pérdidas por fricción en la tubería de aspiración. En el caso de bombas rotatorias, se debe recordar que, idealmente, el depósito debe ubicarse en un nivel superior al nivel de referencia seleccionado, donde se encuentra la bomba.
- **Altura total de impulsión:** es la suma algebraica de la altura estática de impulsión, pérdida de carga y presión sobre el líquido en el punto de recepción.

4.2.1. Curvas características

Las curvas características indican el comportamiento hidráulico, conforme al tipo de bomba, tamaño y diseño específico de cada modelo, según la velocidad de operación, el caudal desarrollado y la potencia suministrada por el rotor. En el caso de las bombas rotatorias se necesita evaluar dos curvas, verificando el sistema de unidades de medida correspondiente:

- Caudal de entrega (L/min y GPM) vs. Velocidad (RPM)
- Potencia de entrada (kW y HP) vs. Velocidad (RPM)

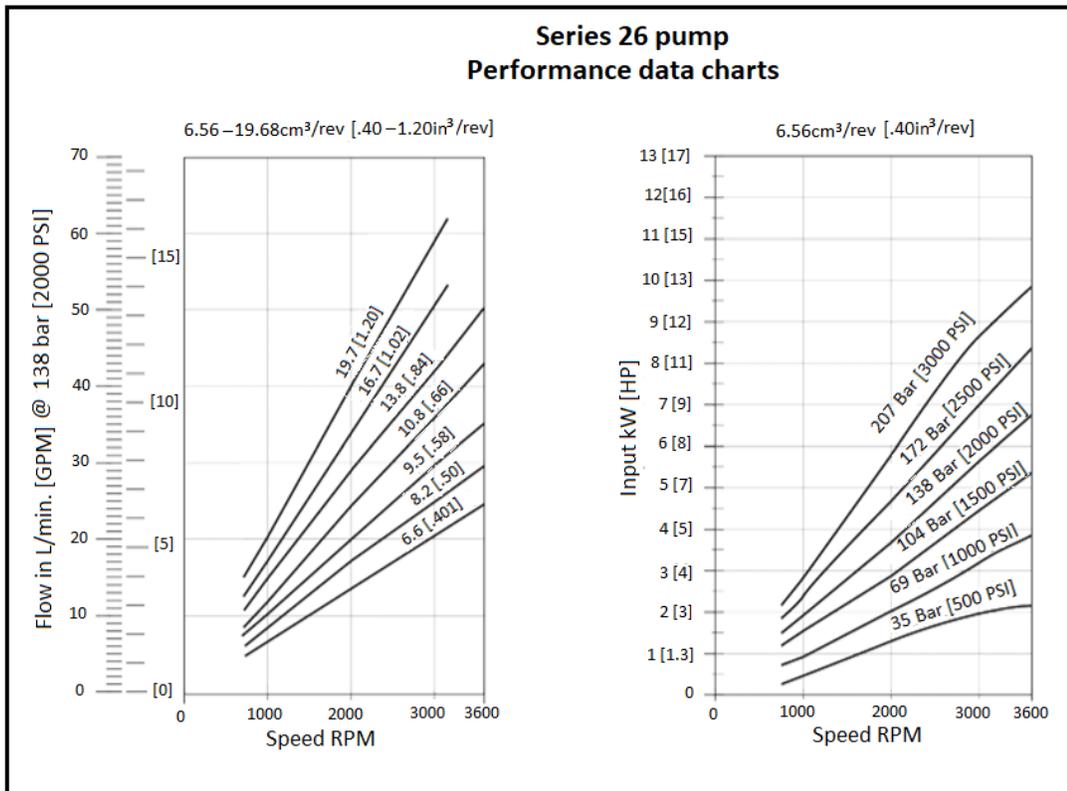
En ambas gráficas se presenta toda la información técnica necesaria de los modelos de las bombas rotatorias. La interpretación de estas curvas es sencilla, se procede de la siguiente forma:

- Establecer un caudal volumétrico a desarrollar.
- Conocer las características específicas del líquido de operación, principalmente la densidad y viscosidad, a la temperatura de bombeo.

- Evaluar las condiciones según la velocidad en RPM, tales como el desplazamiento, la presión de operación y la potencia.

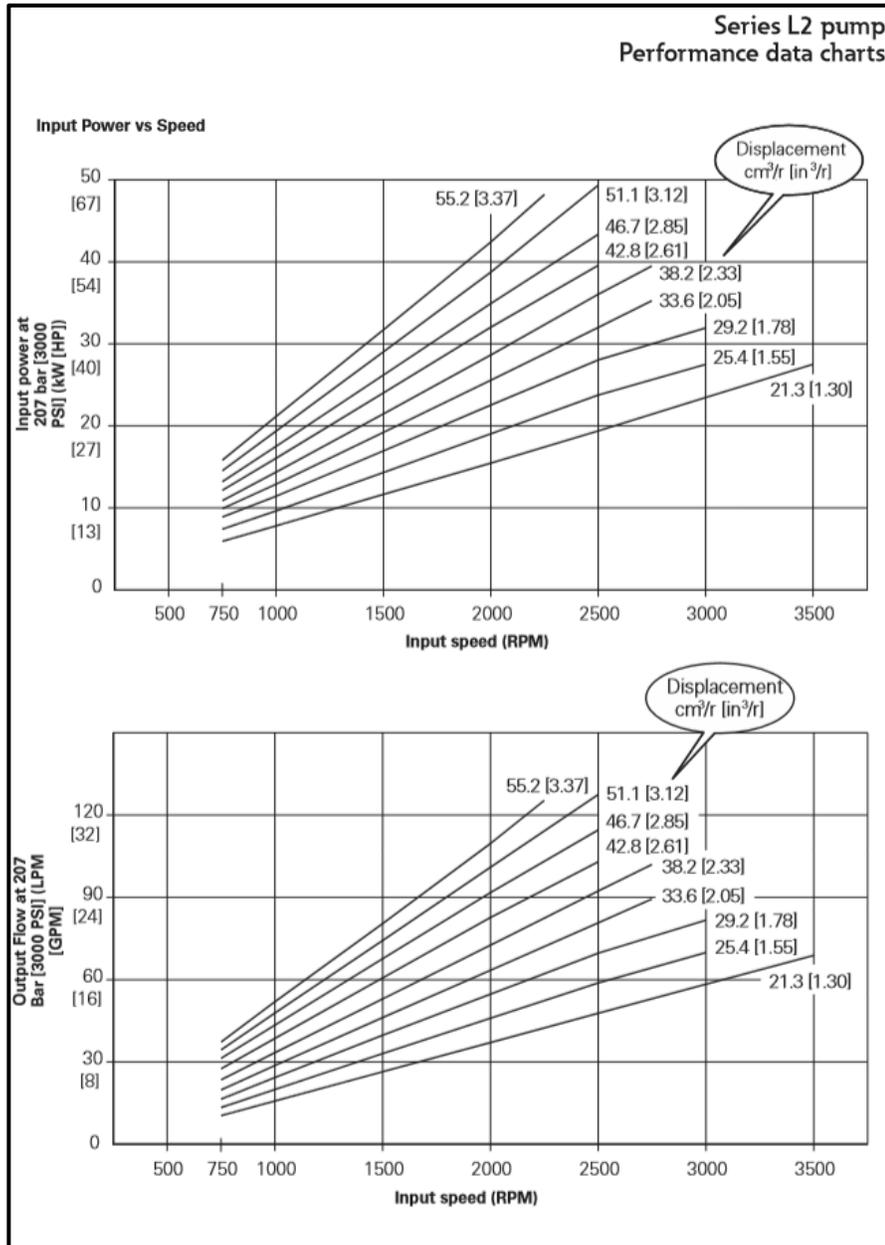
En las figuras 70, 71 y 72 se presentan algunos ejemplos de curvas características de modelos de bombas rotatorias, de sus catálogos específicos, que son proporcionados por las comercializadoras de estos productos como asistencia técnica. Aunque no son exactamente iguales para todos los modelos, la estructura e información siempre es la misma, por lo que no causa mayor complicación su interpretación.

Figura 70. **Curvas características de bomba de engranajes**



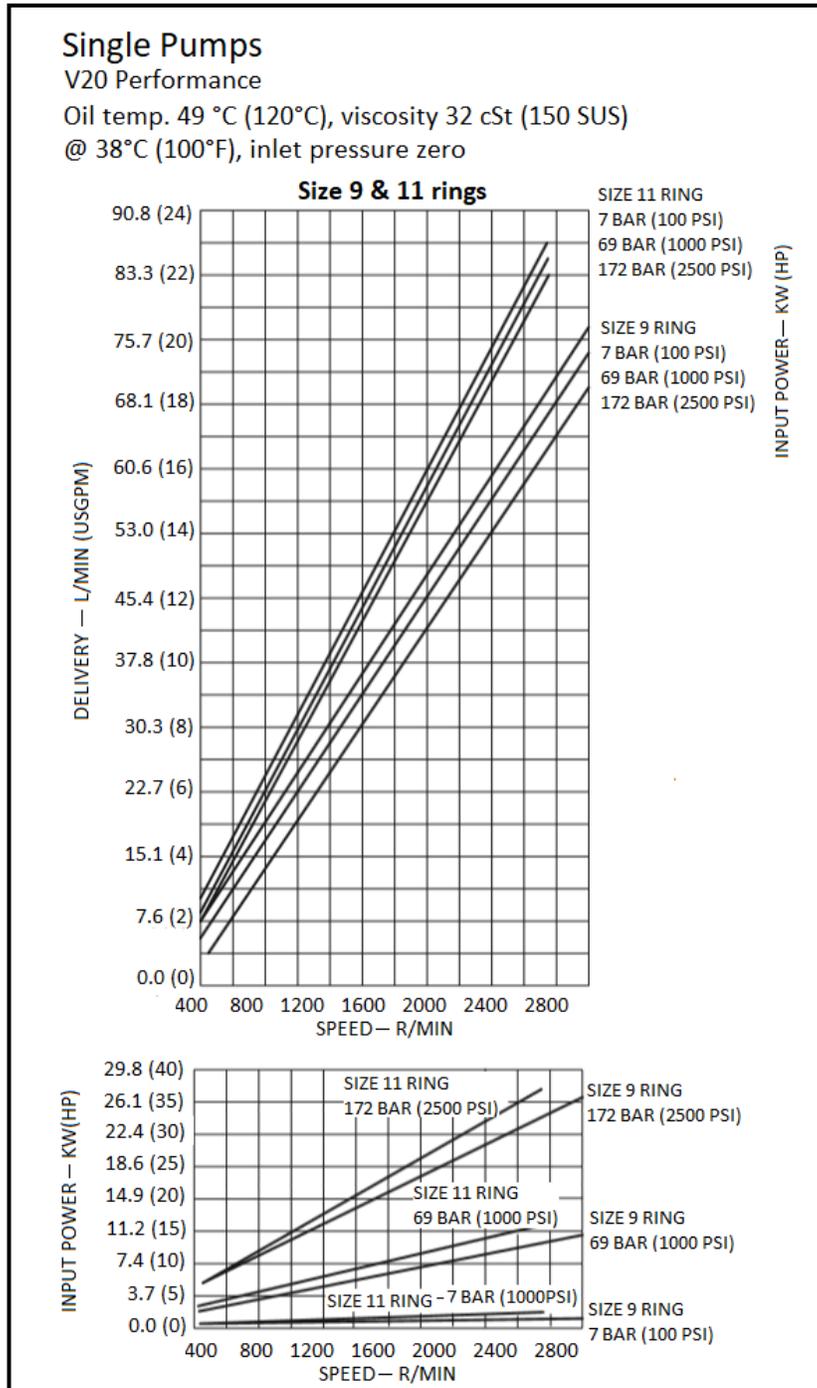
Fuente: Productos Hidráulicos de Centro América, S.A. *Catálogo técnico de bombas y motores de engranajes*. p. 5.

Figura 71. Curvas características de bomba de engranajes



Fuente: Productos Hidráulicos de Centro América, S.A. *Catálogo técnico de bombas y motores de engranajes*. pp. 30-31.

Figura 72. **Curvas características de bombas de paletas**

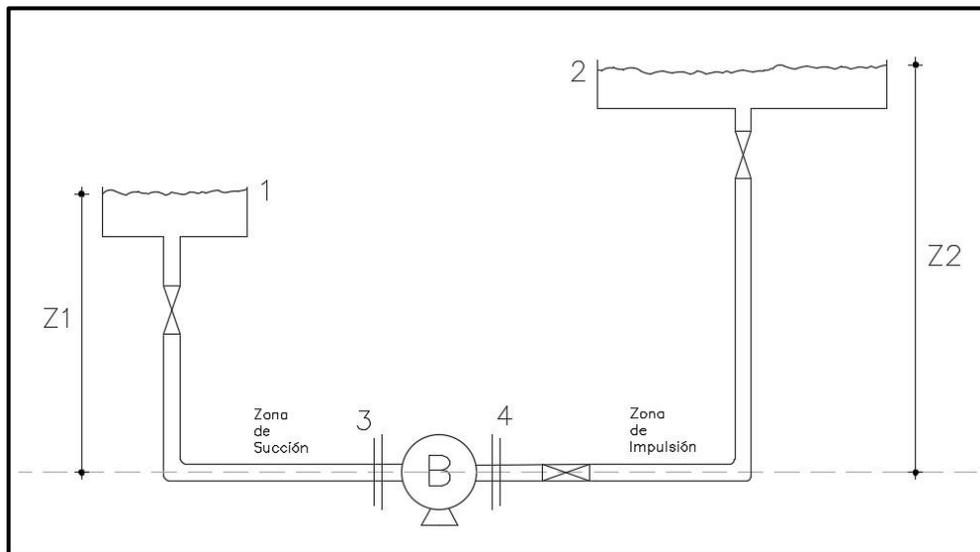


Fuente: Productos Hidráulicos de Centro América, S.A. *Catálogo técnico de bombas y motores de paletas.* p. 11.

4.2.2. Carga

La carga de la bomba se refiere a la diferencia entre las alturas totales de impulsión y de aspiración, definidas anteriormente. Es de gran importancia asegurarse que la carga neta positiva de succión (NPSH) sea óptima, para que la bomba siempre logre llenarse por completo, evitando así posibles problemas de cavitación. En la figura 73 se muestra un modelo ideal de la posición de una bomba rotatoria, donde se observa el depósito en la zona de succión sobre el nivel de la bomba.

Figura 73. Diagrama ideal de posición de una bomba rotatoria



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

- Carga de aspiración o succión: suma algebraica de la carga de presión, carga cinética y altura de succión, justo en la entrada de la bomba.

$$h_a = \frac{P_3}{\rho g} + \frac{V_3^2}{2g\alpha_3} + Z_3$$

Por medio de un balance de energía entre el punto 1 y 3, se obtiene:

$$\frac{P_1}{\rho g} + \frac{V_1^2}{2g\alpha_1} + Z_1 = \frac{P_3}{\rho g} + \frac{V_3^2}{2g\alpha_3} + Z_3 + \frac{\sum F_a}{g}$$

Entonces:

$$h_a = \frac{P_1}{\rho g} + \frac{V_1^2}{2g\alpha_1} + Z_1 - \frac{\sum F_a}{g}$$

- Carga de impulsión: suma algebraica de la carga de presión, carga cinética y altura de impulsión, justo en la salida de la bomba.

$$h_i = \frac{P_4}{\rho g} + \frac{V_4^2}{2g\alpha_4} + Z_4$$

Por medio de un balance de energía entre el punto 4 y 2, se obtiene:

$$\frac{P_4}{\rho g} + \frac{V_4^2}{2g\alpha_4} + Z_4 = \frac{P_2}{\rho g} + \frac{V_2^2}{2g\alpha_2} + Z_2 + \frac{\sum F_i}{g}$$

Entonces:

$$h_i = \frac{P_2}{\rho g} + \frac{V_2^2}{2g\alpha_2} + Z_2 + \frac{\sum F_i}{g}$$

- Carga total: diferencia algebraica entre la carga de impulsión y la carga de aspiración.

$$h = h_i - h_a$$

- NPSHr: este dato es proporcionado por el fabricante, depende exclusivamente del diseño constructivo de la bomba, representa la energía necesaria para llenar el área de aspiración y vencer las pérdidas por rozamientos.
- NPSHdis: se refiere a la diferencia entre la presión a la entrada de la bomba y la tensión de vapor del fluido a la temperatura de funcionamiento, en metros de columna de líquido.

Para cumplir con las condiciones de operación ideales, el valor de NPSHdis nunca deberá ser menor que el valor de NPSHr, de lo contrario la presión a la entrada de la bomba podría descender por debajo de la presión de vapor del fluido en ese punto, provocando la aparición de burbujas de vapor, provocando daños en la bomba, reduciendo su eficiencia y su vida útil.

$$NPSH = h_a - \frac{P_v}{\rho g}$$

Relacionando las ecuaciones, se obtiene:

$$NPSH = \frac{P_3 - P_v}{\rho g} + \frac{V_3^2}{2g\alpha_3} + Z_3 = \frac{P_1 - P_v}{\rho g} + \frac{V_1^2}{2g\alpha_1} + Z_1 - \frac{\sum F_a}{g}$$

- Pérdidas de carga: se refiere a la resistencia que percibe el líquido en su paso por las tuberías, expresada en metros. Las pérdidas se presentan en función de la cantidad y el tipo de accesorios en la línea de succión, de las características del líquido y también curvaturas, diámetro, la longitud y la rugosidad de la tubería. La ecuación de Hazen-Williams para pérdidas de carga es:

$$\Delta p = 10.674 * \frac{Q^{1.582}}{C^{1.582} * D^{4.78}} * L$$

Donde:

Δp = pérdida de carga (m)

L = longitud de la tubería (m)

Q = caudal (L/min)

C = coeficiente de fricción

D = diámetro (m)

4.2.3. Potencia

Para determinar la potencia que se ha de consumir se plantea un balance de energía mecánica entre los puntos 1 y 2:

$$P = W * m$$

Donde:

$$W = \left(\frac{V_2^2}{2\alpha_2} - \frac{V_1^2}{2\alpha_1} \right) + g(Z_2 - Z_1) + \left(\frac{P_2 - P_1}{\rho} \right) + \Sigma F$$

- Potencia real:

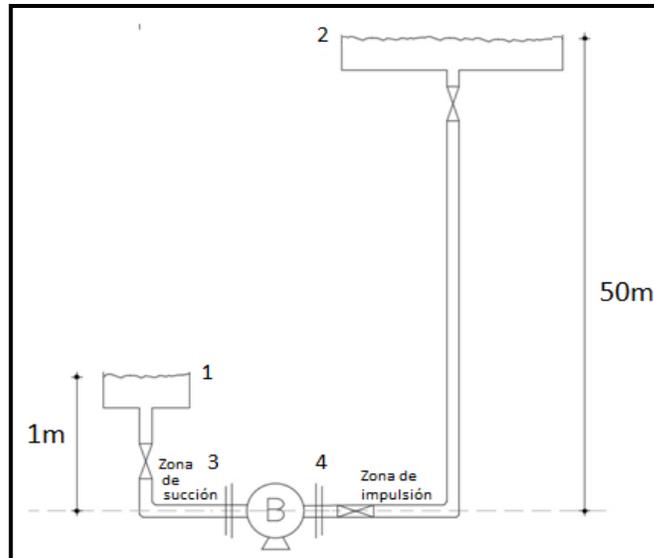
$$Pot_{real} = \frac{Pot_{teórica}}{\eta_t} = W * m$$

La potencia que la bomba le transmite al fluido será:

$$P = h_a * Q * \gamma$$

- Ejemplo: se necesita conducir agua desde un depósito ubicado 1m por encima de la bomba, hacia otro depósito ubicado a 50m de altura, como se observa en la figura 74. La tubería de aspiración es de 250 mm de diámetro con longitud de 2m y la tubería de impulsión es de 200mm de diámetro con longitud de 55m, ambas de acero (C = 100, Hazen-Williams). El caudal a bombear es de 2000 L/min, se debe calcular la potencia de la bomba.

Figura 74. **Ejemplo de potencia**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

Datos:

$$Z1 = 1m$$

$$Z_2 = 50\text{m}$$

$$D_3 = 250\text{mm} \quad L_3 = 2\text{m}$$

$$D_4 = 200\text{mm} \quad L_4 = 55\text{m}$$

$$C \text{ acero} = 100$$

$$Q = 2000 \text{ L/min}$$

$$\gamma_{\text{agua}} = 1000\text{kg/m}^3$$

$$Q = 2000 \frac{\text{L}}{\text{min}} * \frac{0.001\text{m}^3}{\text{L}} * \frac{1\text{min}}{60\text{s}} = 0.033 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$V_3 = \frac{4Q}{\pi D_a^2} = \frac{4(0.033 \text{ m}^3/\text{s})}{\pi(0.250\text{m})^2} = 0.67 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$V_4 = \frac{4Q}{\pi D_i^2} = \frac{4(0.033 \text{ m}^3/\text{s})}{\pi(0.200\text{m})^2} = 1.05 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\Delta p = 10.674 * \frac{0.033^{1.582}}{100^{1.582} * 0.200^{4.78}} * 55 = 1.15\text{m}$$

$$h_a = \left(\frac{1.05^2}{2(9.8)} - \frac{0.67^2}{2(9.8)} \right) + (50 - 1) + 1.15 = 50.19\text{m}$$

Entonces, la potencia se calcula con la siguiente ecuación:

$$P = h_a * Q * \gamma$$

$$P = 50.19\text{m} * 0.033 \text{ m}^3/\text{s} * 1000 \text{ kg}/\text{m}^3 = 1656.27 \text{ kg} * \text{m}/\text{s} * \frac{0.01315 \text{ HP}}{1 \text{ kg} * \text{m}/\text{s}}$$

$$P = 22 \text{ HP}$$

4.2.4. Eficiencia

La eficiencia se representa de forma porcentual para su análisis y puede variar según las propiedades del líquido de operación, principalmente conforme a su índice de viscosidad.

- Rendimiento volumétrico:

$$\eta_v = \frac{\text{Caudal efectivo que entrega la bomba}}{\text{Caudal teórico en condiciones ideales}}$$

- Rendimiento mecánico:

$$\eta_c = \frac{\text{Presión efectiva}}{\text{Presión teórica}}$$

- Rendimiento total:

$$\eta_T = \frac{\text{Potencia efectiva que entrega la bomba}}{\text{Potencia mecánica que absorbe}}$$

$$\eta_T = \mu_v * \mu_c$$

4.2.5. Golpe de ariete

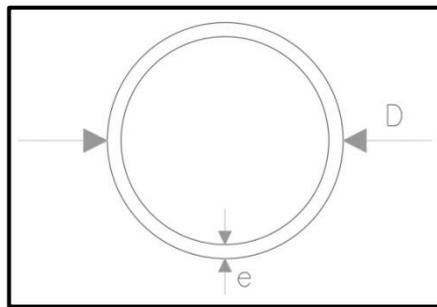
El problema hidráulico que se produce cuando el fluido hidráulico sufre una parada o cambio brusco, por ejemplo al cerrar de golpe una válvula o al detener la operación de la bomba, se analiza por medio del estudio de la

presión máxima que la tubería debe soportar, físicamente un incremento de la presión de operación normal:

- Celeridad

Caso 1: el problema proporciona el diámetro y espesor de la tubería del sistema, como se observa en la figura 75.

Figura 75. **Diámetro y espesor de tubería**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

Entonces, la celeridad se obtiene de la siguiente ecuación:

$$C = \sqrt{\frac{E_v}{\rho \left[1 + \left(\frac{E_v}{E} \right) \left(\frac{D}{e} \right) \right]}}$$

Donde:

$$E_v = 3.2 \times 10^5 \text{ psi}$$

$$E = 30 \times 10^6 \text{ psi}$$

$$\rho = 1.94 \text{ slug / p}^3$$

$$D = \text{Diámetro del tubo (pie)}$$

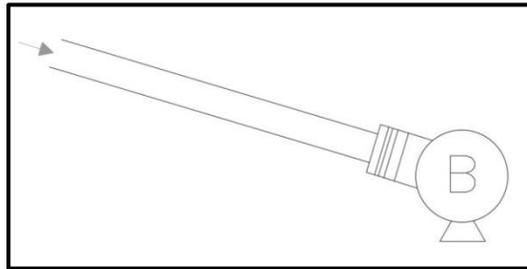
e =Espesor de pared (pie)

Caso 2: el problema no proporciona diámetro y espesor de tubería.

$$C = \sqrt{\frac{E_v}{\rho}}$$

- Ejemplo: una tubería rígida que sale de un depósito mide 4,000 pie de largo y en ella circula agua con una velocidad de 6 pie/s, si la presión inicial del extremo corriente abajo es de 50 psig (observar la figura 76). ¿Qué presión máxima se formará en el extremo corriente abajo cuando una válvula de acción rápida en ese extremo se cierre en 1.2 s?

Figura 76. **Ejemplo de golpe de ariete**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

Datos:

$L = 4,000$ pie

$V = 6$ pie/s

$P_o = 50$ psig

$T_c = 1.2$ s

Para obtener las dimensionales correctas se realizan las conversiones necesarias, para este caso la celeridad se determina así:

$$C = \sqrt{\frac{E_v}{\rho}} = \sqrt{\frac{320,000 \text{ lb/pul}^2}{1.94 \text{ slug/pie}^3}}$$

$$C = \sqrt{\frac{320,000 \text{ lb/pul}^2 * 144 \text{ pul}^2/\text{pie}^2}{1.94 \text{ lb} * \text{s}^2/\text{pie}^4}} = \sqrt{\frac{(320,000 * 144) \text{ pie}^2}{1.94 \text{ s}^2}}$$

$$C = 4,873.66 \text{ pie/s}$$

Comprobando el golpe de ariete:

$$T_c = \frac{2L}{C} = \frac{2(4,000 \text{ pie})}{4,873.66 \text{ pie/s}} = 1.64 \text{ s}$$

Como $t < T_c$, existe un cierre repentino y un incremento de presión:

$$\Delta P = \rho * V * C$$

$$\Delta P = 1.94 \text{ slug/pie}^3 * 6 \text{ pie/s} * 4,873.66 \text{ pie/s} = 56,729.4 \text{ lb/pie}^2$$

$$\Delta P = 56,729.4 \text{ lb/pie}^2 * \frac{1}{144} \text{ pie}^2 / 144 \text{ pul}^2 = 394 \text{ psi}$$

$$P_{total} = 50 \text{ psi} + 394 \text{ psi} = 444 \text{ psi}$$

5. NORMAS DE SEGURIDAD

En el año 1957 se presenta el primer Reglamento General sobre Higiene y Seguridad en el Trabajo, con el objetivo de regular las condiciones de trabajo para proteger la salud y brindar seguridad al trabajador.

Con el paso del tiempo, la actualización y aplicación de normas de seguridad ha ido aumentando su importancia, debido a la cantidad de accidentes y enfermedades por causas laborales que han podido evitarse de alguna manera.

5.1. Salud y seguridad ocupacional

Todas las personas tienen derecho al desarrollo económico social, por medio del trabajo, la seguridad y el acceso a la salud y bienestar. En Guatemala se aprueba y entra en vigor el Reglamento de Salud y Seguridad Ocupacional, con el que se pretende regular las condiciones mínimas de seguridad para la prevención de riesgos y reducción de accidentes y enfermedades laborales, como norma general con base en normas internacionales.

A nivel interno cada organización es libre de agregar aspectos de seguridad y planes de contingencia que se consideren pertinentes, siempre respetando los estándares mínimos establecidos en la normativa vigente.

Para la correcta aplicación de las normas de salud y seguridad en el trabajo, se emplean sistemas de gestión, para organizar y diseñar los procedimientos para el cumplimiento de los requisitos establecidos en la

legislación de prevención de riesgos laborales en Guatemala, la norma ISO 45001 y su origen la norma OHSAS 18001.

5.2. Acuerdo Gubernativo 229-2016

El Acuerdo Gubernativo 229-2016, Reglamento de Salud y Seguridad Ocupacional, surge para darle continuidad a la necesidad de renovar constantemente la forma de evaluar las condiciones y establecer las medidas de seguridad mínimas para reducir riesgos dentro del área de trabajo.

El acuerdo establece en todas sus secciones las normas detalladas a cumplir dentro de las instalaciones donde se desarrollan actividades económicas en general, tanto por el patrono como por el empleado, asumiendo el compromiso de su correcta aplicación, para la prevención de accidentes y enfermedades laborales a corto y largo plazo. A continuación se describen las normas aplicables para el montaje, operación y mantenimiento de bombas hidráulicas.

Esta norma la han de cumplir obligatoriamente los empleados de instituciones privadas, del Estado, municipalidades, instituciones autónomas, semiautónomas y descentralizadas, con el fin de proteger la vida y la salud de sus integrantes en la prestación de sus servicios.

5.2.1. Vibraciones

Las vibraciones son producto del desequilibrio estático y dinámico que producen las fuerzas que actúan en un eje que se encuentra en rotación, las cuales deben considerarse dentro del diseño de una máquina tratando de reducir estas vibraciones indeseables y ruidos excesivos y molestos en el área

de trabajo. Estas vibraciones no siempre son peligrosas, pero si se aplican constantemente sobre los cojinetes provocan cargas que pueden causar su rotura y como consecuencia el fallo de la máquina por fatiga.

El anclaje de las bombas hidráulicas debe realizarse de la forma más eficaz y alcanzar el equilibrio total de la máquina para evitar vibraciones, utilizando dispositivos que ayuden a mitigar su transmisión en conductos de circulación forzada de fluidos.

Se recomiendan las siguientes medidas mínimas de seguridad:

- Conservar siempre su equilibrio estático y dinámico.
- Mantener en perfecto estado cada pieza dentro de la bomba hidráulica, retirar y sustituir las piezas que presentan desgaste mecánico.
- Instalar correctamente la máquina, un sitio alejado de columnas, fundiciones o elementos de sujeción en estructuras.
- Para la tubería forzada se deben emplear dispositivos amortiguadores que impidan la transmisión del movimiento oscilatorio.

5.2.2. Equipo de protección personal

Se refiere al conjunto de equipo que debe ser utilizado correctamente por los trabajadores para garantizar la protección de la salud y seguridad dentro del área de trabajo para las actividades de instalación, operación y mantenimiento. Específicamente para el montaje y mantenimiento de bombas hidráulicas se detallan los elementos de equipo de protección personal a utilizar:

- Ropa de trabajo: se deben proporcionar prendas de vestir adecuadas para un trabajo sucio o pesado, que deben ser ergonómicas de tejido ligero y

de fácil limpieza, talla correcta y, de ser posible, no deben tener bolsillos ni botones.

- Protección de la cabeza: es necesario cubrir la cabeza en casos de riesgo de enganche de cabello, condiciones climáticas de sol o lluvia que afecten el área de trabajo directamente, este equipo debe ser bien ajustado, de fácil limpieza y brindado por el patrono. El uso de casco protector fabricado con material resistente será personal y obligatorio en casos de riesgo de caída o proyección violenta de objetos sobre la cabeza.
- Protección visual: recomendado el uso de gafas, lentes de seguridad y pantallas transparentes, fabricadas ergonómicamente de material resistente, que brinden un amplio campo visual para no interferir en las tareas.
- Protección auditiva: el ruido constante se considera dañino para la salud, si los niveles de presión sonora son superiores a 85dB. El patrono debe proporcionar gratuitamente la protección auditiva correspondiente, según los niveles de ruido a los que se encuentra expuesto un trabajador.
- Protección de extremidades superiores: la protección de brazos y manos se realiza por medio de guantes y mangas de distintos materiales según el tipo de trabajo. Estos elementos deben ser adecuados para cada trabajador y deben desecharse cuando ya no cumplan con sus funciones, presenten rasgaduras o perforaciones.
- Protección de extremidades inferiores: el uso de calzado de seguridad es obligatorio en situaciones con riesgo de accidente mecánico en los pies, golpes con objetos y riesgos eléctricos. El calzado debe poseer suela

antideslizante, aislar de la humedad y de la electricidad al trabajador, contar con puntera de acero para proteger los dedos del pie, no debe poseer clavos u otros elementos que puedan causar daños. Las botas deben aislar al trabajador de la humedad.

5.2.3. Motores, transmisiones y máquinas

Los motores deben ubicarse en un área alejada del resto de operaciones, con la señalización correspondiente y únicamente permitir el ingreso al personal correspondiente y capacitado.

Los motores, transmisiones y máquinas deben estar protegidos, en algunos casos no es necesario si no presentan algo riesgo para los empleados. El arranque y la detención de las operaciones se debe realizar por medio de dispositivos que no representen peligro al operador encargado, al mismo tiempo contar con dispositivos de emergencia para detener rápidamente su funcionamiento.

Para desarrollar las tareas de mantenimiento deben seguirse las indicaciones de los manuales del fabricante y de los encargados. En el caso de elementos instalados bajo el pavimento o en fosas, deben ser accesibles para los colaboradores de mantenimiento, para evitar riesgos y accidentes.

5.2.4. Inspección y mantenimiento

La persona encargada de realizar estas tareas debe contar siempre con dispositivos de seguridad, debe realizar la limpieza, lubricación, reparaciones, cambio de piezas, ajustes y otras actividades, cuando las máquinas se encuentran detenidas, nunca en operación.

Estas operaciones las han de realizar solamente las personas autorizadas y capacitadas para dichas tareas, con el uso correcto de dispositivos y equipo de protección personal. Estos dispositivos de seguridad deben reunir por lo menos los siguientes requisitos:

- Tener conexión con las máquinas.
- Ubicación con paso libre.
- No interferir innecesariamente en el proceso de actividades productivas normales.
- No limitar el campo visual de los trabajadores.
- Estar al alcance de los empleados, sin necesidad de movimientos forzados.
- Su uso no debe representar ningún riesgo.

En el caso de las tuberías, deberán cumplir por lo menos los siguientes requisitos:

- Los materiales de construcción y su espesor deben tener relación con las características del fluido y las condiciones de operación del sistema.
- Deben estar instaladas en puntos fijos o con soporte.
- Cubrir las tuberías con aislantes cuando los fluidos superen los 100 °C de temperatura.
- Las sustancias inflamables deben protegerse y aislarse de motores, interruptores y aparatos de llama abierta.
- Evitar escapes en sus juntas.
- La tubería se debe pintar de acuerdo a la normativa local o internacional de referencia.
- Tener accesibles los planos e instrucciones para detección y reparación de fugas u otros problemas.

Todas las instalaciones y áreas de trabajo, incluyendo maquinaria, equipo y herramientas, deben mantenerse en buenas condiciones de limpieza y orden, utilizando el equipo adecuado para la limpieza del suelo, paredes y techo. Los pasillos, escaleras, entradas y salidas de personal, deben mantenerse despejadas y libres de aceites, grasas u otras sustancias que puedan volver resbaladiza el área.

Es importante establecer la diferencia, mediante señalización, entre el agua potable y el agua no potable, evitar conexiones entre los sistemas de abastecimiento, para evitar la contaminación del agua potable, y con esto cualquier enfermedad posible.

5.2.5. Herramientas

Las herramientas a utilizar en cualquier tarea de mantenimiento de maquinaria deben poseer las siguientes características:

- Fabricadas con material resistente.
- Dimensionalmente correctas para la tarea a realizar.
- No deben tener defecto ni desgaste.
- No deben poseer superficies resbaladizas.
- Las herramientas de corte deben estar siempre debidamente afiladas.
- Deben estar limpias y libres de sustancias deslizantes.
- Deben ser aislantes en los casos donde sea necesario.

Para evitar riesgos en el transporte de herramientas, deben utilizarse portaherramientas, cinturones especiales, bolsas u otro elemento acorde. Las

herramientas manuales deben utilizarse exclusivamente para los fines específicos para los que fueron diseñadas.

Todos los colaboradores que tengan contacto directo con las herramientas deben velar por la conservación y cuidado de las mismas, mediante un plan que contenga el uso, transporte, limpieza, supervisión, reparación y almacenaje correcto. En todo momento es obligatorio mantener en orden el área de trabajo, evitar dejar las herramientas manuales en escaleras, pasillos, entradas, salidas y lugares abiertos donde exista riesgo de caídas o cualquier otro accidente.

5.3. Norma ISO 45001

La norma internacional ISO 45001 es publicada en marzo 2018 por la Organización Internacional de Normalización, con un proceso de 6 años para su elaboración, reguladora de la gestión de seguridad y salud en el trabajo, brinda la oportunidad de reestructurar el sistema interno de seguridad dentro de las empresas y organizaciones en general.

Esta norma busca fomentar a nivel internacional los estándares de seguridad industrial enfrentando nuevos retos de manera uniforme a nivel mundial. Las organizaciones se comprometen a garantizar la salud y seguridad que establece la norma, mediante la prevención, adaptación y respuesta a los riesgos laborales, aplicando las actualizaciones continuas.

La norma ISO 45001 fomenta una cultura de seguridad y salud en el trabajo a nivel mundial, presentando estándares en temas de:

- Protección radiológica
- Protección auditiva, respiratoria, ocular y facial

- Ropa protectora, protección de la cabeza y de las extremidades
- Requisitos de seguridad para equipos de soldadura
- Protección individual contra caídas
- Ergonomía en mobiliario y equipo
- Protección individual para bomberos

El Anexo SL es un documento que representa la estructura coherente y compatible para todas las normas de sistemas de gestión ISO, bajo la denominada HLS, con textos similares, términos comunes y definiciones básicas. Este documento se compone de un plan de acción ordenado con enfoque administrativo:

- Introducción: antecedentes, objetivos, justificación y necesidad de normalización.
- Campo de aplicación: requisitos necesarios para la implementación de la norma en organizaciones de cualquier tipo.
- Términos y definiciones: los necesarios, como en cualquier norma.
- Condiciones de la organización: factores internos y externos que pueden afectar de forma positiva o negativa en los resultados de la aplicación del sistema de gestión.
- Integrantes: participación de todos los trabajadores para obtener resultados más favorables.
- Planificación: planteamiento de objetivos y metodologías para abordar riesgos y oportunidades para alcanzarlos.
- Soporte: recursos disponibles, competencias y comunicación dentro de la organización.
- Operación: análisis de situación actual y medidas aplicables para la gestión de cambio, factores internos y externos.

- Evaluación del desempeño: herramienta administrativa para medir resultados, mediante auditorías internas, supervisión, análisis de reducción de accidentes y otros.
- Mejora continua: operación cíclica como medida proactiva.

La aplicación de la norma ISO 45001 dentro de las organizaciones representa los siguientes beneficios:

- Protección de los trabajadores, minimizar lesiones, accidentes y enfermedades causadas por las condiciones inadecuadas de las áreas de trabajo.
- Reducción de riesgos y accidentes mediante la evaluación, inspección e investigación de condiciones de riesgo, disminuyendo así también los gastos causados por accidentes y enfermedades laborales.
- Relación directa con otras normas ISO de sistemas de gestión.
- Responsabilidad y compromiso adquirido para el cumplimiento de la norma con todos los requisitos legales.

Los procesos contemplados en la norma ISO 45001 son:

- Comunicación entre los trabajadores para el sistema de gestión de salud y seguridad.
- Todos los integrantes de la organización deben identificar posibles peligros.
- Evaluación y clasificación de todos los riesgos.
- Identificación de oportunidades para una mejora continua en el sistema de salud y seguridad.
- Conocimiento y cumplimiento de los requisitos legales.
- Eliminar o reducir condiciones de riesgo.

- Identificar y evaluar cambios que afecten de alguna manera los sistemas de salud y seguridad.
- Asignar un presupuesto dedicado a la adquisición de implementos necesarios para proteger la salud y brindar seguridad en el trabajo.
- Todas las personas deben respetar las normas de seguridad dentro de las instalaciones de la empresa, trabajadores, contratistas o visitantes.
- Elaboración de planes de contingencia, incluyendo todas las personas para actuar correctamente en caso de emergencia.
- Evaluación del desempeño, análisis para identificar puntos débiles y aspectos a mejorar y planeamiento de acciones correctivas, para obtener mejores resultados.

5.4. Norma OHSAS 18001

La norma OHSAS 18001 fue presentada en 1999 para regular todas las normas nacionales de Sistemas de Gestión de Seguridad y Salud Ocupacional en una sola norma. Esta norma es la base de la norma ISO 45001, que busca reemplazarla en un período máximo de 3 años dentro de las empresas certificadas, que deben iniciar un nuevo proceso de acreditación, aunque los objetivos son los mismos con una terminología común, la norma ISO 45001 será la única vigente a partir de marzo de 2021.

Los sistemas de gestión se refieren al conjunto de criterios y especificaciones que una organización o empresa ha de cumplir de manera voluntaria, para ser evaluada y certificada, en este caso, en relación a todos los aspectos de salud y seguridad ocupacional.

Una de las principales diferencias entre ambas normas es que la OHSAS 18001 le delega toda la responsabilidad de la seguridad al encargado del área

únicamente, mientras que con la ISO 45001 se pretende responsabilizar de su propia salud y seguridad a todos los integrantes de la organización, sin distinciones, incluyendo a todas las personas que ingresan a las instalaciones, contratistas y visitantes.

Existen otras diferencias, entre las cuales se puede mencionar: acciones para abordar riesgos y oportunidades para la salud y seguridad en el trabajo y su gestión, planificación de acciones y enfoque hacia la mejora continua en cuanto a la seguridad industrial.

CONCLUSIONES

1. Con la propuesta de contenido pragmático, el estudiante tiene la oportunidad de adquirir experiencia por medio del descubrimiento dentro de un marco teórico universitario. En combinación con la información magistral y las experiencias de todos los presentes, se logra la adquisición de habilidades como resultado de interactuar directamente con los modelos propuestos de bombas hidráulicas rotatorias, confirmando el compromiso del estudiante y del docente para el desarrollo del curso.
2. Las bombas rotatorias poseen un gran campo de aplicaciones a nivel industrial, que junto con las bombas centrífugas son las más utilizadas. Es necesario entonces tener conocimiento de las ventajas y desventajas de cada tipo, para realizar la correcta selección e instalación de las máquinas hidráulicas, para que puedan funcionar normalmente de forma eficiente durante una larga vida útil. Cuando se presentan las fallas parciales o totales de forma prematura en las bombas, en la mayoría de los casos será por errores humanos, desde la selección hasta el control de operación.
3. Con los 3 modelos propuestos de bombas hidráulicas se alcanza a cubrir un poco más de la parte práctica, que puede ser dentro del salón de clases y no necesariamente dentro del laboratorio. La bomba de lóbulos y la bomba de engranajes no presentan complejidad en su diseño, sin embargo la bomba de paletas deslizantes, al ser un modelo un poco antiguo, resulta ser la de mayor dificultad en la práctica, aunque se

presentan una serie de pasos sencillos para facilitar el aprendizaje del estudiante, podría presentar dificultades y se requiere el apoyo del docente. Como resultado de la práctica general se logra un enfoque magistral más interactivo y dinámico.

4. Previo a realizar todos los cálculos para seleccionar nuevos equipos, es de vital importancia evaluar el lugar de instalación y el líquido de operación, elementos que serán fundamentales para determinar todas las variables necesarias según el caso, consultar la información técnica que brindan las comercializadoras, en cuanto a especificaciones de los modelos, repuestos y mantenimiento, para finalmente seleccionar el equipo, supervisar que sea el correcto y proceder a instalarlo definitivamente con la colaboración de la mano de obra calificada.

5. La seguridad industrial es un concepto que ha ido evolucionando en el tiempo, debido a la frecuencia de accidentes y enfermedades laborales que pudieron evitarse. Es importante velar por el cumplimiento de las normas de seguridad no solo en el montaje, sino en todas las actividades que representen el menor peligro para el ser humano. Las condiciones y actos seguros, el uso correcto del equipo de protección personal y las herramientas de trabajo, van a garantizar la prevención de sucesos que puedan afectar tanto el bienestar del colaborador como las finanzas del empleador.

RECOMENDACIONES

1. Ampliar los conocimientos, prácticas y métodos, en la información técnica actualizada y en la normativa vigente en todo momento, para cualquier caso, participar activamente en el desarrollo del curso de máquinas hidráulicas, en el laboratorio y durante el desarrollo de la propuesta de este contenido pragmático, para la resolución de las dudas que puedan surgir al adquirir esta experiencia.
2. Consultar guías de selección del equipo hidráulico a instalar, leer las especificaciones y seguir las instrucciones de montaje y desmontaje de los manuales de fabricantes, esta propuesta está basada en la consulta de información técnica con fines didácticos.
3. Brindar el cuidado necesario a cada una de las partes de los tres modelos propuestos, no forzarlos ni extraviarlos, apretar los tornillos tratando de lograr un equilibrio de fuerzas entre las partes utilizando la herramienta adecuada para cada tarea y almacenar ordenadamente todo el equipo en un lugar limpio, para continuar con el desarrollo de este contenido pragmático.
4. Colocar la bomba rotatoria dentro de una instalación, de modo que el líquido de operación se le suministre por la acción de la gravedad, es decir, por debajo del depósito. Establecer el fluido de operación y realizar correctamente las mediciones de los espacios de la instalación para realizar los cálculos de operación, son factores determinantes para

el éxito del sistema, considerando siempre factores externos que puedan alterar su rendimiento.

5. Hacer uso correcto del equipo de seguridad en los casos donde sea necesario, para prevenir situaciones desfavorables a corto y largo plazo y evitar condiciones y actos inseguros.

BIBLIOGRAFÍA

1. BAUMEISTER, Theodore; AVALLONE, Eugene; BAUMEISTER III, Theodore. *Marks: manual del ingeniero mecánico*. 2a ed. México: McGraw-Hill, 1988. 3 v. Capítulo 14, 58 p.
2. BIGGS, John. *Calidad del aprendizaje universitario*. 4a ed. España: Narcea, 2010. 295 p.
3. CENGEL, Yanus A. *Mecánica de fluidos: fundamentos y aplicaciones*. México: McGraw-Hill Interamericana, 2012. 978 p.
4. CREUS SOLÉ, Antonio. *Neumática e hidráulica*. 2a ed. Colombia: Alfaomega, 2011. 419 p.
5. DÍAZ, Mario de Miguel. *Metodologías de enseñanza y aprendizaje para el desarrollo de competencias*. España: Alianza Editorial, 2006. 230 p.
6. DOUNCE VILLANUEVA, Enrique. *Manual de la administración del mantenimiento*. México: CECSA, 2000. 200 p.
7. Goulds Pumps. *Manual de instalación, funcionamiento y mantenimiento*. Estados Unidos: ITT, 2016. 164 p.

8. GRIMALDI, John V.; ROLLIN, H. Simonds. *La seguridad industrial, su administración*. 3a ed. México: Representaciones y servicios de ingeniería, 1979. 185 p.
9. McNAUGHTON, Kenneth J. *Bombas: selección, uso y mantenimiento*. México: McGraw- Hill, 1989. 373 p.
10. MARTIN, I.; SALCEDO, R.; FONT, R. *Mecánica de fluidos. Impulsión de fluidos*. Estados Unidos: Universidad de Alicante. 2011, 64 p.
11. MATAIX, Claudio. *Mecánica de fluidos y máquinas hidráulicas*. México: Harla, 1982. 660 p.
12. MOTT, Robert L.; UNTENER, Joseph A. *Mecánica de fluidos*. México: Pearson, 2015. 531 p.
13. Organización Internacional de Normalización. *Norma ISO 7010:2012. Símbolos gráficos. Colores y señales de seguridad. Señales de seguridad registradas*. [en línea]. < <http://es.sinalux.eu/es/articulos-tecnicos/sinalux-informa-17-abr-15/nueva-norma-en-iso-7010-2012>>. [Consulta: 23 de enero de 2019].
14. PIMIENTO PRIETO, Julio Herminio. *Estrategias de enseñanza-aprendizaje, docencia universitaria basada en competencias*. México: Pearson, 2012. 192 p.
15. Productos Hidráulicos de Centro América, S.A. *Catálogo técnico de bombas y motores de engranajes*. Estados Unidos: Eaton, 2016. 43 p.

16. Productos Hidráulicos de Centro América, S.A. *Catálogo técnico de bombas y motores de paletas*. Estados Unidos: Eaton, 2011. 26 p.
17. REBOLLO GALLEGO, José María. *Montaje de redes de distribución de agua*. Colombia: Ediciones de la U (Ingeniería), 2014. 309 p.
18. REYES AGUIRRE, Miguel. *Curso de máquinas hidráulicas*. México: Representaciones y Servicios de Ingeniería, 1988. 230 p.

APÉNDICES

Se presenta el detalle de los costos totales de la propuesta de contenido pragmático para el curso.

Apéndice 1. Costos de modelos de bombas rotatorias

Modelo	Costo (Cifras en Quetzales)
Bomba de lóbulos internos	150.00
Bomba de engranajes	150.00
Bomba de paletas deslizantes	250.00
Total	550.00

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2. Costos de herramientas

Cantidad	Modelo	Costo (Cifras en Quetzales)
4	Llaves mixtas	33.50
1	Sargento	28.00
1	Pinza	16.00
1	Desarmador	4.00
1	Martillo pequeño	10.00
	Total	91.50

Fuente: elaboración propia.

ANEXOS

- Información técnica de bombas de engranajes

Anexo 1. Información técnica de bomba serie 26

Series 26 pump General specifications and performance data

Rotation	Field reversible
Mounting flange	SAE A 2 Bolt
Max. Continuous pressure†	210 bar [3000 PSI]*
Max. Intermittent pressure††	240 bar [3500 PSI]**
Minimum speed at continuous pressure	750 RPM
Maximum rotating torque at 0 pressure	4 Nm [36 lb-in]
Maximum continuous operating temperature	105°C [220°F]
Minimum continuous oil viscosity	5.7 cSt [45 SUS]
Minimum operating temperature	-29°C [-20°F]
Maximum inlet vacuum at operating condition	0,8 bar Abs. [11.6 psi Abs.]

† Continuous - pump may be run continuously at these ratings.

†† Intermittent - intermittent operation, 10% of every minute.

* 30.6 cm³/rev. [1.87 in³/rev.] displacement max. continuous pressure is 190 bar [2750 PSI].

** 30.6 cm³/rev. [1.87 in³/rev.] displacement max. intermittent pressure is 224 bar [3250 PSI].

For side load limits consult your Eaton representative.

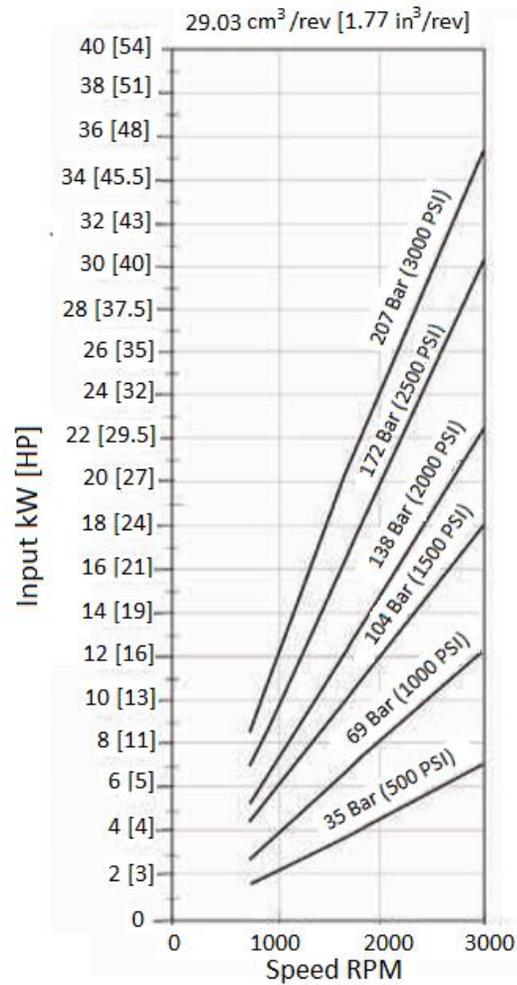
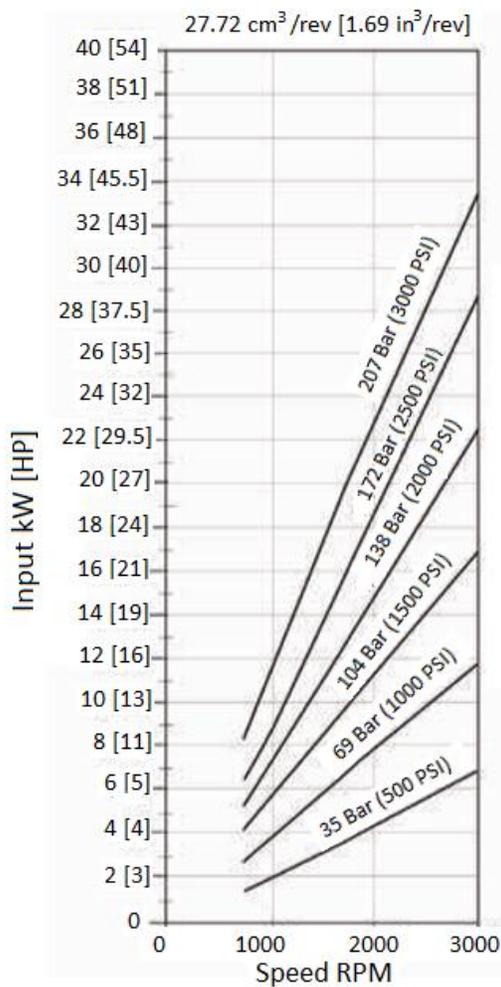
Displacement cm³/r [in³/r]	6,6 [.40]	8,2 [.50]	9,5 [.58]	10,8 [.66]	13,8 [.84]	16,7 [1.02]	19,7 [1.20]
Max. Intermittent pressure bar [PSI]	241 [3500]	241 [3500]	241 [3500]	241 [3500]	241 [3500]	241 [3500]	241 [3500]
Rated speed (RPM)	3600	3600	3600	3600	3600	3600	3200
Minimum output flow at 207 bar [3000 PSI] and rated speed LPM [GPM]	20,1 [5.3]	25,0 [6.6]	29,5 [7.8]	33,7 [8.9]	43,5 [11.5]	55,3 [14.6]	57,9 [15.3]
Input power at 207 bar [3000 PSI] and rated speed and cont. Pressure kW [HP]	9,7 [13.0]	11,9 [15.9]	14,1 [18.9]	15,5 [20.8]	20,0 [26.8]	22,0 [29.4]	26,2 [35.2]

Continuación anexo 1.

	22,5 [1.37]	24,3 [1.48]	25,2 [1.54]	27,7 [1.69]	29,0 [1.77]	30,6 [1.87]
Displacement cm³/r [in³/r]						
Max. Intermittent pressure bar [PSI]	241 [3500]	241 [3500]	241 [3500]	241 [3500]	234 [3400]	224 [3250]
Rated speed (RPM)	3000	3000	3000	3000	3000	3000
Minimum output flow at 207 bar [3000 PSI] and rated speed LPM [GPM]	62,1 [16.4]	67,0 [17.7]	69,7 [18.4]	76,5 [20.2]	79,9 [21.1]	84,4 [22.3]
Input power at 207 bar [3000 PSI] and rated speed and cont. Pressure kW [HP]	27,3 [36.6]	30,5 [40.9]	31,0 [41.6]	33,4 [44.8]	35,4 [47.4]	37,4 [50.1]

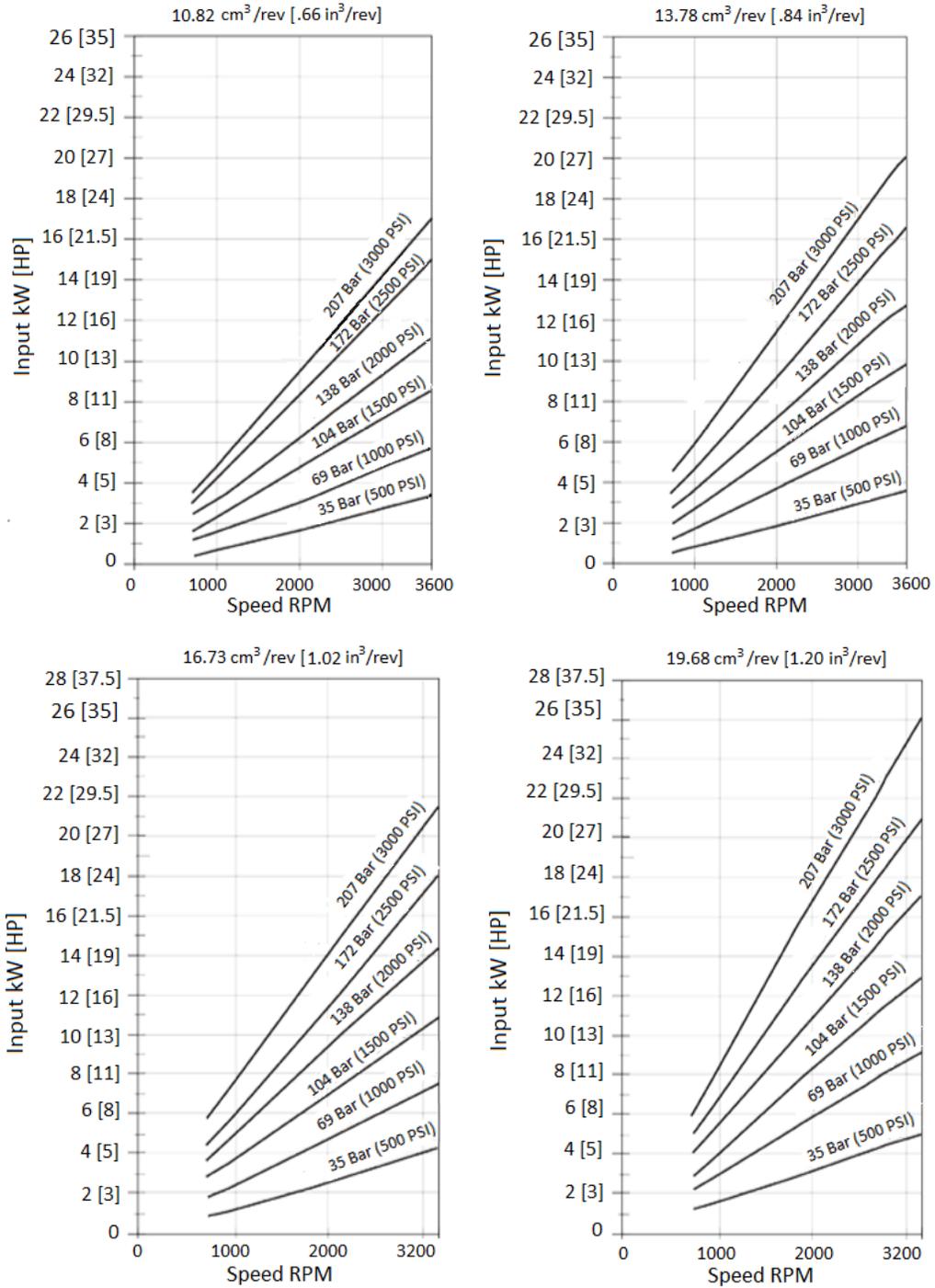
The performance data in the table above and the following graphs was collected using a mineral base oil with a viscosity of 133 SUS at 49°C

Series 26 pump
Performance data charts



Continuación anexo 1.

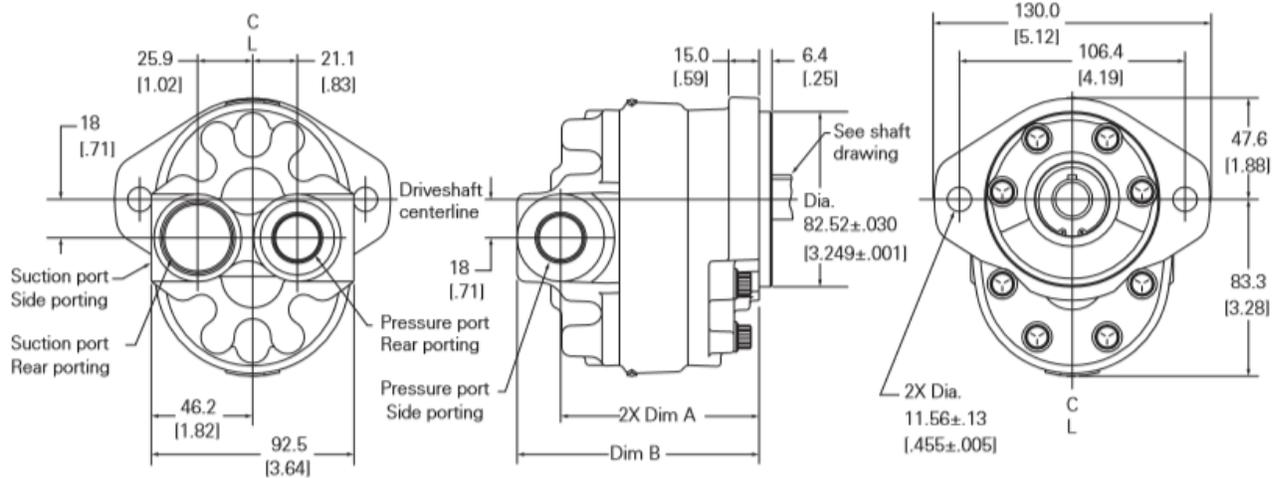
Series 26 pump
Performance data charts



Continuación anexo 1.

All dimensions are in mm [in]

Series 26 pump Standard catalog assemblies - dimensions



Left hand rotation shown

Model	26001	26002	26003	26004	26005	26006	26007
Displacement (cm ³ /r [in ³ /r])	6.6 [.40]	8.2 [.50]	9.5 [.58]	10.8 [.66]	13.8 [.84]	16.7 [1.02]	19.7 [1.20]
Dimension A (mm [in])	72.6 [2.86]	74.3 [2.93]	75.9 [2.99]	77.5 [3.05]	80.7 [3.18]	83.9 [3.30]	87.1 [3.43]
Dimension B (mm [in])	93.2 [3.67]	94.9 [3.74]	96.5 [3.80]	98.1 [3.86]	101.3 [3.99]	104.5 [4.11]	107.7 [4.24]

Model	26008	26009	26010	26011	26012	26013
Displacement (cm ³ /r [in ³ /r])	22.5 [1.37]	24.3 [1.48]	25.2 [1.54]	27.7 [1.69]	29.0 [1.77]	30.6 [1.87]
Dimension A (mm [in])	90.3 [3.56]	92.7 [3.65]	93.5 [3.68]	96.7 [3.81]	98.6 [3.88]	99.9 [3.93]
Dimension B (mm [in])	110.9 [4.37]	113.3 [4.46]	114.1 [4.49]	117.3 [4.62]	119.1 [4.69]	120.5 [4.74]

Fuente: Productos Hidráulicos de Centro América, S.A. *Catálogo técnico de bombas y motores de engranajes.* pp. 4-9.

Anexo 2. Información técnica de la bomba serie L2

Series L2 pump General specifications and performance data

Rotation	CCW or CW
Mounting Flange	SAE 2 Bolt B
Maximum Continuous† Pressure	248 bar [3600 PSI]*
Maximum Intermittent†† Pressure	276 bar [4000 PSI]**
Minimum Speed at Continuous Pressure	750 RPM
Maximum Continuous Inlet Temperature	107°C [225°F]
Minimum Operating Temperature	-29°C [-20°F]
Maximum Inlet Vacuum at 82°C [180°F] and Rated Speed	6.0 In. Hg

† Continuous - pump may be run continuously at these ratings.

†† Intermittent - Intermittent operation, 10% of every minute.

For side load limits consult your Eaton representative.

* 46.7 [2.85] displacement maximum continuous pressure is 224 bar [3250 PSI]

51.1 [3.12] displacement maximum continuous pressure is 207 bar [3000 PSI]

55.2 [3.37] displacement maximum continuous pressure is 190 bar [2750 PSI]

** 46.7 [2.85] displacement maximum intermittent pressure is 252 bar [3650 PSI]

51.1 [3.12] displacement maximum intermittent pressure is 234 bar [3400 PSI]

55.2 [3.37] displacement maximum intermittent pressure is 217 bar [3150 PSI]



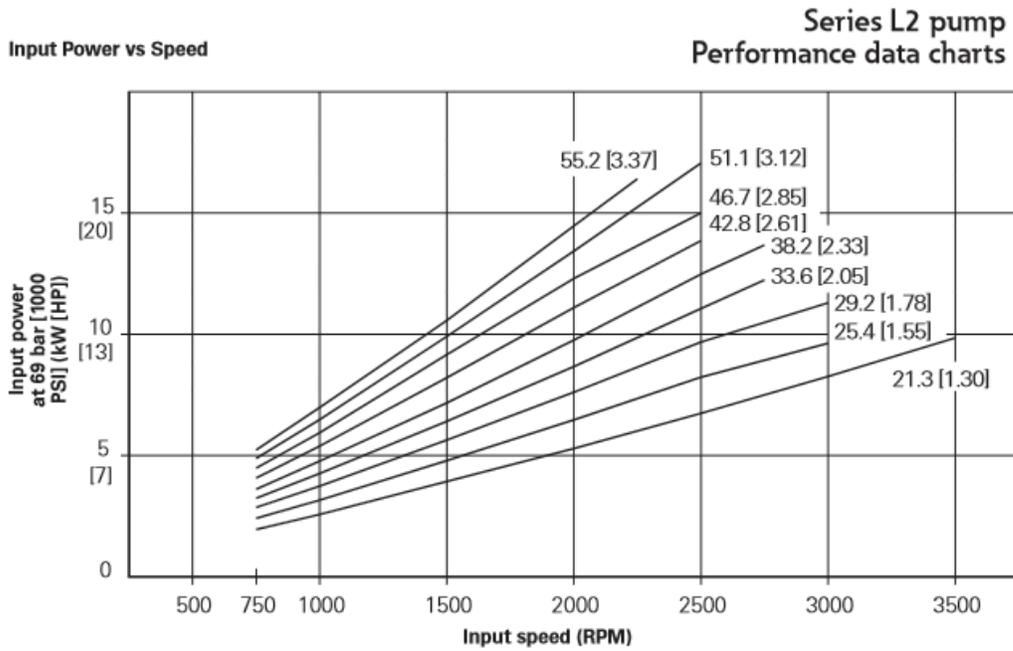
Model	25500	25501	25502	25503	25504	25505	25506	25507	25508
Displacement cm ³ /r [in ³ /r]	21.3 [1.30]	25.4 [1.55]	29.2 [1.78]	33.6 [2.05]	38.2 [2.33]	42.8 [2.61]	46.7 [2.85]	51.1 [3.12]	55.2 [3.37]
Max. Continuous† Pressure bar [PSI]	248 [3600]	248 [3600]	248 [3600]	248 [3600]	248 [3600]	248 [3600]	224 [3250]	207 [3000]	190 [2750]
Max. Intermittent†† Pressure bar [PSI]	276 [4000]	276 [4000]	276 [4000]	276 [4000]	276 [4000]	276 [4000]	252 [3650]	234 [3400]	217 [3150]
Rated Speed (RPM)	3500	3000	3000	2750	2750	2500	2500	2500	2250
Minimum Output Flow at 207 bar [3000 PSI] and Rated Speed LPM [GPM]	61,3 [16.2]	64,7 [17.1]	78,0 [20.6]	83,3 [22.0]	94,6 [25.0]	96,1 [25.4]	105,2 [27.8]	115,1 [30.4]	112,0 [29.6]

The performance data in the table above and the following graphs was collected using a mineral base oil with a viscosity of 133 SUS at 49° C [120° F]. The following performance graphs are representative of the series.

† Continuous - pump may be run continuously at these ratings.

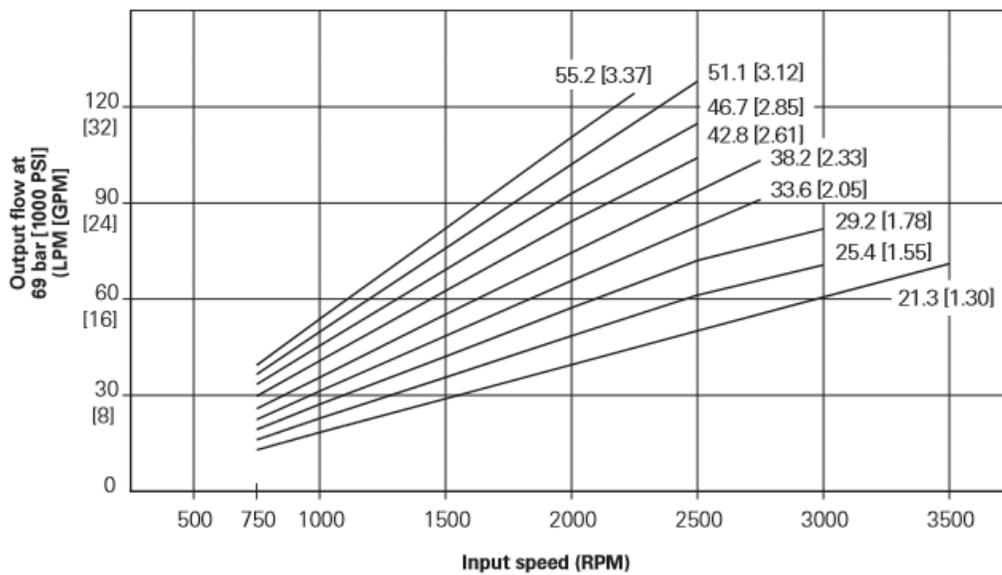
†† Intermittent - Intermittent operation, 10% of every minute.

Continuación anexo 2.



**Series L2 pump
Performance data charts**

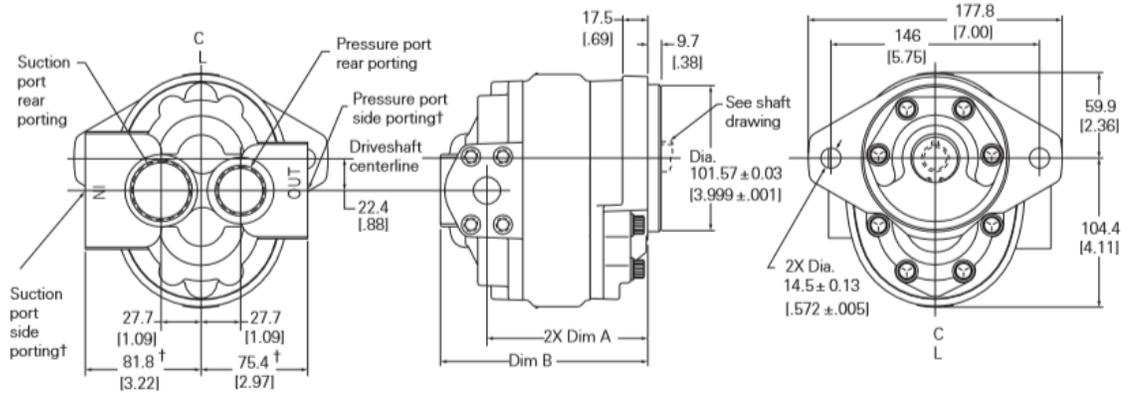
Output power vs speed



Continuación anexo 2.

**Series L2 pump
Standard catalog assemblies - dimensions**

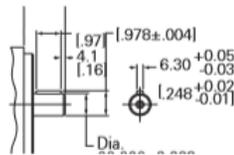
All dimensions are in mm [in]



Model	25500	25501	25502	25503	25504	25505	25506	25507	25508
Displacement (cm ³ /r [in ³ /r])	21.3 [1.30]	25.4 [1.55]	29.2 [1.78]	33.6 [2.05]	38.2 [2.33]	42.8 [2.61]	46.7 [2.85]	51.1 [3.12]	55.2 [3.37]
Dimension A (mm [in.])	84.8 [3.34]	88.2 [3.47]	91.7 [3.61]	95.1 [3.75]	98.6 [3.88]	102.0 [4.02]	105.3 [4.14]	109.0 [4.29]	112.4 [4.43]
Dimension B (mm [in.])	117.3 [4.62]	120.8 [4.75]	124.2 [4.89]	127.7 [5.03]	131.1 [5.16]	134.6 [5.30]	137.8 [5.42]	141.5 [5.57]	145.0 [5.71]

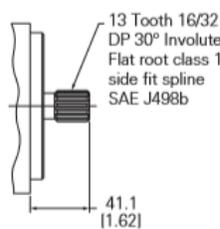
7/8 inch straight key

Maximum Input Torque††
170 Nm [1500 lb-in]



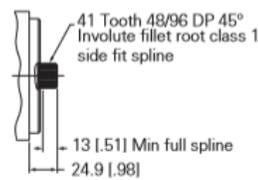
7/8 inch 13 tooth spline

Maximum Input Torque††
209 Nm [1850 lb-in]



7/8 inch 41 tooth spline

Maximum Input Torque††
316 Nm [2800 lb-in]



Fuente: Productos Hidráulicos de Centro América, S.A. *Catálogo técnico de bombas y motores de engranajes.* pp. 29-32.

- Información técnica de bomba de paletas

Anexo 3. Información técnica de la bomba V10

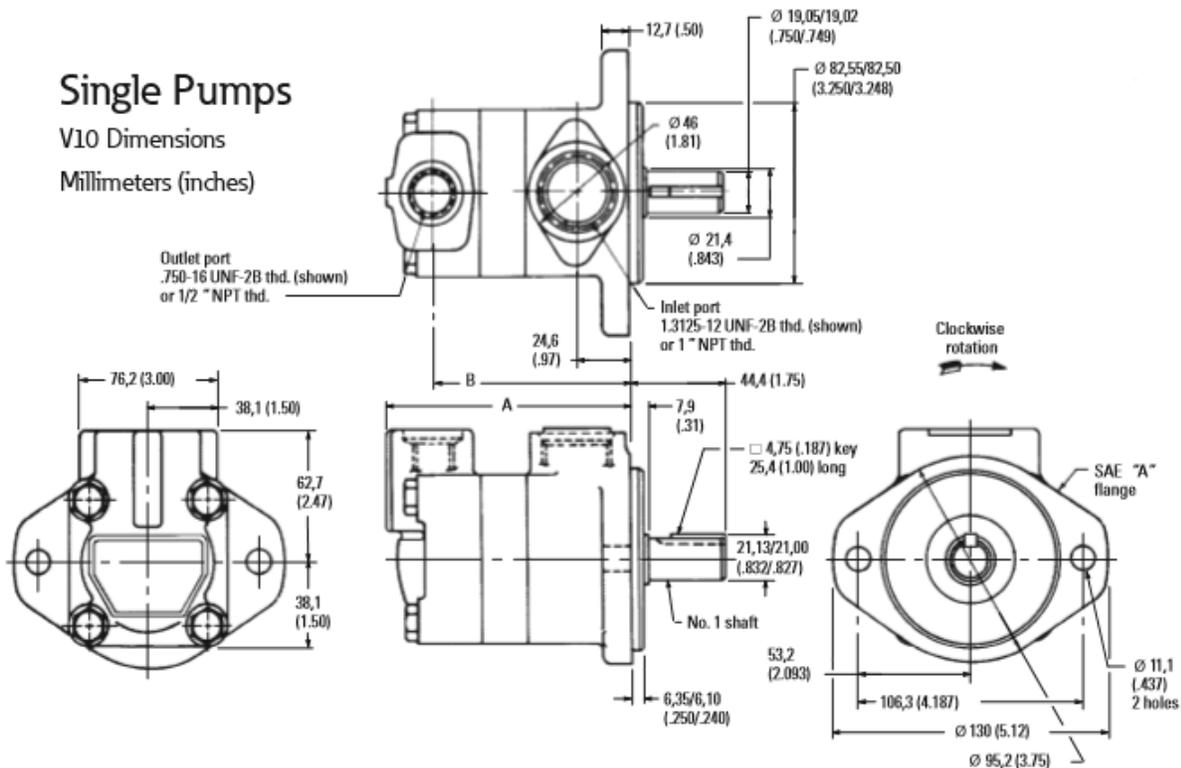
Specifications

Based on using petroleum oil at 49° C (120° F), viscosity 32 cSt at 38° C (150 SUS at 100° F), and 0 psi inlet pressure

Model series	Ring size	Displ.	Max. Speed	Maximum pressure	Typical delivery	Typical input power	Weight
	(Delivery USgpm @ 1200 r/min & 100 psi)	cm ³ /r (in ³ /r)	r/min	bar (psi)	L/min (USgpm) @ max. speed & pressure	kW (hp) @ max. speed & pressure	kg (lb)
V10	1	3,3 (.20)	4800	172 (2500)	13,6 (3.6)	5,2 (7)	4,5 - 6,8 (10 - 15)
	2	6,6 (.40)	4500	172 (2500)	27,6 (7.3)	10,1 (13.6)	
	3	9,8 (.60)	4000	172 (2500)	35,6 (9.4)	13,3 (17.8)	
	4	13,1 (.80)	3400	172 (2500)	41,3 (10.9)	15,2 (20.4)	
	5	16,4 (1.00)	3200	172 (2500)	48,5 (12.8)	17 (22.8)	
	6	19,5 (1.19)	3000	152 (2200)	55,3 (14.6)	18,3 (24.5)	
	7	22,8 (1.39)	2800	138 (2000)	60,6 (16)	17,9 (24)	
V20	6	19,5 (1.19)	3400	172 (2500)	60,9 (16.1)	21,6 (29)	7,3 - 8,2 (16 - 18)
	7	22,8 (1.39)	3000	172 (2500)	63,2 (16.7)	22 (29.5)	
	8	26,5 (1.62)	2800	172 (2500)	67 (17.7)	24,2 (32.5)	
	9	29,7 (1.81)	2800	172 (2500)	75 (19.8)	26,5 (35.5)	
	11	36,4 (2.22)	2500	172 (2500)	86,7 (22.9)	28 (37.5)	
	12	39 (2.38)	2400	152 (2200)	87,1 (23)	26,8 (36)	
	13	42,4 (2.59)	2400	152 (2200)	98 (25.9)	29,1 (39)	

See page 6 for speed correction curve.

EATON Vickers® Vane Pumps Single and Double Vane Pumps 698 November 2011

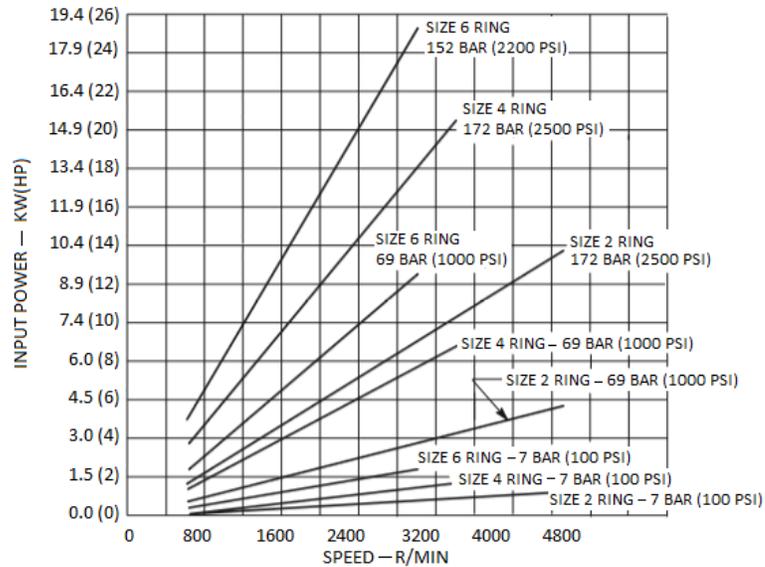
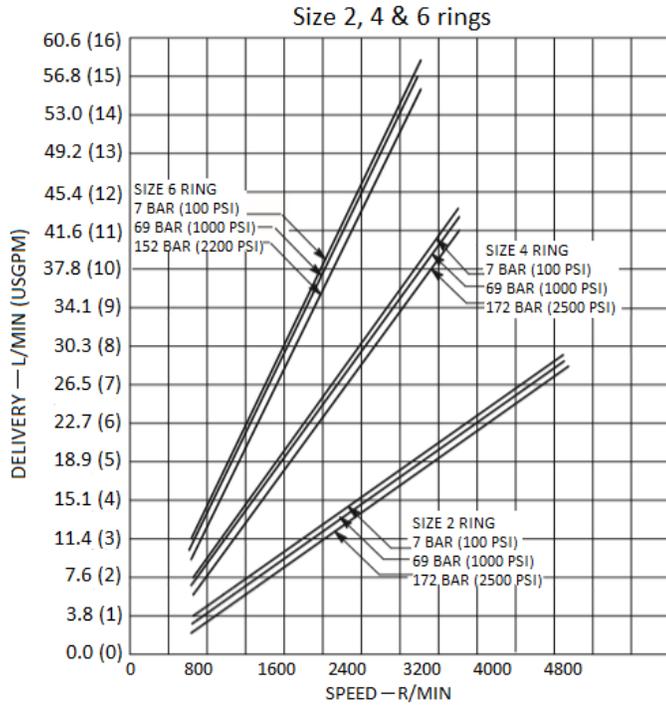


Continuación anexo 3.

Single Pumps

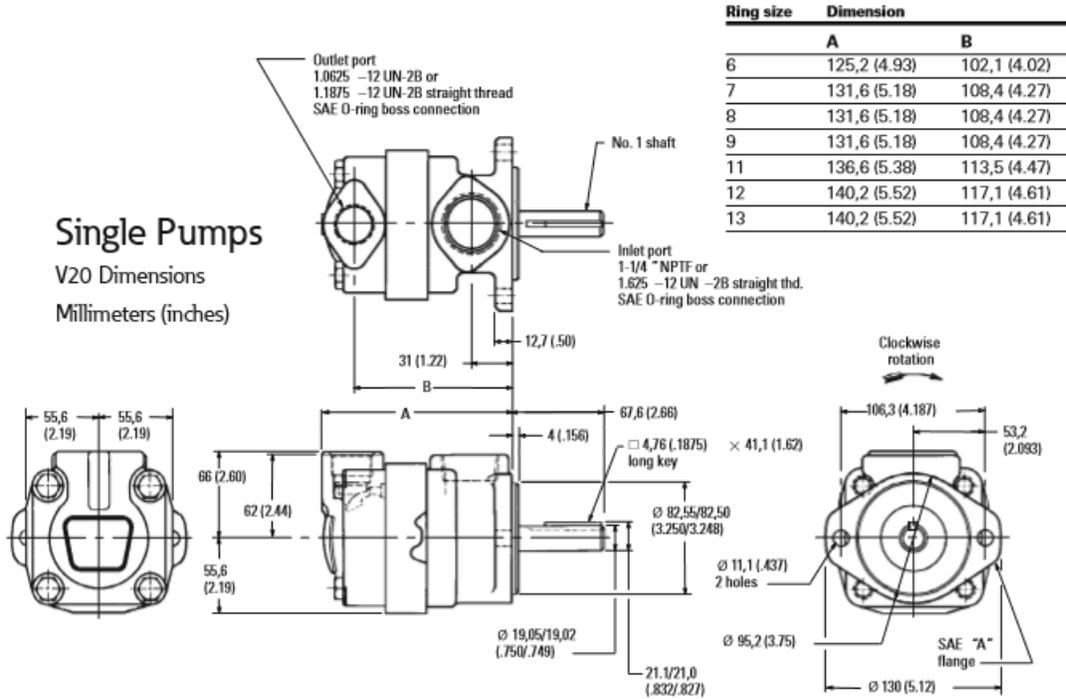
V10 Performance

Oil temp. 49°C (120°C), viscosity 32 cSt (150 SUS) @ 38°C (100°F), inlet pressure zero



Fuente: Productos Hidráulicos de Centro América, S.A. *Catálogo técnico de bombas y motores de paletas*. pp. 7-9.

Anexo 4. Información técnica de la bomba V20



Based on using petroleum oil at 49° C (120° F), viscosity 32 cSt at 38° C (150 SUS at 100° F), and 0 psi inlet pressure

V2010 model series	Ring size	Displ.	Max. speed	Maximum pressure	Typical delivery	Typical input power	Approx. total weight
	(Delivery USgpm @ 1200 r/min & 100 psi)	cm ³ /r (in ³ /r)	r/min	bar (psi)	L/min (USgpm) @ max. speed & pressure	kW (hp) @ max. speed & pressure	kg (lb)
Shaft-end pump	6	19,5 (1.19)	3000	172 (2500)	54,9 (14.5)	18,3 (24.5)	13,6 (30)
	7	22,8 (1.39)	3000	172 (2500)	62,5 (16.5)	22,4 (30)	
	8	26,5 (1.62)	2800	172 (2500)	66,2 (17.5)	24,2 (32.5)	
	9	29,7 (1.81)	2800	172 (2500)	75,7 (20)	26,8 (36)	
	11	36,4 (2.22)	2500	172 (2500)	87,1 (23)	28 (37.5)	
	12	39 (2.38)	2400	152 (2200)	87,1 (23)	26,8 (36)	
Cover-end pump	13	42,4 (2.59)	2400	152 (2200)	98,4 (26)	29,1 (39)	
	1	3,3 (.20)	3000	172 (2500)	7,6 (2)	3,4 (4.5)	
	2	6,6 (.40)	3000	172 (2500)	17,8 (4.7)	6,7 (9)	
	3	9,8 (.60)	3000	172 (2500)	26,5 (7)	10 (13.4)	
	4	13,1 (.80)	3000	172 (2500)	36 (9.5)	13,4 (18)	
	5	16,4 (1.00)	3000	172 (2500)	45,4 (12)	16 (21.5)	
	6	19,5 (1.19)	3000	152 (2200)	54,9 (14.5)	18,3 (24.5)	
7	22,8 (1.39)	2800	138 (2000)	60,6 (16)	17,9 (24)		

V2010 model series	Ring size	Displ.	Max. speed	Maximum pressure	Typical delivery	Typical input power	Approx. total weight
	(Delivery USgpm @ 1200 r/min & 100 psi)	cm ³ /r (in ³ /r)	r/min	bar (psi)	L/min (USgpm) @ max. speed & pressure	kW (hp) @ max. speed & pressure	kg (lb)
Shaft-end pump	12	39 (2.38)	2400	152 (2200)	87,1 (23)	26,8 (36)	15,9 (35)
	13	42,4 (2.59)	2400	152 (2200)	98,4 (26)	29,1 (39)	
Cover- or shaft-end pump	6	19,5 (1.19)	3000	172 (2500)	54,9 (14.5)	19,4 (26)	15,9 (35)
	7	22,8 (1.39)	3000	172 (2500)	62,5 (16.5)	22,4 (30)	
	8	26,5 (1.62)	2800	172 (2500)	66,2 (17.5)	24,2 (32.5)	
	9	29,7 (1.81)	2800	172 (2500)	75,7 (20)	26,8 (36)	
	11	36,4 (2.22)	2500	172 (2500)	87,1 (23)	28 (37.5)	

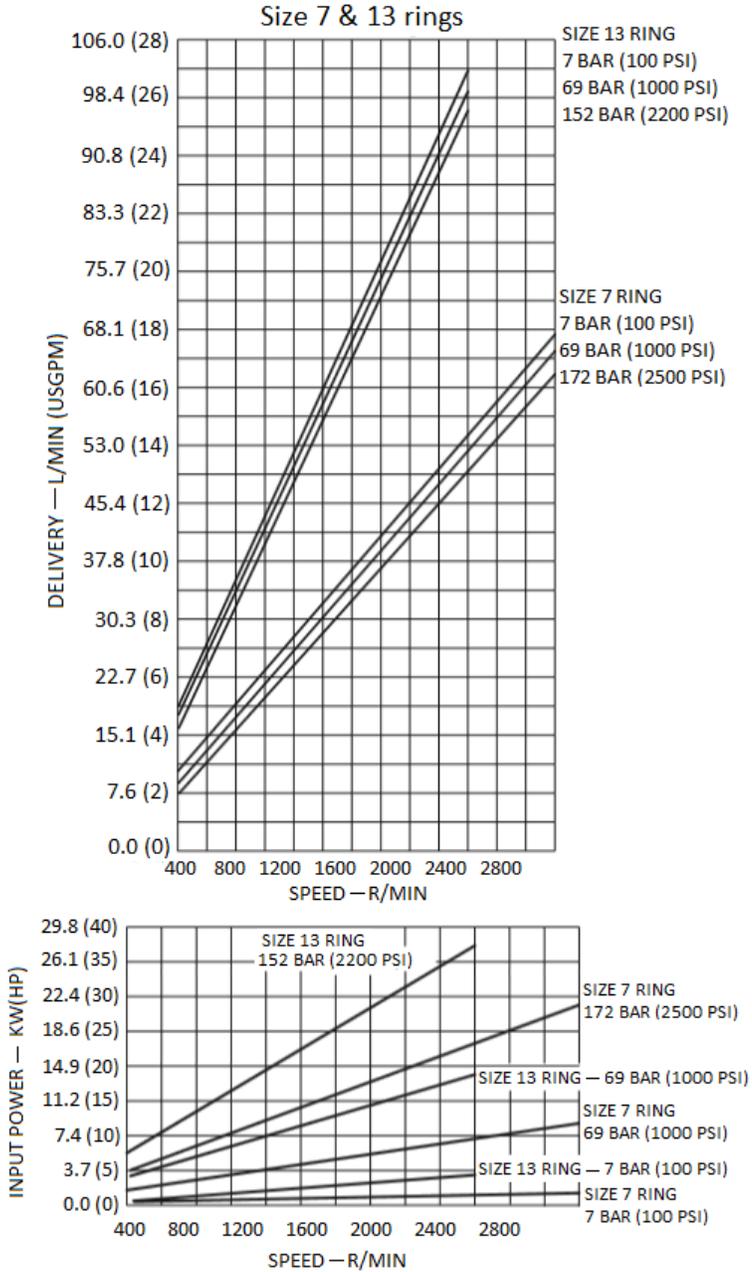
See page 6 speed correction curve.

Continuación anexo 4.

Single Pumps

V20 Performance

Oil temp. 49°C (120°C), viscosity 32 cSt (150 SUS) @ 38°C (100°F), inlet pressure zero



Fuente: Productos Hidráulicos de Centro América, S.A. *Catálogo técnico de bombas y motores de paletas*. pp. 14-17.

