



**Elaboración de manual de procedimientos para la intervención de equipos hidráulicos en la empresa TECNIHIDRAULICA SAS**

Breisman Ancisar Chalaca Vallejo

Informe de práctica para optar al título de Ingeniero Mecánico

Asesores

Pedro León Simanca, Magíster (MSc), Ingeniero mecánico

Jaime Montoya López Magíster (MSc), Ingeniero mecánico

Jaime Adrián Jaramillo, Ingeniero mecánico

Universidad de Antioquia

Facultad de Ingeniería

Ingeniería Mecánica

Medellín, Antioquia, Colombia

2022

Cita	Chalaca Vallejo [1]
<b>Referencia</b>	[1] B. Chalaca Vallejo, "Elaboración de un manual de procedimientos para la intervención de equipos hidráulicos en la empresa TECNIHIDRAULICA SAS", Trabajo de grado profesional, Ingeniería Mecánica, Universidad de Antioquia, Medellín, Antioquia, Colombia, 2022.
Estilo IEEE (2020)	



Ingeniería mecánica, semestre de industria.

Departamento de ingeniería mecánica.

Facultad de ingeniería



Biblioteca Carlos Gaviria Díaz

**Repositorio Institucional:** <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - [www.udea.edu.co](http://www.udea.edu.co)

**Rector:** John Jairo Arboleda Céspedes

**Decano:** Jesús Francisco Vargas Bonilla.

**Jefe departamento:** Pedro León Simanca.

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

## Índice general

Resumen .....	8
1. Introducción.....	9
2. Objetivos.....	10
Objetivo general.....	10
Objetivos específicos .....	10
3. Marco Teórico .....	11
3.1. Principio de Pascal.....	11
3.2. Definición de presión.....	12
3.3. Definición de caudal .....	13
3.4. Conservación de la energía .....	13
3.5. Circuitos hidráulicos .....	14
4. Metodología.....	19
5. Conceptualización del problema .....	20
5.1. Definición del problema .....	20
5.2. Identificación del procedimiento técnico.....	21
5.3. Problemas generados en el procedimiento técnico .....	24
5.4. Selección de los equipos objeto de estudio.....	25
6. Caracterización de los procesos.....	28
6.1. Delimitación del procedimiento.....	29
6.2. Recolección de la información .....	29
6.3. Análisis de la información y diseño del procedimiento.....	31
7. Caracterización de los equipos .....	34
7.1. Cilindros hidráulicos.....	34
7.1.1. Características técnicas .....	35
7.1.2. Tipos de cilindros.....	36
7.1.3. Construcción.....	37
7.1.4. Funcionamiento.....	39
7.1.5. Identificación de los cilindros .....	42
7.1.6. Ensamble y desensamble.....	42
7.1.7. Posibles fallas.....	44

7.2.	Bombas hidráulicas .....	49
7.2.1.	Características técnicas .....	49
7.2.2.	Tipos.....	50
7.2.3.	Bombas de engranajes Rexroth y Parker.....	50
7.2.3.1.	Construcción.....	50
7.2.3.2.	Funcionamiento.....	54
7.2.3.3.	Identificación.....	55
7.2.3.4.	Ensamble y desensamble.....	57
7.2.3.5.	Inspección y reparación.....	60
7.2.3.6.	Posibles fallas.....	61
7.2.4.	Bombas de pistones Rexroth.....	62
7.2.4.1.	Construcción.....	63
7.2.4.2.	Funcionamiento.....	67
7.2.4.3.	Identificación.....	70
7.2.4.4.	Ensamble y desensamble.....	71
7.2.4.5.	Inspección y reparación.....	74
7.2.4.6.	Posibles fallas.....	75
7.3.	Motores hidráulicos .....	77
7.3.1.	Características técnicas .....	77
7.3.2.	Tipos.....	78
7.3.3.	Motores tipo G rotor.....	78
7.3.4.	Construcción.....	78
7.3.5.	Funcionamiento.....	81
7.3.6.	Identificación.....	83
7.3.7.	Ensamble y desensamble.....	85
7.3.8.	Inspección y reparación.....	87
7.3.9.	Posibles fallas.....	87
8.	Estandarización de los procesos .....	88
9.	Conclusiones.....	94
10.	Referencias bibliográficas .....	95

## Índice de figuras

Figura 1. La presión se transmite en todas las direcciones en un fluido confinado. [1].....	12
Figura 2. Caída de presión y caudal a través de un orificio. [1].....	12
Figura 3. La energía no puede crearse ni destruirse. [1].....	14
Figura 4. Principio de continuidad de los líquidos. [2] .....	14
Figura 5. Circuito hidráulico básico. [3].....	15
Figura 6. Sistema hidráulico como sistema de transmisión de energía. [3] .....	19
Figura 7. Flujograma de procedimiento en la intervención de los equipos.....	22
Figura 8. Formato de Orden de trabajo (OT). Propiedad de TECNIHIDRÁULICA SAS...	24
Figura 9. Tipos de trabajo y su procedimiento. ....	33
Figura 10. Temas objeto de estudio para la Caracterización de los equipos.....	34
Figura 11. Carrera de un cilindro [2].....	35
Figura 12. Componentes de un cilindro hidráulico tipo botella [9].....	38
Figura 13. Componentes de un cilindro tipo tirantes [10].....	38
Figura 14. Sellos de un cilindro [5] .....	40
Figura 15. Pasos para desensamblar un cilindro.....	43
Figura 16. Pasos para ensamblar un cilindro.....	43
Figura 17. posibles tipos de averías de cilindros hidráulicos. [11].....	44
Figura 18. Construcciones bombas de engranajes con cuerpo de aluminio. [13] .....	51
Figura 19. Componentes de bomba de engranajes con cuerpo de aluminio. [13].....	51
Figura 20. Bombas de hierro fundido. [14] .....	52
Figura 21. Componentes de bombas de engranajes Parker series PGP/PGM 300 series. [15] .....	53
Figura 22. Funcionamiento de una bomba de engranajes [1].....	54
Figura 23. Compensación axial de la bomba a engranajes. [13] .....	55
Figura 24. Placa de características bomba de engranajes con cuerpo de aluminio.[13].....	55
Figura 25. Pasos para desensamblar una bomba de engranajes. ....	58
Figura 26. Pasos para Ensamblar una bomba de engranajes. ....	59
Figura 27. Torque para las bombas Parker Series PGP/PGM 300 series. [15] .....	59
Figura 28. Cambio de giro a bombas de engranajes. [3] .....	61
Figura 29. Construcción de las bombas de pistones Rexroth series A10vO [17] .....	63
Figura 30. Componentes de la bomba de pistones Rexroth A10VO series 31. [18].....	63
Figura 31. Componentes grupo rotativo en bombas de pistones Rexroth A10vO series 31. [18] .....	65
Figura 32. Componentes del pistón de control de las bombas de pistones Rexroth A10vO series 31. [18] .....	66
Figura 33. Componentes de válvulas de control en bomba de pistones Rexroth A10vO series 31. [18] .....	66
Figura 34. Válvulas de control de las bombas de pistones Rexroth A10VO series 31 [13].	68
Figura 35. Circuito hidráulico de una bomba con compensador de presión DR [13] .....	69

Figura 36. Funcionamiento de las válvulas de control en las bombas Rexroth A10VO series 31 [13] .....	69
Figura 37. Placa identificadora de las bombas Rexroth A10VO series 31. [18].....	70
Figura 38. Desensamble de válvulas de control en bombas de pistones RexrothA10VO series 31 .....	71
Figura 39. Ensamble de válvulas de control en bombas de pistones Rexroth A10VO series 31 .....	72
Figura 40. Desensamble de las bombas de pistones Rexroth A10VO series 31. ....	72
Figura 41. Ensamble de bomba de pistones Rexroth A10VO series 31 .....	73
Figura 42. Construcción tipo Gerotor y Geroler [22].....	79
Figura 43. Construcción de motores tipo orbital con válvulas de carrete.[22].....	79
Figura 44. Construcción motores tipo orbital con válvulas de disco. [22].....	80
Figura 45. Componentes motores Eaton 2000 Series [22] .....	81
Figura 46. Excentricidad en motores tipo orbitales [23] .....	82
Figura 47. Placa identificación motores tipo orbital Char-Lynn Eaton. [22].....	83
Figura 48. Identificación del tipo de producto motores Char-lynn Eaton. [22] .....	84
Figura 49. Desensamble de motores tipo orbital Char-Lynn Eaton .....	85
Figura 50. Ensamble de motores tipo orbital Char-Lynn Eaton.....	86

## Índice de tablas

Tabla 1. Elementos de un circuito hidráulico básico.....	17
Tabla 2. Datos del total de trabajos con fallas por mes en la empresa TECNIHIDRAULICA SAS.....	20
Tabla 3. Clasificación de equipos intervenidos en la empresa en un intervalo de 6 meses. 26	
Tabla 4. Clasificación por tipo de bombas. ....	27
Tabla 5. Clasificación por tipo de cilindros.....	27
Tabla 6. Clasificación por tipo de motores.....	27
Tabla 7. Actividades realizadas en la intervención de cilindros.....	30
Tabla 8. Actividades realizadas en la intervención de bombas. ....	30
Tabla 9. Actividades realizadas en la intervención de motores.....	31
Tabla 10. Tipos de cilindros según su efecto .....	36
Tabla 11. Modos de fijación de cilindros hidráulicos de tirantes [8] .....	41
Tabla 12. Posibles problemas presentes en los cilindros hidráulicos. [12] .....	45
Tabla 13. Identificación de bomba de engranajes de aluminio. ....	56
Tabla 14. Galonajes de bombas Parker según tipo y altura del piñón. [14] .....	57
Tabla 15. Posibles problemas presentes en los cilindros hidráulicos [13], [15].....	61
Tabla 16. Identificación de bombas de pistones Rexroth A10VO series 31 [17] y [19].....	71
Tabla 17. Torques máximos recomendados por Rexroth [20] .....	73
Tabla 18. Posibles fallas de las bombas de pistones Rexroth A10VO series 31 [21] .....	75
Tabla 19. Características para la identificación de un motor tipo orbital. [22] .....	85
Tabla 20. Posibles fallas de motores tipo orbital. [12] .....	87
Tabla 21. Estándar de trabajo para intervención de cilindros.....	89
Tabla 22. Estándar de trabajo para intervención de bombas de piñones.....	90
Tabla 23. Estándar de trabajo para la intervención de bombas de pistones. ....	91
Tabla 24. Estándar de trabajo para intervención de motores.....	92

## **Resumen**

La empresa TECNIHIDRAULICA SAS está dedicada a la fabricación, suministro y reparación de equipos oleo-hidráulicos, es decir todo equipo que trabaja bajo la presión generada por un aceite confinado. Dentro de sus planes de mejoramiento, la empresa se encaminó en la calidad del área operativa enfocándose en el personal técnico; buscando capacitarlos y formarlos para minimizar al máximo posibles fallas en sus actividades que repercuten directamente en la calidad de la empresa, esto debido al aumento en los reprocesos y garantías de trabajo que vinculaban directamente a los técnicos. Por lo anterior, este trabajo se centró en la estandarización del procedimiento técnico llevado a cabo para la intervención de equipos hidráulicos, seleccionados con base en la frecuencia de trabajos realizados por la empresa en un periodo de tiempo comprendido entre enero y junio del año 2021. Para esto se realizó una revisión de los registros operacionales a modo de determinar cuáles fueron los equipos más intervenidos en este lapso. Con este criterio se seleccionaron las bombas, los cilindros y los motores hidráulicos y se centró en los equipos de ciertos fabricantes en particular. La estandarización de todo el proceso se dividió en dos partes, por un lado, se trabajó todo el procedimiento que desarrolla el personal en cada intervención a modo de determinar cuáles son los factores claves para cada actividad; esto se realizó por medio de observación en campo obteniendo así posibles fallas y a su vez mejoras que debían implementarse. Por otra parte, se determinó para cada equipo seleccionado los criterios e información necesaria según los requerimientos de la empresa para tener una correcta comprensión de los equipos y que esto pueda generar una adecuada intervención de estos. Todo esto se realizó por medio de un manual que tiene como objetivo ser la guía en cada procedimiento y sirva además como un documento legal para realizar un control interno por parte de la empresa. En el manual se incluyó toda la información recogida de los equipos y se elaboraron estándares de trabajo enfocados directamente en cada equipo. De este trabajo se pudo concluir que establecer e implementar los estándares de trabajo y uso de una guía que permitan respaldar las operaciones del personal técnico, permiten minimizar el tiempo de capacitación de personal nuevo y a su vez hacer las acciones correctivas cuando una actividad se está ejecutando mal; por otra parte, se espera que con los estándares de trabajo se logre realizar un registro y diligenciamiento completo para cada trabajo que involucre los equipos objeto de estudio.

## **1. Introducción**

La transformación de la energía para el aprovechamiento y beneficio de la humanidad es tan antigua como la humanidad misma; es por ello por lo que en el transcurso de la historia se han descubierto formas de transformar la energía permitiendo al hombre realizar actividades que cada vez implican un mayor esfuerzo o trabajo con mayor precisión, rapidez y menor desgaste de la energía humana. Un ejemplo de ello es el uso de un fluido para generar trabajo o la transmisión de potencia por medio de un fluido confinado que definen la rama de la hidráulica, la cual se desliga de otras formas de generación de potencia ya que esta permite dirigir dicha potencia en trabajo útil con un control preciso y de una manera más versátil [1]. Gracias al avance industrial y tecnológico que permitió la mecanización y posterior automatización de los procesos técnicos, logrando a su vez reducciones económicas, de tiempo y error, al reemplazar la mano de obra por máquinas o equipos que logran emular los movimientos de los trabajadores, se vio necesario la implementación de sistemas de transmisión de energía; aquí es donde entra la hidráulica, quien sienta sus bases físicas en la mecánica de sólidos, fluidos y la termodinámica permitiendo realizar diseños de circuitos hidráulicos óptimos para determinadas aplicaciones.

La empresa TECNIHIDRÁULICA S.A.S. expertos en el suministro, fabricación y mantenimiento de equipos hidráulicos, determinó planes de acción para llevar a cabo en aras de mejorar su productividad y calidad de trabajo. Dentro de estos planes se busca capacitar al personal técnico para mejorar su desempeño y minimizar al máximo posibles fuentes de error ya que, según datos recolectados mensualmente por la empresa, se pudieron observar fluctuaciones desde el mes de diciembre del año 2020 y a lo largo de todo el año 2021 en las garantías y reprocesos por los servicios prestados, siendo evidente un mal procedimiento operativo como una de las posibles fuentes de error. Adicional a esto, la falta de capacitación técnica de los trabajadores hace que el área operativa de la empresa tenga que verse obligada a designar trabajos dependiendo de las capacidades de cada técnico. Por tal motivo, se propone la creación de un manual de procedimientos dedicado a los equipos y sistemas más intervenidos en el transcurso del año 2021 por la empresa con el fin de garantizar y tener un respaldo de los procedimientos adecuados que deben llevarse a cabo en el área operativa y mejorar la calidad y capacidad del equipo técnico.

Primeramente, se debe hacer revisión de los registros operacionales de la empresa con el fin de determinar cuáles han sido los equipos intervenidos con mayor frecuencia; posterior a esto, se procede a realizar una revisión bibliográfica con el fin de identificar la construcción, funcionamiento y posibles fallas para cada equipo seleccionado. Por otra parte, se debe registrar la intervención del trabajo técnico realizado en la empresa para determinar posibles fallas que pueden complementar la revisión bibliográfica. La elaboración de dicho manual busca ayudar al equipo técnico a proceder de una manera correcta y estandarizada donde podrá encontrarse toda la información necesaria para dar solución a los problemas que se lleguen a presentar durante su intervención; de igual manera se espera realizar los trabajos de mantenimiento preventivo y correctivo de una forma segura y técnica para los equipos o sistemas hidráulicos seleccionados sirviendo de guía para toda persona que a futuro decida participar activamente en la intervención de estos sistemas.

## **2. Objetivos**

### **Objetivo general**

Analizar y estandarizar procedimientos para la intervención de elementos y equipos hidráulicos en la empresa TECNIHIDRAULICA S.A.S. por medio de un manual de procedimientos.

### **Objetivos específicos**

- Revisar el registro de trabajos realizados en el transcurso del año por parte de la empresa para seleccionar los equipos y sistemas que se incluirán en el manual de procedimientos.
- Realizar una revisión bibliográfica sobre los conceptos teóricos, consideraciones de diseño o especificaciones técnicas de sistemas y equipos hidráulicos que permitan determinar una adecuada intervención de estos.
- Supervisar los procedimientos llevados a cabo por el equipo técnico en las órdenes de trabajo para determinar posibles errores operativos.
- Estandarizar los procedimientos operativos para los equipos y sistemas hidráulicos seleccionados que permitan identificar la construcción, funcionamiento y posibles fallas presentes en estos.

### 3. Marco Teórico

Una de las principales razones por las cuales la hidráulica es muy utilizada en la actualidad es debido a la simplicidad de las leyes físicas sobre las cuales se rige; la palabra hidráulica proviene del griego y está compuesta por dos partes: hidros que significa agua y aulos tubos; por lo tanto, se puede referir a la hidráulica como la ciencia que estudia el comportamiento para todo fluido sometido a una fuerza externa. En este punto podemos dividir la hidráulica en dos partes dependiendo de la forma de transmitir la energía; si la potencia es transmitida por la elevada energía cinética del fluido se denomina hidrodinámica, mientras que si la potencia es transmitida directamente debida a la fuerza aplicada en un fluido confinado se denomina hidrostática [1]; con base en esto, en adelante nos referiremos solo a la última parte y más específicamente a la parte de la hidráulica que usa aceite como medio de transmisión de potencia, además se hace hincapié en el término “*equipo*”, donde para este documento hace alusión a cualquier componente hidráulico que trabaja con fluido a presión.

La rama de la hidráulica resulta ser útil en comparación con las ramas de la mecánica, la neumática o la eléctrica gracias a que un fluido confinado es uno de los medios más versátiles y flexibles, pudiendo adaptarse a diferentes formas, dividirse en muchas partes, que a su vez pueden realizar trabajo y permitir un control preciso con la característica de alcanzar una potencia elevada multiplicando la fuerza de entrada en un volumen y peso reducidos, mantener una velocidad de torque baja sin sobrecalentamiento y conseguir fuerzas y torques constantes, pudiendo inclusive operar en intervalos prolongados de tiempo. Hoy en día la hidráulica es muy utilizada en diferentes aplicaciones, pudiendo agruparse en dos aplicaciones: móviles e industriales; para la primera se pueden encontrar equipos tales como tractores, grúas, retroexcavadoras, camiones recolectores de basura, cargadores frontales, frenos y suspensiones de camiones, vehículos para la construcción y mantención de carreteras, entre muchos otros; mientras que para aplicaciones industriales donde es necesario un control y precisión elevados se pueden encontrar los diferentes equipos utilizados en los diferentes sectores industriales y también máquinas herramientas que toman provecho de estos sistemas [2].

#### 3.1.Principio de Pascal

Este es el principio básico por el cual se rige todo sistema hidráulico y el cual se describe cuando se aplica una fuerza sobre un fluido que se encuentra encerrado en un recipiente, pues este transmite dicha fuerza en igual magnitud y en todas direcciones de forma uniforme; o en otras palabras descrito como la fuerza ejercida por unidad de área o que actúa sobre una superficie y expresado tal como se muestra en la *ecuación 1*.

$$P = \frac{F}{A} \quad [ec. 1]$$

Donde P es presión, F es fuerza y A es área. Esta ley permitió determinar que todo fluido es incompresible, es decir no experimentará un cambio significativo en su volumen al someterse a una carga externa y transmitiendo tal fuerza de manera instantánea tal como se muestra en la *figura 1* [1].

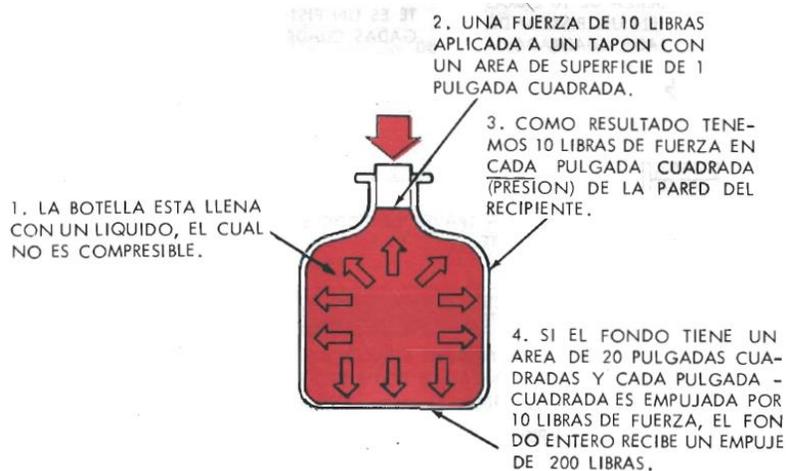


Figura 1. La presión se transmite en todas las direcciones en un fluido confinado. [1]

### 3.2. Definición de presión

La presión determina la fuerza que se aplica a un cuerpo por cada unidad de su superficie y la cual se puede aplicar en todos los sentidos. De forma matemática se puede expresar la presión por medio de la *ecuación 1*. Por otra parte, se puede referir a la presión estática como la presión que ejerce un fluido en reposo sobre todas las paredes del recipiente que lo contienen, mientras que la presión dinámica se aplica cuando se genera el flujo de fluido y existe una oposición o resistencia externa que afecta su movimiento [3].

Por lo anterior, en todo sistema hidrostático, la única manera de que se genere presión es cada vez que se produzca una resistencia a la circulación del líquido en movimiento o una fuerza externa que trate de impulsarlo. Adicionalmente, en todos los sistemas la presión atmosférica juega un importante papel para generar el flujo del fluido; haciendo referencia a la presión atmosférica como la presión ejercida por el aire de la atmósfera debida al peso de este. Así, para generar movimiento se debe cumplir una condición de caída de presión en la línea de movimiento del fluido para que este se desplace tal como se muestra en la *figura 2* [1].

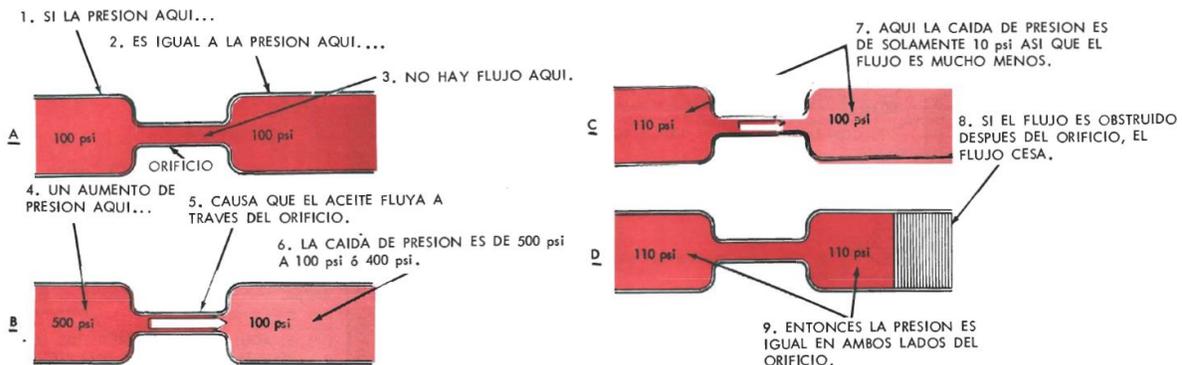


Figura 2. Caída de presión y caudal a través de un orificio. [1]

También se pueden distinguir dos tipos de presiones en los sistemas dependiendo si se considera o no la presión atmosférica y se puede expresar matemáticamente así:

$$P_{abs} = P_{atm} + P_{rel} \quad [ec. 2]$$

Siendo  $P_{abs}$  la presión absoluta en el sistema siendo la suma de la presión atmosférica ( $P_{atm}$ ) y la presión relativa o manométrica del sistema ( $P_{rel}$ ).

### 3.3. Definición de caudal

En términos simples el caudal se puede entender como la cantidad de flujo de fluido transportado a través de un conducto por unidad de tiempo y expresado matemáticamente como se muestra en la *ecuación 3*, donde  $Q$  es el caudal,  $V$  es el volumen de líquido y  $t$  el tiempo [2].

$$Q = \frac{V}{t} \quad [ec. 3]$$

En la hidráulica el caudal está directamente relacionado con la capacidad para suministrar potencia en un sistema, por esto, muchas veces los fabricantes de equipos utilizan el término desplazamiento para referirse a la capacidad que tienen dichos equipos; siendo el desplazamiento el volumen que pueden transportar en un determinado tiempo y el cual puede obtenerse matemáticamente despejando el volumen a partir de la *ecuación 3*.

### 3.4. Conservación de la energía

Esta ley afirma que la energía no se puede crear ni destruir [1], por tal motivo la única manera para que un sistema hidráulico pueda transmitir dicha energía es transformándola en otra forma de energía. Para entenderlo mejor se debe observar el comportamiento de la energía en un circuito completo. Empezando por la fuente externa de alimentación de energía, capaz de suministrar la energía necesaria para el sistema y que a su vez sea aprovechada por un elemento del circuito pudiendo transformar la energía que recibe en energía hidráulica siendo transportada a través de todo el circuito por medio del fluido hidráulico. Al llegar al elemento actuador del sistema, este nuevamente transforma la energía hidráulica en energía mecánica la cual puede ser aprovechada para ejercer un trabajo. Sin embargo, en el transporte de energía a través de todo el circuito no toda la energía que recibe el sistema es capaz de ser entregada nuevamente a la salida de este, debido a pérdidas de energía que se pueden presentar ocasionando que la energía se pierda ya sea en calor o debido a fugas que se puedan presentar. La *figura 3* muestra un ejemplo de este principio, donde la ganancia de fuerza se ve reflejada en una pérdida de distancia o velocidad [1].

A su vez se puede hacer alusión que en todo sistema hidráulico se cumple el principio de continuidad referido a los líquidos, permitiendo mantener el caudal constante a través de todo el conducto así se presenten cambios de sección como se muestra en la *figura 4*, gracias a que son incompresibles [2].

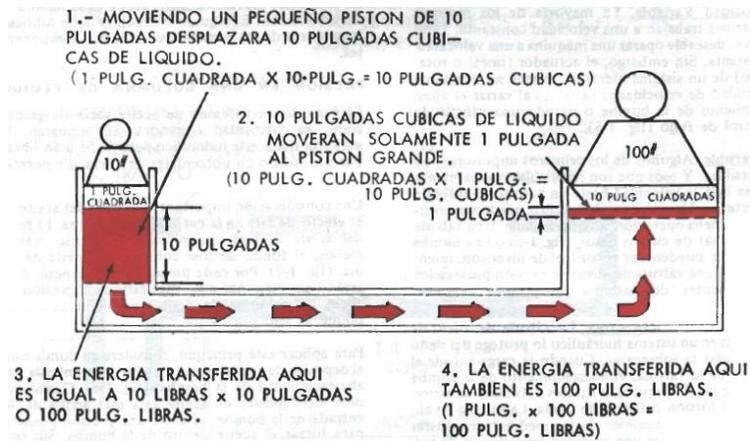


Figura 3. La energía no puede crearse ni destruirse. [1]

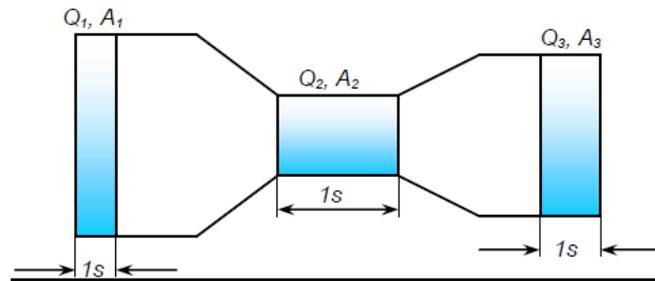


Figura 4. Principio de continuidad de los líquidos. [2]

### 3.5.Circuitos hidráulicos

La oleo hidráulica es la parte de la hidráulica que utiliza aceite, siendo este el medio conductor y transmisor de la potencia; pero dentro de sus principales funciones también están la de lubricar todas las partes dentro de un circuito hidráulico para que no se genere rozamiento entre las partes y se presente un excesivo desgaste, minimizando fugas al cumplir la acción de sellador entre las piezas y disipando el calor de los sistemas [4]. Para esto, se debe hacer hincapié en el cuidado y mantenimiento del fluido hidráulico, garantizando un control sobre sus propiedades físicas tales como densidad, presión, compresibilidad, viscosidad e índice de viscosidad entre muchos otros ya que ejercen un efecto importante en la calidad del aceite, que a su vez alteran el rendimiento y duración de los elementos y en sí de todo el sistema hidráulico; por tal motivo siempre se debe buscar alcanzar unos requisitos de calidad que permitan al aceite cumplir a cabalidad sus funciones.

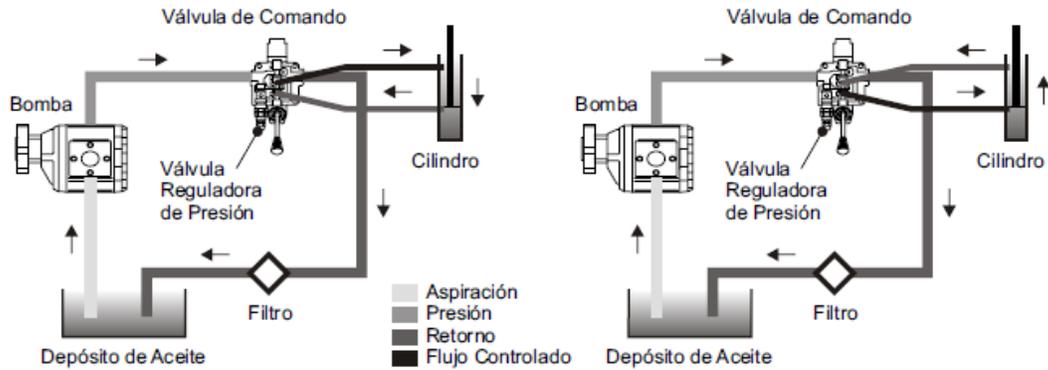


Figura 5. Circuito hidráulico básico. [3]

En la *figura 5* se puede observar el circuito de un sistema hidráulico común (*todo sistema hidráulico es transmisor y no una fuente de potencia*), donde se muestran los principales componentes que suelen estar presentes en todo circuito hidráulico; entiéndase por componentes a todos aquellos elementos que incorpora el sistema para su correcto funcionamiento, mantenimiento y control, pudiendo agruparse en cuatro grandes grupos: las bombas o elementos capaces de transformar la energía mecánica en energía de flujo, los elementos de regulación y control quienes controlan parámetros tales como presión, caudal, dirección; accionadores quienes son los encargados de aprovechar la energía hidráulica y transformarla en energía mecánica y acondicionadores y accesorios que permiten un correcto funcionamiento del sistema [3].

En la hidráulica la potencia útil de trabajo requiere de una fuente externa de energía como puede ser el caso de un motor eléctrico o de combustión, la cual es aprovechada por uno de los componentes más importantes de todo sistema hidráulico, la bomba; quien tiene como única función generar el flujo necesario para que el aceite contenido en un depósito conocido comúnmente como tanque, se desplace a lo largo del sistema y sea capaz de transmitir la fuerza necesaria para mover una carga; esto se logra gracias a la diferencia de presión generada entre el depósito y la línea de succión de la bomba, siendo normalmente la presión en el depósito igual a la presión atmosférica y alcanzando una presión menor en la entrada de la bomba garantizando generar el flujo de aceite; por lo tanto, la presión para todo sistema hidráulico es causado exclusivamente por la resistencia al flujo que puede venir de la carga de un actuador o una restricción (u orificio) en la tubería [1]. Para aplicaciones de hidráulica se utilizan bombas hidrostáticas o de desplazamiento positivo, esto quiere decir que la eficiencia de la bomba permanecerá constante sin importar ningún cambio de presión, siendo ideales para transmitir potencia. la tabla 1 muestra los principales tipos de bombas utilizados en la industria hidráulica, indicando los diferentes mecanismos de bombeo.

Toda bomba se debe caracterizar por el caudal, la presión y la vida del equipo. El caudal suministrado por la bomba se puede determinar a partir de la cilindrada o capacidad por ciclo, multiplicada por el número de ciclos o revoluciones por unidad de tiempo, es decir, la capacidad del flujo de la bomba en su desplazamiento por revolución o ciclo dependiendo el tipo de bomba. Un índice para determinar que tan bien está operando una bomba es el

rendimiento volumétrico, expresado como la relación entre el caudal real determinado directamente en la práctica y el caudal teórico determinado matemáticamente, encontrándose en un rango entre 0,80 y 0,99 dependiendo el tipo de bomba, su construcción, tolerancias internas y las condiciones específicas del trabajo. Otro factor importante que debe considerarse es el rendimiento mecánico de las bombas, ya que una cantidad significativa de energía suministrada por el motor se pierde para poder vencer los rozamientos internos [2]. La presión máxima que puede soportar una bomba es determinada directamente por cada fabricante con base en una duración razonable para la bomba en ciertas condiciones operativas; por lo cual, cada fabricante es libre de seleccionar un factor de seguridad para la presión que logran soportar las bombas. La vida útil de las bombas siempre estará relacionada con el tipo de aplicación a la cual debe trabajar; así, para aplicaciones que requieren tiempos prolongados de funcionamiento o condiciones agresivas (desfavorables) pueden verse reducidas significativamente en su vida útil.

Los elementos de regulación y control varían de sistema a sistema dependiendo la aplicación para la que se los necesite. Pero se puede evidenciar ciertos elementos que comúnmente están presentes en todo sistema hidráulico, Las válvulas reguladoras de presión, caudal y dirección del flujo de fluido que permiten un control preciso y seguro del sistema son de uso cotidiano en casi toda aplicación industrial. Las primeras tienen como objetivo proteger de presiones que puedan generar un riesgo al sistema y a su vez garantizar que trabaje bajo el rango de presiones para el cual fue diseñado; las segundas se encargan de regular el caudal es decir, delimitar el volumen de líquido por unidad de tiempo que pasa a través del sistema y conseguir así variar la velocidad de los movimientos; por último están las válvulas direccionales que se encargan de dirigir el flujo en cualquier dirección e inclusive abrir o cerrar el paso; esto le da la ventaja a los sistemas hidráulicos de operar en múltiples direcciones y sentidos con un control rápido y eficaz [2]. En la *tabla 1* se pueden encontrar las principales válvulas presentes en un circuito hidráulico típico.

Finalmente, cuando el aceite ha adquirido la energía que le fue suministrada por la bomba y ha circulado por los diferentes elementos de regulación y control, los elementos que son capaces de aprovechar toda la energía hidráulica y transformarla nuevamente en energía mecánica y realizar trabajo útil se conocen como actuadores hidráulicos. Divididos dependiendo el tipo de movimiento, los cilindros hidráulicos realizan movimientos lineales transmitiendo la fuerza en dirección axial al eje del cilindro; por otra parte, si se tiene un movimiento rotativo el actuador se conoce como motor hidráulico; los accionadores hidráulicos pueden tener diferentes construcciones, pero su finalidad siempre será la misma. La *tabla 1* muestra diferentes tipos de cilindros y motores, donde se puede evidenciar un gran parentesco entre los diferentes tipos de bombas y motores, esto debido a que una bomba puede trabajar como un motor siempre y cuando haya sido diseñada o adecuada para tal fin.

Adicionalmente se puede mencionar a los elementos acondicionadores y accesorios los cuales permiten un correcto funcionamiento y buscan alargar la vida de todos los elementos del sistema; dentro de este grupo se pueden encontrar los filtros, que tienen como función eliminar los contaminantes presentes en el aceite y así evitar daños en los componentes, los depósitos o tanques que almacenan y enfrían el aceite, además permiten que las partículas

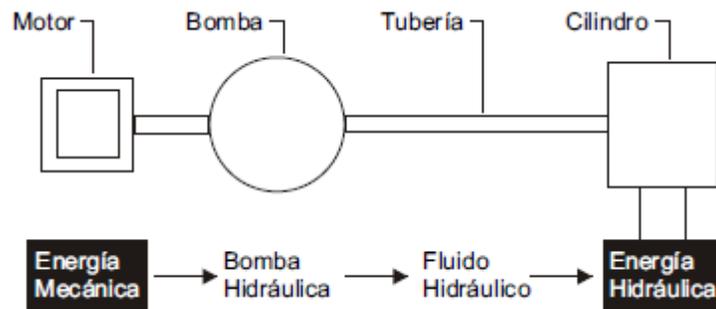
contaminantes se asienten en el fondo y que el aire se separe del aceite, intercambiadores de calor que permiten enfriar el aceite para que este mantenga sus propiedades y así buscar alargar la vida del mismo, acumuladores que almacenan el aceite a presión y permiten compensar las variaciones de flujo o presión que puedan presentarse en el funcionamiento, además de absorber los picos de presión y proporcionar presión y flujo de emergencia, sensores que permiten tener mediciones en tiempo real en el momento de operación del sistema, entre muchos otros [5]. A modo de resumen la *tabla 1* muestra todos los elementos principales que componen un circuito hidráulico común.

*Tabla 1. Elementos de un circuito hidráulico básico.*

<b>Elementos más comunes de un sistema hidráulico [5]</b>		
<p><b>Bombas</b></p> <p>Convierten la energía mecánica en energía hidráulica por medio de flujo de fluido.</p>	Bombas de engranajes	El par de engranajes (impulsor e impulsado) introducen el fluido al interior de la bomba siendo atrapado entre ellos y obligado a salir con una mayor energía.
	Bombas de paletas	Están compuestas por un anillo excéntrico dentro de un rotor que es impulsado por un eje, donde se ubican las paletas las cuales empujan al aceite contra la superficie entre las paletas y el interior del anillo, permitiendo que adquiera energía.
	Bombas de pistones	El aceite es ingresado al interior de la bomba por la retracción de los pistones que se mueven gracias al giro del plato basculante conectado a un eje impulsor. El flujo se genera al momento de la extensión de los pistones, que impulsan al aceite por el ducto de descarga.
<p><b>Elementos de regulación y control</b></p> <p>Regulan las condiciones de flujo del aceite</p>	Controladores de dirección	Se encargan de dirigir el recorrido del flujo por el sistema controlando la operación de los accionadores y otros componentes. Se pueden encontrar tres válvulas de control de dirección: selectora, de retención y compensadora.
	Controladores de caudal	Se utilizan para regular la velocidad del accionador o dividir el flujo. Esto se consigue desviando el flujo a otro circuito o retornando el exceso al tanque.
	Controladores de presión	Son los elementos de seguridad de un sistema hidráulico, limitando la presión a un rango determinado protegiendo así el sistema.

<p style="text-align: center;"><b>Accionadores</b></p> <p>Si presenta un movimiento lineal se denominan cilindros y si el movimiento es rotativo se denominan motores.</p>	Motores de engranajes	<p>Sus configuraciones son casi idénticas a los diferentes tipos de bombas. Su diferencia radica principalmente en que el aceite ingresa al interior del motor a alta presión entregando toda la energía en forma de flujo, que estos elementos la transforman nuevamente en energía mecánica.</p>
	Motores de paletas	
	Motores de pistones	
	Cilindros simple efecto	<p>En este tipo de cilindros el aceite entra a un solo lado de la cámara, generando que el cilindro se extienda. El regreso del cilindro se hace por la acción de gravedad aplicada a la carga que mueve el cilindro.</p>
	Cilindros doble efecto	<p>El aceite puede ingresar a los dos lados de la cámara del pistón, permitiendo direccionar los movimientos de avance y retroceso. Cuando el aceite ingresa para permitir la extensión del cilindro, el aceite contenido en la cámara posterior circula retornando al tanque.</p>
	Cilindros telescópicos	<p>En la construcción del cilindro se pueden identificar dos vástagos. Inicialmente se desplaza el vástago exterior y únicamente cuando este ha completado su carrera, el segundo vástago comienza su desplazamiento. Pueden encontrarse de simple y doble efecto.</p>
	Cilindros doble vástago	<p>Construidos por un pistón y dos vástagos en cada extremo, permiten equilibrar las presiones tanto en extensión como retracción gracias a que las áreas no son diferenciales.</p>
<p style="text-align: center;">Acondicionadores y accesorios</p>	Acumuladores	<p>Los acumuladores permiten solventar las variaciones de flujo que se puedan presentar en el sistema, mantener una presión constante y a su vez absorber los picos de presión y entregar presión y flujo en caso de ser requerido.</p>
	Enfriadores	<p>Debido a las altas presiones y como consecuencia una elevación en la temperatura, en algunas aplicaciones es necesario instalar intercambiadores de calor que permitan mantener una temperatura acorde para el aceite del sistema.</p>
	Filtros	<p>Atrapa y separa los contaminantes presentes en el aceite. Estos se pueden ubicar en diferentes puntos del sistema.</p>

La *figura 6* muestra en resumen cómo se compone el sistema hidráulico haciendo énfasis en los procesos de transmisión y transformación de energía, pasando de la energía mecánica suministrada por una fuente externa (comúnmente un motor eléctrico o de combustión) y aprovechada por la bomba, quien entrega la energía hidráulica a un fluido que se transporta por un medio (tuberías o mangueras) y alimenta al actuador con dicha energía para ejercer un trabajo en forma mecánica nuevamente.



*Figura 6. Sistema hidráulico como sistema de transmisión de energía. [3]*

#### **4. Metodología**

La metodología que se desarrolló constó de diferentes etapas con el propósito de cumplir con los objetivos planteados en este trabajo. Primeramente, se realizó una conceptualización del problema, donde se identificó una serie de procedimientos lógicos seguidos por el equipo técnico para la intervención de los equipos. A su vez, se realizó una revisión de los registros operacionales en un periodo de 6 meses comprendido entre enero y junio del año 2021 con el fin de determinar la frecuencia en la intervención por tipo de equipos; lo que permitió una selección de los equipos más intervenido siendo en este caso objeto de estudio para incluirlos en la elaboración del manual.

Posterior a esto, se realizó una caracterización de los procesos y equipos con el fin de plasmarlo en un documento que buscaba ser la guía para la intervención de los equipos por parte del personal operativo de la empresa. Con todo esto se espera que a futuro el personal adquiriera destrezas y nuevas capacidades de interpretación al momento de intervenir cualquier equipo. Así mismo, el uso e implementación de un manual pretende garantizar a la empresa la realización de evaluaciones de desempeño y calidad del equipo técnico con el fin de generar un personal capacitado y preparado para los requerimientos que se presentan al momento de desempeñar sus funciones dentro de la empresa y permitirle ser más competitiva dentro del sector en el que se encuentra ubicada.

## 5. Conceptualización del problema

### 5.1. Definición del problema

El objetivo de mejorar la calidad en la empresa, la cual se dedica principalmente a la reparación de equipos hidráulicos hace que el enfoque se centre en el área operativa, pues es la responsable directa del buen desempeño de la empresa. En este punto se definen parámetros de mejora enfocados en el equipo técnico de la empresa que permitan elevar la calidad, pues una estandarización ayuda a minimizar y localizar fácilmente fuentes de error que generan disminución del propósito planteado por la empresa. Los parámetros que se buscan trabajar son: el tiempo empleado para la intervención de los equipos, pues por múltiples factores este parámetro se ve reflejado en la eficiencia de trabajo y la capacidad de interpretación de los problemas para generar un diagnóstico correcto y completo por parte del personal técnico.

Una de las falencias que presenta la empresa en estos momentos se debe a falta de documentos escritos que sirvan como reglamentos y guías en cuanto a la forma de trabajar; pues esto desencadena errores operacionales y una falta de regulación y evaluación de desempeño imposibilitando un análisis del rendimiento y eficiencia real del área operativa. Otro problema que se presenta es la falta de capacitación del personal para las actividades que desempeña la empresa; pues la preparación que tiene la mayoría del personal técnico no tiene un enfoque directo y se basa en la experiencia que han adquirido dentro de la empresa; esto ha generado que se centren en ciertos tipos de equipos y que al momento de intervenir un equipo diferente a los que están acostumbrados presenten problemas tales como desconocimiento del funcionamiento, diagnóstico incompleto y/o incorrecto y un aumento en el tiempo de intervención.

Por otra parte, un mal procedimiento técnico puede generar futuras posibles garantías en los trabajos siendo ésta una de las posibles fuentes de error. Esto se comprobó al realizar la revisión de los registros operacionales de la empresa en el intervalo de estudio seleccionado (enero – junio) y mostrados en la *tabla 2*; sin embargo, no se pudo obtener la información del mes de junio por ende se muestra la del mes de julio. Donde se encontraron un total de 65 trabajos con fallas ya sea por reprocesos, garantías o reincidencias de garantías; esto representó el 7,7% del total de 844 trabajos realizados por el taller hidráulico en la empresa en el intervalo de tiempo mostrado en la tabla. Además, se observa que en cada mes son considerables las fallas que se presentan y que generan costos adicionales a la empresa.

*Tabla 2. Datos del total de trabajos con fallas por mes en la empresa TECNIHIDRAULICA SAS.*

MES	TRABAJOS TOTALES TALLER	GARANTIAS		REINCIDENCIAS		REPROCESOS		TOTAL DE ERRORES	
		CANTIDAD	PORCENTAJE	CANTIDAD	PORCENTAJE	CANTIDAD	PORCENTAJE	CANTIDAD	PORCENTAJE
Enero	138	6	4%	4	3%	4	3%	14	10%
Febrero	161	10	6%	1	1%	5	3%	16	10%
Marzo	158	6	4%	7	4%	3	2%	16	10%
Abril	139	2	1%	2	1%	4	3%	8	6%
Mayo	124	2	2%	0	0%	5	4%	7	6%
Junio	0	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%
Julio	124	3	2%	1	1%	0	0%	4	3%
<b>TOTAL</b>	<b>844</b>	<b>29</b>	<b>20%</b>	<b>15</b>	<b>10%</b>	<b>21</b>	<b>15%</b>	<b>65</b>	<b>45%</b>

## 5.2. Identificación del procedimiento técnico

Para determinar el alcance de trabajo por parte del personal técnico, la *figura 7* muestra el flujograma desarrollado al momento de realizar una intervención completa de un equipo. Sin importar el tipo de equipo se espera en teoría que cada técnico siga esta serie de pasos en cada trabajo que realiza; sin embargo, en la práctica se puede observar una ejecución diferente que puede repercutir en una serie de complicaciones de mayor o menor grado.

El inicio de un trabajo comienza con la asignación por parte del supervisor o director de operaciones, quienes hacen entrega del formato de la orden de trabajo - OT (considerada como una hoja de vida del equipo y del trabajo mismo; en ella se debe depositar toda la información pertinente al desarrollo del trabajo tal como: descripción del trabajo, características del equipo, detalles del diagnóstico, descripción de las actividades, repuestos o insumos necesarios para el trabajo y el tiempo empleado por cada persona involucrada en este) y suministran información adicional requerida para el desarrollo del mismo. Posterior a esto, el técnico debe hacer una identificación física del equipo a intervenir; para ello la empresa realiza una marcación al momento de hacer la recepción de este y lo ubica en un lugar destinado para los trabajos que aún no han sido intervenidos.

El técnico en cada momento debe trabajar en conjunto con el formato de OT, pues plasmar y dejar un registro de todas las actividades que realiza en su intervención es de vital importancia en temas de calidad. Por ende, el primer paso al momento de diligenciar una OT siempre debe ser la caracterización del tipo de equipo a tratar; para ello, se debe garantizar describir con exactitud todas las características técnicas posibles del equipo, posibles accesorios y configuración de ensamble que presenta el equipo. A su vez se sugiere realizar un registro fotográfico como respaldo de información. Posterior a esto el técnico procede a desensamblar el equipo y realizar una revisión detallada generando así un diagnóstico; en caso de que el equipo no tenga reparación se comunica al supervisor y se ensambla nuevamente el equipo para dar por finalizado el trabajo. En caso contrario, el técnico redacta el diagnóstico en el cual se debe describir el estado de cada parte, la solicitud de repuestos, sellos o trabajos de mecanizado o soldadura que se requieran para la reparación completa. Luego de esto el técnico informa al supervisor, quien se encarga de revisar el diagnóstico y corregir si es necesario; en este punto el trabajo queda pausado y pendiente por aprobación para proceder con la reparación o a la espera de indicaciones por parte del área comercial; por esto el técnico se debe encargar de almacenar todas las partes del equipo, ubicarlo en la sección de trabajos pausados que tiene la empresa destinada para tal fin y esperar nuevas indicaciones del supervisor o director.

Siguiendo la línea de un mismo trabajo, una vez que el equipo ha sido aprobado para su reparación y a su vez se tienen listos todos los repuestos necesarios, se asigna un técnico disponible que en muchas ocasiones no suele ser la misma persona que realizó el diagnóstico, por esta razón se debe tener un buen registro y organización para facilitar el trabajo. El técnico asignado nuevamente hace una identificación del equipo a reparar y organiza su lugar

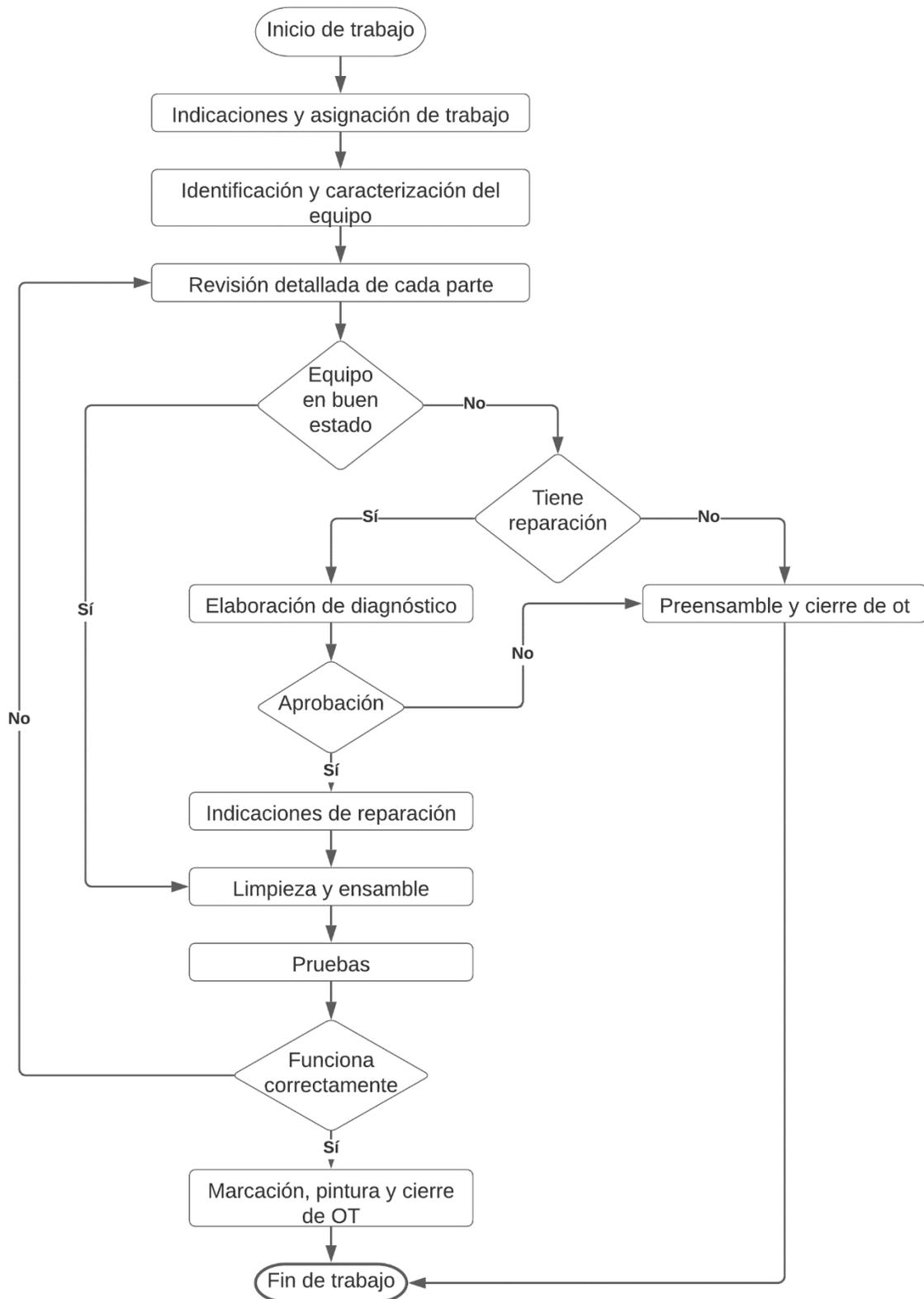


Figura 7. Flujograma de procedimiento en la intervención de los equipos.

de trabajo. Lo primero que debe hacer cada técnico es revisar que todas las partes y repuestos sean los correctos, luego de esto realizar una limpieza y lavado de las partes y a continuación procede a realizar el respectivo ensamble, haciendo el cambio de sellos o partes que se requerían para dejar en buen estado el equipo.

Por último, el técnico determina si se pueden realizar las pruebas necesarias para verificar un correcto funcionamiento; sin embargo, en muchas ocasiones ya sea por el tipo de equipo o por la falta de equipos necesarios para hacer las pruebas, el equipo reparado se marca y pasa directamente a pintura sin realizar ninguna prueba dependiendo de las indicaciones que puedan darse desde el área comercial o por parte del director o supervisor de operaciones. En caso de que el equipo no se pinte, el técnico debe asegurarse de empacarlo en conjunto con las partes y/o repuestos reemplazados a fin de garantizar al cliente que el equipo fue debidamente reparado y se almacena en la estantería de trabajos finalizados dejando visible su tarjeta de identificación. Su última labor es diligenciar correctamente el formato de OT describiendo detalladamente cada paso que realizó, el tiempo que tardó en intervenirlo y diligenciando la lista de chequeo que cada trabajo lleva consigo; una vez hecho todo esto, el técnico entrega el formato al supervisor y espera nuevas indicaciones para la asignación de otro trabajo.

Cada paso realizado y desarrollado por el personal técnico debe quedar registrado en el formato de las ordenes de trabajo; este formato tiene una estructuración tal como se muestra en la *figura 8*. Es importante diligenciar muy bien el formato de orden de trabajo ya que es un documento de carácter legal que respalda tanto al cliente como a la empresa por el servicio que se está prestando ante cualquier reclamo o inconveniente; este puede ser una garantía ante cualquier reclamo tanto por parte de los clientes o directamente de la empresa. A continuación, se describe cada parte del formato, las partes numeradas en rojo en la *figura 8* son las partes que deben diligenciar los técnicos.

1. En esta parte se encuentran datos de información cuando el equipo ingresa a la empresa. Cada trabajo tiene un centro de costos (C.C), un número de la OT (N°) y un número de entrada (N°. Entrada); este último es importante tenerlo en cuenta ya que todos los equipos son marcados con este número para tener una referencia si llegase a presentarse una garantía a futuro. En esta sección se especifican las instrucciones del trabajo, el alcance de cada trabajo entre otras indicaciones dadas por el cliente y/o asesor comercial.
2. En esta sección se debe registrar el tiempo de inicio y finalización de cada trabajo, además si se realizó individualmente o acompañado.
3. Se deben especificar las características de identificación del equipo, reportar si incluye accesorios o alguna parte externa que venga con el equipo.
4. El diagnostico debe describir el estado del equipo, si se deben cambiar partes, realizar trabajos de maquinado o cualquier trabajo necesario para dejar en buen estado el equipo.

5. En esta sección se debe colocar todo el procedimiento y pasos realizados para la intervención del equipo en la parte izquierda; además se deben especificar todos los repuestos necesarios ya sean partes por cambiar, sellos, o materia prima para fabricar partes; esto se coloca en la parte derecha de esta sección.
6. Esta sección es para verificación de calidad. Si el equipo luego de reparado pasa por banco de pruebas debe registrarse y hacerse las observaciones pertinentes. De igual forma marcar si se verifican medidas, ajustes y tolerancias.

TECNIHIDRAULICA		811,038,238-2		F-ORDEN DE TRABAJO		VERSIÓN:04 FECHA: 23/05/2019	
FECHA DE ENTREGA AL CLIENTE:				N°. ENTRADA:		C.C.	
Empresa:		Equipo(s):		Foto: SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>			
1 ESPECIFICACIONES DE LA LABOR DEL CLIENTE Y/O COMERCIAL (DETALLAR LO MEJOR POSIBLE SI HAY ALGUNA MODIFICACIÓN, CARACTERÍSTICAS Y NOVEDADES EN ESTE TRABAJO QUE EL TÉCNICO DEBA TENER EN CUENTA A LA HORA DE LA EJECUCIÓN.							
FECHA-HORA INICIO DE TRABAJO				FECHA-HORA FINAL DE TRABAJO			
2 TOTAL HORAS INVERTIDAS:		TRABAJÓ SOLO:		ACOMPAÑANDO:			
3 CARACTERÍSTICAS DEL EQUIPO:							
4 DIAGNOSTICO TÉCNICO:							
DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO				REPUESTOS Y/O INSUMOS A COMPRAR			
5							
¿PASÓ POR EL BANCO DE PRUEBAS? SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>		¿FUNCIONÓ CORRECTAMENTE? SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>		6 OBSERVACIONES:			
VERIFICACIÓN, MEDIDAS, AJUSTES Y TOLERANCIAS: SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>		OBSERVACIONES:					
SUGERENCIAS DEL EQUIPO:							
REALIZÓ		REVISÓ		APROBÓ			

Figura 8. Formato de Orden de trabajo (OT). Propiedad de TECNIHIDRÁULICA SAS.

### 5.3. Problemas generados en el procedimiento técnico

Luego de revisar todo el procedimiento que lleva a cabo todo el personal técnico al momento de realizar una intervención, se lograron evidenciar fallas que se generan en el desarrollo de sus actividades y que en la mayoría de los casos pudieron verse reflejadas en un registro incompleto en los formatos de las ordenes de trabajo que deben diligenciar. Entre los principales problemas o fallas que se lograron registrar se encuentran:

- Inicio y desarrollo de trabajos sin el formato de OT; pues muchas veces por urgencia o simplemente por no seguir el procedimiento correctamente los técnicos intervenían los equipos sin trabajar en conjunto con la OT y por ende sin dejar el debido registro

en el formato, ocasionando un mal seguimiento por parte del supervisor y/o director, quienes están encargados de llevar la programación del área operativa y a su vez una incongruencia en el registro de las actividades y el tiempo de dicho trabajo, siendo un impedimento para realizar un análisis de indicadores acertado.

- Mal diligenciamiento del formato de OT; siendo este uno de los problemas principales encontrado en los registros, evidenciando una falta de información al momento de caracterizar un equipo o realizar un diagnóstico, la mala descripción del desarrollo de las actividades o trabajos realizados, así como la mala solicitud de repuestos; además de un registro incorrecto del tiempo empleado en el trabajo.
- Revisión incompleta y/o incorrecta de los equipos; esto puede deberse a muchos factores entre los cuales se encuentran la falta de conocimiento técnico, distracciones generadas en el trabajo, la falta de una guía que les permita seguir una secuencia acorde para realizar el trabajo e incluso pudo deberse a malas indicaciones para el desarrollo del trabajo, que pudieron reflejarse directamente en reprocesos, garantías o pérdidas de tiempo.
- Desconocimiento del procedimiento adecuado para una correcta intervención; esto se pudo evidenciar en la falta de información depositada en los formatos de OT al momento de caracterizar un equipo, la falta de capacitaciones para concientizar al personal de la importancia de realizar un buen registro de su trabajo e incluso puede generarse por un diseño del formato de OT incorrecto para ayudar a realizar un buen registro y facilitar el procedimiento que debe llevarse a cabo.

#### **5.4. Selección de los equipos objeto de estudio**

Para la selección de los equipos se realizó una revisión de los registros operacionales de la empresa en un lapso de 6 meses comprendidos entre el 01 de enero y el 31 de junio del año 2021. El criterio para la selección de los equipos se basó en la frecuencia de intervención dependiendo el tipo de equipos; con base en esto, inicialmente se tuvieron que clasificar los equipos de forma manual, puesto que la empresa no disponía de dicha información. La *tabla 2* muestra el total de trabajos que pasaron por el área de operaciones y a los cuales se les creó una OT; en este punto se hizo una clasificación por tipo de equipo y la cantidad de trabajos realizados. Se debe aclarar que en los registros se evidenciaban 992 trabajos para el intervalo de tiempo seleccionado, sin embargo, el total de equipos intervenidos es superior puesto que en una orden de trabajo pudieron haber ingresado más de un equipo sin importar su clasificación.

Dentro de la clasificación que se dio se presentaron elementos de regulación y control, en los cuales se agruparon elementos tales como válvulas, controles de flujo, mandos, manifolds, orbitroles, bloques y bancos de válvulas; también se hizo una clasificación para máquinas en las cuales se agruparon compactadoras, elevadores, estibadoras, grafadoras hidráulicas, montacargas, mesas de transporte, perforadoras, prensas, retro excavadoras, entre muchas otras, pues son sistemas complejos que integran no solo elementos hidráulicos sino también mecánicos, eléctricos y electrónicos. También se hizo una clasificación a las partes

mecánicas tales como acoples, anillos, ejes, pedales mecánicos, pines, rejas o cualquier elemento que principalmente requerían de un trabajo de mecanizado.

Tabla 3. Clasificación de equipos intervenidos en la empresa en un intervalo de 6 meses.

CLASIFICACIÓN	CANTIDAD DE TRABAJOS
ACUMULADORES HIDRÁULICOS	35
BOMBAS HIDRÁULICAS	236
CILINDROS HIDRÁULICOS	222
ELEMENTOS DE REGULACIÓN Y CONTROL	78
INTERCAMBIADORES DE CALOR	3
MANGUERAS Y ADAPTADORES	99
MÁQUINAS	44
MARTILLOS HIDRÁULICOS	9
MINICENTRALES	101
MOTORES HIDRÁULICOS	151
PARTES MECÁNICAS	61
<b>TOTAL</b>	<b>1039</b>

Con esta clasificación inicial, se pudo observar que cerca del 78% de los trabajos que se realizaron en la empresa en el intervalo seleccionado correspondieron a bombas, cilindros, mangueras, adaptadores, minicentrales y motores hidráulicos; sin embargo se descartaron las mangueras y adaptadores, pues la empresa tiene un departamento creado para mangueras y adaptadores con personal enfocado directamente en esta área, además de que se han realizado capacitaciones con todo el personal técnico con el objetivo de prepararlos para realizar una correcta selección de estos elementos. Por otra parte, se descartaron los elementos conocidos como minicentrales, pues pese a que representan un 9,7% del total de los trabajos realizados, requieren de conocimientos en electricidad para realizar una correcta intervención de estos, siendo el límite de este trabajo enfocarse en los equipos netamente hidráulicos. Con lo anterior se concluye que bajo esta clasificación inicial los equipos seleccionados fueron las bombas, cilindros y motores hidráulicos.

Pese a tener una selección preliminar de los equipos objeto de estudio, se debió realizar una revisión a los archivos de la empresa con el fin de realizar una segunda selección; está basada en el tipo de equipo intervenido y/o fabricante ya que en muchas ocasiones debido al estado de los equipos, estos deben ser homologados por equipos que maneja la empresa con base en las características técnicas; además de determinar la cantidad de equipos intervenidos ya que en la primera clasificación solo se logró determinar la cantidad de trabajos que fueron atendidos por el área de operaciones sin tener en cuenta la cantidad de equipos por trabajo que pudieron presentarse.

Las *tablas 4, 5 y 6* muestran una clasificación según la construcción o tipo de equipo para bombas, cilindros y motores respectivamente.

Tabla 4. Clasificación por tipo de bombas.

TIPO DE BOMBA	EQUIPOS INTERVENIDOS
DESCONOCIDA	18
MANUAL	6
MIXTA	8
PALETAS	12
PIÑONES	213
PISTONES	69
<b>TOTAL</b>	<b>326</b>

Tabla 5. Clasificación por tipo de cilindros.

TIPO DE CILINDRO	EQUIPOS INTERVENIDOS
BOTELLA	163
BUZO	28
DESCNOCIDO	25
DOBLE VASTAGO	7
NEUMÁTICO	3
PARTE	1
TELESCOPICO	2
TIRANTES	5
<b>TOTAL</b>	<b>234</b>

Tabla 6. Clasificación por tipo de motores.

TIPO DE MOTOR	EQUIPOS INTERVENIDOS
DESCONOCIDO	10
PIÑONES	95
PISTONES	19
TRASLACION	4
<b>TOTAL</b>	<b>128</b>

En la tabla 4 se pudo observar que el 87% de las bombas intervenidas correspondieron a bombas de piñones y pistones; adicionalmente, se realizó una clasificación de bombas mixtas las cuales corresponden a bombas dobles o triples que comúnmente están conformadas con bombas de pistones y piñones a la vez dependiendo de los requerimientos; por esta razón, las bombas de pistones y piñones fueron las seleccionadas. En la tabla 5 se pudo observar la clasificación de los cilindros, donde para la selección únicamente se descartaron los gatos, cilindros neumáticos y telescópicos, pues el resto de los cilindros pese a que pueden variar en su construcción, conservan el mismo principio de funcionamiento sin mucha variación. En la tabla 6 se presenta la clasificación por tipo de motores, aunque en esta se debe hacer

hincapié que dentro de la clasificación de motores de piñones se incluyeron los motores tipo orbitales; esto se debe a que en los documentos guías no se encontró una clasificación directa para este tipo de motores. Según esto, se seleccionaron los motores de piñones pues representaron el 74% del total de motores intervenidos. En todas las tablas se encuentra una clasificación para los equipos desconocidos, esto debido a que en los archivos no se especificó adecuadamente en ninguna parte su clasificación o identificación y por ende fue imposible determinar una clasificación adecuada.

Adicionalmente, se trabajaron los equipos con base en dos fabricantes: BOSCH REXROTH, quienes son proveedores directos de la empresa en cuanto a bombas de piñones con cuerpo de aluminio y bombas de pistones serie A10VO. por otra parte, PARKER HANNIFIN suministra las bombas de piñones con cuerpo de hierro fundido siendo las bombas que más se intervienen las de la SERIE P300 de este proveedor y para los motores, siendo los de tipo orbital los seleccionados; se trabaja con base en la información del fabricante CHAR-LYNN EATON para estos componentes hidráulicos.

## **6. Caracterización de los procesos**

La caracterización permite tener un seguimiento y una mejora continua de los procesos con el objetivo de que una empresa sea más productiva y competitiva con el menor costo posible. Por ende, al desarrollar un manual enfocado en la intervención de ciertos equipos se esperaba generar una herramienta de consulta, revisión, análisis y reestructuración de los procesos claves que faciliten la obtención de certificaciones de calidad, pues un manual es un documento escrito que busca como finalidad facilitar un sistema referente común donde se pudiera compartir toda la información necesaria para las personas que quisieran intervenir, garantizando se ejecuten todas las actividades en base a las especificaciones establecidas por la empresa ahorrando tiempo y generando una repuesta exacta; además sirven como instrumento de inducción para nuevos empleados [6].

En este punto, determinar la forma correcta de cómo caracterizar los procesos y a su vez realizar las posibles mejoras permitió estandarizar de una forma óptima cada procedimiento. La metodología empleada para la caracterización se basó en una recolección de la información, toma de tiempos y estudio de las actividades utilizando como técnicas para la recolección de datos, la observación directa de los procesos y la revisión documental generada por la empresa, todo esto basado según lo expuesto por [6] y [7], enfocada en el procedimiento para una correcta intervención de cualquier equipo, así como determinar un procedimiento más detallado dependiendo el tipo de equipo.

Las etapas que se realizaron para desarrollar la identificación, el análisis y el diseño de los procedimientos y que fueron seguidas en este trabajo se describen a continuación:

- Delimitación del procedimiento
- Recolección de la información
- Análisis de la información y diseño del procedimiento

Estas etapas tuvieron un enfoque a la distribución que se hacía de los documentos, el tipo de registro que se empleó, las probables causas de error, las revisiones o autorizaciones necesarias como medio de validación de la información con el fin de tener una visión más clara del conjunto según lo determina [7] en las actividades realizadas por el personal técnico.

### **6.1. Delimitación del procedimiento**

Este fue el primer paso de la metodología, desarrollado a través de la observación en campo se logró identificar la secuencia de actividades que deben llevar a cabo los técnicos al momento de realizar una intervención de cualquier equipo. En la *sección 5.2* de este documento se presenta un flujograma que ayuda a entender mejor el desarrollo de estas actividades describiendo cada una y presentando el alcance que tienen en sus labores. Con esto se logró fijar el alcance del estudio.

### **6.2. Recolección de la información**

Esta se realizó por medio de una observación en campo a modo de reconocer con exactitud las actividades que se requieren para una correcta intervención y a su vez revisar por medio de una investigación documental los formatos de OT de los trabajos realizados en un periodo comprendido entre enero y junio del año 2021 con el fin de determinar las posibles fallas o errores que requerían de atención, así como determinar una estructuración de actividades claves que permitieran la correcta caracterización de los procesos.

De esta manera se lograron determinar las actividades generales para la intervención de cualquier equipo sin importar su clasificación, en la cual se puede presentar la siguiente estructura:

- Asignación del trabajo
- Identificación y caracterización del equipo
- Revisión detallada del equipo
- Elaboración de diagnóstico
- Reparación
- Pruebas
- Cierre de trabajo

Adicionalmente, se revisaron cuáles fueron las actividades realizadas dependiendo el tipo de equipo en cada trabajo realizado según los archivos de la empresa para el intervalo seleccionado; para ello, las *tablas 7, 8 y 9* presentan el procedimiento llevado a cabo para los equipos seleccionados al momento de realizar su respectiva revisión, diagnóstico, reparación y pruebas, es decir, se muestra una organización en base al tipo de trabajo realizado según las exigencias del cliente o a partir del estado del equipo. Además, se presenta el tiempo promedio por actividad separado en tres etapas importantes del proceso: diagnóstico, reparación y un tiempo definido para todos los trabajos de mecanizado o soldadura, puesto que implican la participación del taller metalmecánico. La variación en los procedimientos obedece a los requerimientos de cada cliente pues es quien aprobaba el tipo de trabajo a realizar. De las tres tablas se pudo inferir que los principales procesos que se suelen realizar

son: cambio de sellos, cambio de partes y maquinado de partes con el fin de garantizar una correcta reparación.

Tabla 7. Actividades realizadas en la intervención de cilindros.

PROCEDIMIENTO	EQUIPOS INTERVENIDOS	PROMEDIO TIEMPO DIAGNOSTICO [HORAS]	PROMEDIO TIEMPO REPARACION [HORAS]	PROMEDIO TIEMPO METALMECANICO [HORAS]
CAMBIO PARTES	3	0,5	1,0	4,8
CAMBIO SELLOS	66	1,2	1,5	0,0
CAMBIO SELLOS, MAQUINADO	34	1,6	1,8	0,6
CAMBIO SELLOS, PARTES	3	0,7	2,3	1,7
CAMBIO SELLOS, PARTES, MAQUINADO	43	1,4	2,0	3,8
FABRICACION	49	0,0	3,6	10,6
HOMOLOGACION	1	1,0	0,0	0,0
MAQUINADO	10	1,5	0,8	1,6
NO SE REPARA	12	1,1	0,0	0,0
REVISION	8	0,9	0,2	0
<b>TOTAL</b>	<b>229</b>	<b>1,06</b>	<b>1,89</b>	<b>3,0</b>

Tabla 8. Actividades realizadas en la intervención de bombas.

PROCEDIMIENTO	EQUIPOS INTERVENIDOS	PROMEDIO TIEMPO DIAGNOSTICO [HORAS]	PRPROMEDIO TIEMPO REPARACION [HORAS]	PROMEDIO TIEMPO METALMECANICO [HORAS]
ALISTAMIENTO	122	0,08	3,06	2,16
CAMBIO PARTES	16	0,86	2,41	0,00
CAMBIO PARTES, MAQUINADO	6	1,00	1,75	5,75
CAMBIO SELLOS	20	0,85	2,14	0,55
CAMBIO SELLOS, MAQUINADO	2	0,50	1,50	2,00
CAMBIO SELLOS, PARTES	26	1,38	2,21	0,00
CAMBIO SELLOS, PARTES, MAQUINADO	10	1,31	3,00	2,06
DESCONOCIDO	1	0,00	3,00	0,00
HOMOLOGACION	42	0,97	1,81	2,89
MAQUINADO	12	0,35	2,30	3,90
NO SE REPARA	22	1,12	0,00	0,00
REVISION	11	1,25	0,25	0,00
<b>TOTAL</b>	<b>290</b>	<b>0,66</b>	<b>2,20</b>	<b>1,79</b>

Tabla 9. Actividades realizadas en la intervención de motores.

PROCEDIMIENTO	EQUIPOS INTERVENIDOS	PROMEDIO TIEMPO DIAGNOSTICO [HORAS]	PROMEDIO TIEMPO REPARACION [HORAS]	PROMEDIO TIEMPO METALMECANICO [HORAS]
ALISTAMIENTO	8	0,10	1,20	0,00
CAMBIO PARTES	5	1,40	4,40	0,20
CAMBIO PARTES, MAQUINADO	1	1,00	2,00	2,00
CAMBIO SELLOS	24	1,24	2,20	0,04
CAMBIO SELLOS, MAQUINADO	29	1,09	1,74	1,91
CAMBIO SELLOS, PARTES	8	1,00	1,63	0,00
CAMBIO SELLOS, PARTES, MAQUINADO	9	1,13	1,44	1,13
HOMOLOGACION	4	0,63	0,50	2,38
NO SE REPARA	22	2,50	0,00	0,00
REVISION	4	1,25	0,25	0,00
<b>TOTAL</b>	<b>114</b>	<b>1,36</b>	<b>1,45</b>	<b>0,72</b>

De las anteriores tablas se pudo evidenciar que, aunque hay trabajos con procedimientos en los cuales no se especificaban trabajos de mecanizado, se encontraron tiempos del personal de dicho taller; con esto, se pudo inferir que en muchos trabajos se presenciaba un mal diligenciamiento de OT pues hay información que no se logró registrar y por ende se pudieran generar complicaciones en caso de una posible garantía ya que no se tenía un respaldo del procedimiento completo. Por otra parte, de las tablas se observó que los tiempos promedios en cada tipo de trabajo pueden estandarizarse; sin embargo, se debe aclarar que en la observación en campo se evidenció que el tiempo reportado en los formatos de OT no siempre correspondían a los tiempos reales de trabajo que el personal técnico gastaba, sino que el personal acostumbraba a diligenciar un tiempo estandarizado dependiendo el tipo de trabajo que realizaban, esto hizo que no se pudiera realizar un análisis de este parámetro.

### 6.3. Análisis de la información y diseño del procedimiento

Una vez recolectada la información, se procedió a analizar y diseñar un procedimiento acorde para las actividades. Este análisis se hizo para los equipos seleccionados, donde se logró determinar qué actividades se deben realizar, el tiempo estimado en el que se deben desarrollar y las posibles fallas o fuentes de error que hasta el momento se han presentado en el desarrollo de las actividades por parte del personal técnico. De las *tablas 7, 8 y 9* se extrajo la información necesaria para clasificar cada tipo de trabajo y su procedimiento; a continuación, se describe cada uno:

- Cambio de sellos: Se determinó esta clasificación para los trabajos en los cuales todas las partes del equipo se encontraron en buen estado y solo se pudieron presentar posibles fugas en el equipo debida a sellos.

- Cambio de partes: Se determinó esta clasificación para los trabajos en los cuales al revisar el equipo se encontraron partes que debieron ser reemplazadas porque pudieron haber sufrido daños o porque no se ajustaron a las necesidades del cliente.
- Maquinado: Estos trabajos se determinaron a partir del proceso en el cual una pieza debió ser corregida, fabricada o terminada. En este tipo de trabajos se incluyeron todos los procesos de mecanizado, soldadura o tratamiento térmico.
- Revisión: Se determinó esta clasificación para los trabajos que ingresaron inicialmente para reparación, pero por encontrarse en perfectas condiciones solo se le realizaron pruebas.
- Homologación: Se determinó esta clasificación para los trabajos en los cuales se realizó la identificación y caracterización del equipo por encontrarse en mal estado y un posible reemplazo por otro que cumpliera todas las especificaciones. En el caso de los cilindros siempre su reemplazo implicó la fabricación.
- Fabricación: Este proceso se presentó como una clasificación independiente para los cilindros debido a que la empresa se dedica a la fabricación completa de estos equipos.
- Alistamiento: Se determinó esta clasificación para los trabajos que partieron de un requerimiento del cliente y que generalmente requerían de una adecuación a modo de garantizar todas las especificaciones de equipos que provee la empresa. En estos trabajos también se pudieron encontrar procesos de maquinado o fabricación.

También se encontraron trabajos que presentaban más de un procedimiento, tales son los casos, por ejemplo, de trabajos en los que se realizaron cambio de sellos, cambio de partes, maquinado y/o fabricación de piezas a modo de poner a punto un equipo. Con base en estos procedimientos, se logró identificar cuatro tipos de trabajos que engloban todos los procedimientos que se realizan en el área operativa y que siguen una secuencia para su desarrollo tal como se muestran en la *figura 9*. Sin embargo, es de aclarar que para algunos tipos de trabajo que requieran de maquinado ya sea para fabricación, corrección o terminación de una pieza es necesaria la participación del taller metalmecánico, quienes por el alcance de este trabajo se excluyeron, centrando como objeto de estudio al personal técnico del taller hidráulico y enfocándose en los procedimientos que deben realizar estos. Adicionalmente, se debe recalcar que cada trabajo es único, pues depende de los requerimientos del cliente y a su vez varía dependiendo el tipo de equipo que se deba intervenir; sin embargo, todos los trabajos siempre van a seguir la misma estructura presentada en la *sección 6.2* de este documento; por lo tanto, el personal técnico siempre deberá desarrollar un procedimiento acorde al tipo de trabajo y a su vez seguir la estructura expuesta para realizar una correcta intervención de cualquier equipo. En la *figura 9* se puede observar que hay unos procedimientos marcados por un (\*), esto significa que para realizar un desarrollo completo del trabajo es posible que se deba realizar en conjunto otro tipo de trabajo; así, por ejemplo, para una homologación, es probable que se deba realizar el alistamiento de un equipo y desarrollar todo el procedimiento que esto conlleva. A su vez, en los trabajos de mantenimiento, la reparación está marcada por (\*\*), esto significa que para su desarrollo es probable que se puedan presentar más de un tipo de trabajo; así, por ejemplo,

para un equipo que ingresa por mantenimiento es probable que este se encuentre en mal estado y por esta razón deba ser homologado, realizando todo el procedimiento que conlleva una homologación y un posible alistamiento de equipo.

A su vez, para realizar una correcta caracterización de los procesos fue necesario también caracterizar los equipos, pues son el objetivo primordial en cada trabajo; para ello, se debió reconocer cuales son los parámetros necesarios para realizar una identificación, caracterización, revisión y por ende reparación de los equipos que fueron seleccionados para el estudio. Esto se debió hacer para cada equipo objeto de estudio, desarrollando los parámetros por medio de una parte teórica donde se expone una definición, los tipos que se presentan, la construcción, las características técnicas y una parte enfocada a la práctica en la intervención para la reparación donde se expone el funcionamiento de cada equipo, el procedimiento de ensamble y desensamble y las posibles fallas tal como se muestra en la *figura 10*; pues con esto se garantizó cumplir el propósito de este trabajo, generando una herramienta de consulta rápida para que puedan recurrir o suministrarles las bases para reducir sus posibles fallas. Con todo esto, se consiguió una caracterización para que el personal técnico pueda proceder en cualquier tipo de trabajo mostrado en la *figura 9* siempre que sea de los equipos presentados en el documento o al menos tenga las bases para minimizar el error; pues se asume que con esto comprenderá los temas presentados en la figura.

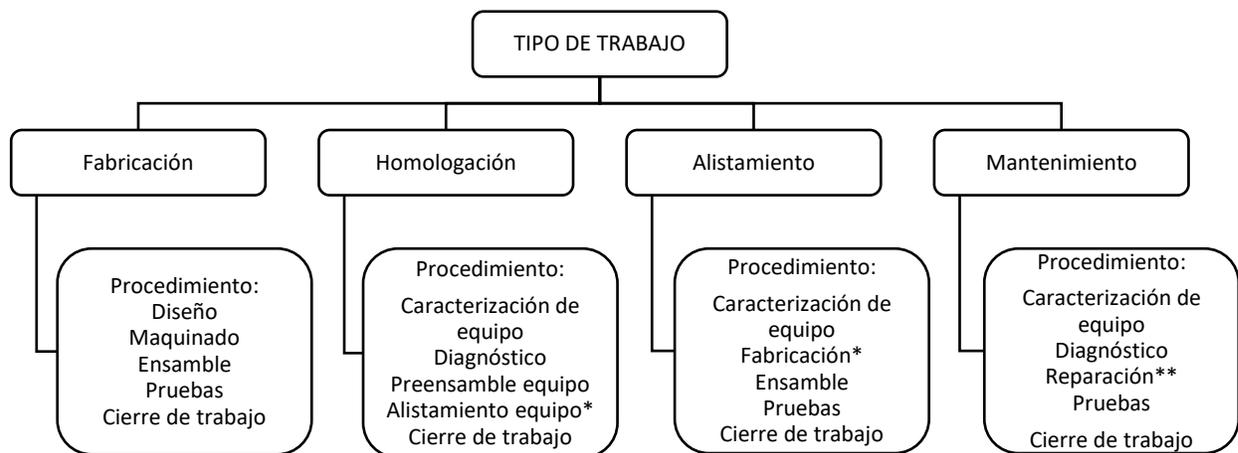


Figura 9. Tipos de trabajo y su procedimiento.

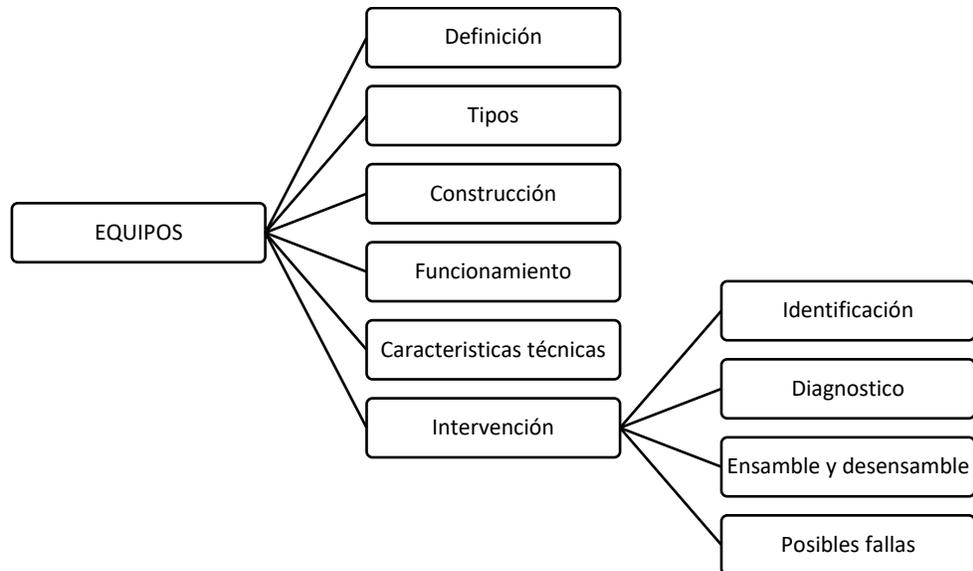


Figura 10. Temas objeto de estudio para la Caracterización de los equipos.

## 7. Caracterización de los equipos

### 7.1. Cilindros hidráulicos

Se entiende por cilindros hidráulicos a los elementos que dentro de un circuito hidráulico son clasificados como elementos actuadores de tipo lineal, es decir ejercen movimiento en línea recta; los cuales transforman la energía suministrada por el flujo de fluido en energía mecánica permitiendo transmitir la fuerza con el fin de realizar un trabajo útil; siendo este el miembro de unión entre el circuito hidráulico y la máquina de accionamiento de la aplicación final; razón por la cual, este es el elemento de arranque para diseñar un sistema hidráulico teniendo en cuenta los requerimientos y la aplicación a realizar [1].

El uso de estos elementos para la transmisión de potencia es muy antiguo gracias a las amplias ventajas tales como: un montaje sencillo, buen rendimiento, una transmisión de fuerza y velocidad completamente constante a lo largo de la longitud de su carrera, un dimensionamiento que permite construir accionamientos de gran potencia en pequeños volúmenes, entre muchas otras, permitiendo su amplia aplicación en sistemas de elevación, descenso, bloqueo o desplazamiento de cargas traslacionales (lineales) gracias a los pequeños volúmenes que ocupan comparados con la gran potencia que logran transmitir [8].

Puesto que los cilindros trabajan en rangos elevados de presión y que su medio conductor de energía es el fluido hidráulico, todo cilindro debe ser hermético. Para garantizar la estanqueidad del aceite al interior de los cilindros es necesario el uso de empaques o sellos que permitan retener el fluido y garantizar que no se produzcan pérdidas en la transmisión de potencia.

### 7.1.1. Características técnicas

La carrera del cilindro, el volumen, la fuerza o la velocidad son parámetros que permiten identificar a un cilindro; así, si se deben realizar modificaciones o fabricación de cualquier parte del cilindro, se debe garantizar que las características técnicas permanezcan inalteradas o cumplan a cabalidad todos los requerimientos exigidos por el cliente. Así la carrera y el volumen determinan el tamaño del cilindro, mientras que la velocidad y la fuerza son parámetros que dependen netamente del área [1].

- La carrera del cilindro es determinada por la distancia de desplazamiento del vástago, es decir la diferencia entre el vástago extendido y retraído al máximo y por donde se transmite toda la energía disponible, tal como se muestra en la *figura 11*.

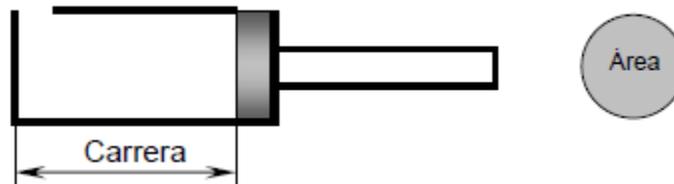


Figura 11. Carrera de un cilindro [2]

- El volumen se entiende como el espacio que va a ser llenado con aceite hidráulico, calculado a partir del área interna de la camisa multiplicada por la carrera del cilindro.
- La fuerza del cilindro es quizá el parámetro más importante, determinado a partir de la presión de operación y el área de aplicación de dicha presión. Se debe tener presente el área de trabajo para determinar la fuerza del cilindro, es decir el área que permite la extensión del vástago; adicionalmente, para determinar la fuerza de una manera más precisa se deben tener presentes las fricciones existentes, comúnmente se toman como el 10% de la fuerza del cilindro. Por otra parte, si es el caso en el que el cilindro tiene retorno por muelle se debe tener presente la fuerza necesaria a vencer; para la práctica se puede considerar como el 6% de la fuerza del cilindro en casos de no poder calcularla matemáticamente. Con esto, la *ecuación 4* presenta una forma de determinar la fuerza de un cilindro de una manera más detallada, donde  $F$  es la fuerza del cilindro,  $P$  es la presión de operación,  $A$  es el área de trabajo,  $F_f$  es la fuerza de fricción y  $F_r$  es la fuerza ejercida por el resorte.

$$F = P * A - (F_f + F_r) \quad [ec. 4]$$

- La velocidad es determinada a partir del abastecimiento de fluido, el cual es entregado por la bomba y el área del cilindro. También se debe recalcar que, para cilindros de un solo vástago, siempre se tendrá mayor velocidad en la carrera de retroceso debido a la disminución de área efectiva.

### 7.1.2. Tipos de cilindros

Pese a la gran multitud de diseños para los cilindros hidráulicos, la finalidad de estos elementos siempre será la misma: el aprovechamiento de la energía hidráulica para transmitirla en forma mecánica por medio de un accionamiento lineal; por lo tanto, en la mayoría de los documentos de oleo hidráulica se clasifican en dos tipos principales: en simple efecto y doble efecto. Para los primeros la fuerza se entrega en un solo sentido, mientras que para los segundos se tienen dos superficies de efecto opuestas por las cuales puede ingresar el fluido permitiendo ejercer fuerza en ambos sentidos del desplazamiento del cilindro; aunque también se debe tener presente que todo cilindro de doble efecto puede trabajar como uno de simple efecto al drenar el aceite de una de las cámaras al tanque. La *tabla 10* muestra los tipos de cilindros clasificados según su efecto; donde la mayoría de fabricantes de elementos hidráulicos concuerdan con esta clasificación, tal es el caso de [1], [8]; razón por la cual, esta clasificación de cilindros esta generalizada para la mayoría de documentos técnicos de esta área.

Tabla 10. Tipos de cilindros según su efecto

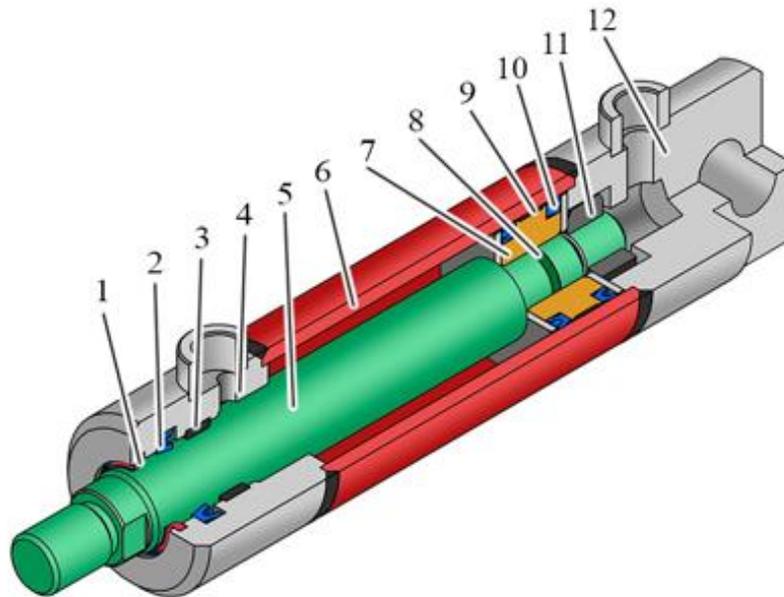
TIPOS DE CILINDROS SEGÚN SU EFECTO		
<p><b>Cilindros simple efecto</b></p> <p>Ejercen fuerza en una sola dirección. El aceite hidráulico entra a alta presión por el lado posterior de la cámara del cilindro para transmitir la potencia.</p>	<p>Cilindro tipo buzo</p>	<p>Su principal característica es que el diámetro del vástago es cercano al diámetro interior de la camisa, por lo que los hace resistentes al pandeo; además, no necesita respiradero y la zona interna del cilindro no tiene que estar completamente pulida. Por lo general se ubican verticalmente para que la acción de la gravedad permita el retroceso o también la puede ejercer un cuerpo externo.</p>
	<p>Cilindro telescópico</p>	<p>Se utilizan para obtener una gran carrera en un espacio relativamente pequeño ya que está compuesto por múltiples vástagos concéntricos que pueden presentar múltiples variantes en la carrera de extensión, señalando que con cada vástago que sale aumenta la presión debido a la disminución de área. Se pueden tener hasta cinco secciones de vástagos. No deben ir montados en horizontal o muy inclinados si no van guiados debido a que son más susceptibles al pandeo.</p>
	<p>Cilindros con retroceso por resorte</p>	<p>Cuando no hay una carga que permita el retroceso del cilindro es empleado un resorte para tal fin que puede estar ubicado tanto en el interior como en el exterior del cilindro. Por lo general se emplean en cilindros de tamaño pequeño debido a la fuerza limitadora del resorte.</p>

<p><b>Cilindros de doble efecto</b></p> <p>Ejercer fuerza en ambas direcciones. El aceite hidráulico entra a alta presión tanto por el lado posterior de la cámara del cilindro como por el lado anterior de la cámara del cilindro para transmitir la potencia.</p>	Diferenciales	Las áreas de la cámara posterior y anterior del cilindro difieren debido al área de la sección del vástago, por ende, la carga será diferente dependiendo del lado donde se aplique la presión. Así, para la carrera de avance se tiene una mayor fuerza, pero una menor velocidad comparada a la carrera de retroceso.
	Doble vástago	En este tipo de cilindros, la fuerza en ambas direcciones es igual, lo que permite desarrollar trabajo en ambas direcciones. Gracias a esta ventaja son muy utilizados en situaciones que requieran acoplar cargas a ambos lados o igual desplazamiento en ambas carreras ya que generalmente el área de los vástagos es igual; sin embargo, para aplicaciones especiales estas áreas pueden variar.
	Telescópico	Tienen un puerto dedicado para el retroceso que, al cargarse de presión, el pistón con la mayor superficie anular inicia la carrera de retroceso. También se pueden encontrar de tipo doble vástago, con la especialidad que las etapas de desplazan simultáneamente.

Por lo tanto, dependiendo del tipo de aplicación se puede seleccionar uno u otro cilindro que permitirá realizar el trabajo de una forma adecuada, optimizando recursos tales como costos o espacio al escoger un cilindro acorde a las necesidades.

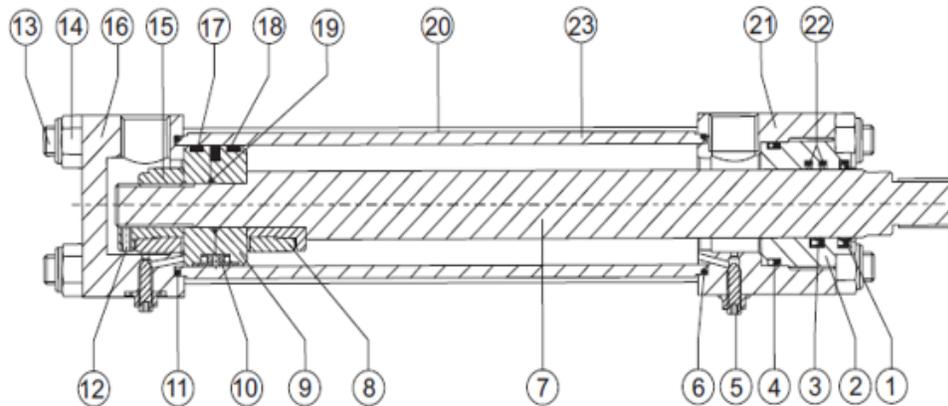
### 7.1.3. Construcción

La construcción de cilindros difiere para cada aplicación, desde el tipo de cilindro a usar, el diseño de este, el tipo de montaje a emplear e incluso el funcionamiento de estos. Los criterios son definidos ya sea por el usuario que utilizara el elemento de trabajo o por el fabricante del cilindro; por esta razón, no se puede estandarizar todos los componentes. Una de las partes iniciales para el diseño de un cilindro es la selección de los materiales para cada componente; como ya se ha hecho mención, este es criterio y elección de cada fabricante pudiendo encontrarse un sinnúmero de combinaciones en materiales. Se debe tener presente que una adecuada elección de los materiales garantiza que el cilindro no falle y genere una larga vida útil de las partes. Las *figuras 12 y 13* resaltan los componentes claves que debe llevar un cilindro tipo botella y tipo tirantes respectivamente, para su correcto funcionamiento garantizando su hermeticidad, siendo este uno de los parámetros claves en todo tipo de equipo hidráulico que maneja fluido a presión.



1. Limpiador	2. Sello del vástago	3. Banda guía
4. Tapa porta sellos	5. Vástago	6. Camisa
7. Pistón	8. Sello tipo O-ring	9. Banda guía pistón
10. Sello del pistón	11. Tuerca hexagonal	12. Tapa trasera

Figura 12. Componentes de un cilindro hidráulico tipo botella [9]



1. Limpiador	2. Banda guía	3. Sello vástago	4. Sello tipo O-ring
5. Tornillo regulador de amortiguación	6. Sello tipo O-ring	7. Vástago	8. Amortiguación anterior
9. Pistón	10. Sello pistón (igual a 10)	11. Sello tipo O-ring	12. Amortiguación posterior
13. Tirante	14. Tuerca autoblocante	15. Tuerca	16. Cabezal posterior
17. Banda guía pistón	18. Sello pistón (igual a 10)	19. Sello tipo O-ring	20. Camisa
21. Cabezal anterior	22. Sello vástago (igual a 3)	23. Camisa (igual a 20)	

Figura 13. Componentes de un cilindro tipo tirantes [10]

#### 7.1.4. Funcionamiento

De manera general, los cilindros son actuadores hidráulicos de tipo lineal, los cuales aprovechan la energía hidráulica suministrada por el fluido y la transforman en energía mecánica para la realización de tareas que requieran fuerzas elevadas o procesos lineales cíclicos. La energía se transmite desde el fluido y es el pistón quien la convierte en energía mecánica; la reacción a esto es el desplazamiento de dicho pistón a través de la camisa en toda la carrera disponible. El vástago es quien transmite la energía mecánica al elemento final dependiendo de la aplicación. A continuación, se describe el funcionamiento que tiene cada parte principal que compone un cilindro:

- La camisa, es la parte visible al exterior del cilindro y en su interior se pueden encontrar los componentes que recibirán la fuerza a transmitir. Normalmente son fabricadas en acero estirado sin soldaduras o costuras y rectificado para garantizar una baja rugosidad en la superficie interna por donde se desplazará el pistón; comúnmente a este acabado superficial se le conoce como bruñido o acabado espejo.
- El vástago o barra es posiblemente el elemento más crítico de un cilindro ya que es por donde se va a transmitir la fuerza al elemento final; por lo tanto, se deben considerar las posibles fallas por pandeo, tracción y/o compresión. Son Construidos en acero cromado y rectificado para conseguir gran precisión; comúnmente se encuentran roscados en las puntas para conectar el elemento final o de montaje por un lado y el pistón por el otro extremo.
- La tapa trasera permite el cierre de la cámara posterior del cilindro, mientras que la tapa delantera hace lo mismo en la parte anterior. Esta última tiene un orificio por donde se va a estar desplazando el vástago; por esta razón se deben instalar sellos que garanticen la hermeticidad en su funcionamiento. Se fabrican en acero al carbono 1020 o 1040 y se pueden encontrar soldados, atornillados o roscados.
- El pistón es el elemento encargado de recibir toda la presión generada por el fluido hidráulico y por ende generar el desplazamiento del conjunto pistón – vástago. Debido a la traslación continua dentro de la camisa, es aconsejable utilizar un material con unas propiedades mecánicas inferiores al de ésta; así, si se presenta un contacto entre estas dos partes, se evita que la superficie interna de la camisa pueda sufrir grandes daños; por ello, pueden ser fabricados en acero, aleaciones de aluminio, bronce o una fundición al cromo níquel. Se pueden encontrar generalmente roscados para unirlos con la barra del cilindro o sujetados por medio de una tuerca.
- Los puertos permiten el ingreso del fluido hidráulico dentro del cilindro; estos se pueden encontrar ubicados en la camisa del cilindro o en las tapas dependiendo del diseño del cilindro. Se debe garantizar que los puertos no se ubiquen en una posición tal que puedan chocar con los sellos del pistón, ya que si esto ocurre pueden dañarlos por las altas presiones con las que ingresa el fluido.
- Los montajes de los cilindros varían dependiendo el tipo de cilindro a utilizar; estos permiten determinar cómo y dónde se instalará el cilindro hidráulico. Los modos de fijación de cilindros más utilizados en la industria son con cojinete oscilante y rótula para más de la mitad de las aplicaciones que emplean estos equipos. La *tabla 11*

muestra los modos de fijación posibles para cilindros tipo tirantes y tipo botella o redondos.

- Los sellos son parte vital de los cilindros con el fin de garantizar su hermeticidad, es decir evitar las fugas del fluido y así permitir aprovechar toda la energía hidráulica contenida en el flujo del fluido; además permiten evitar los roces entre superficies metálicas garantizando extender la vida útil de los componentes. Fabricados de diferentes materiales tales como nitrilo, duralip, Poliacrilato, silicona, vitón, felpa, pfe, cuero y ubicados en puntos importantes por donde pueden generarse filtraciones del fluido; primordialmente se deben ubicar entre los contactos pistón – barra, pistón – camisa, tapa - barra y tapa – camisa. La *figura 14* muestra los diferentes sellos que debe contener un cilindro a fin de minimizar las fugas tanto al exterior como al interior de este [5].

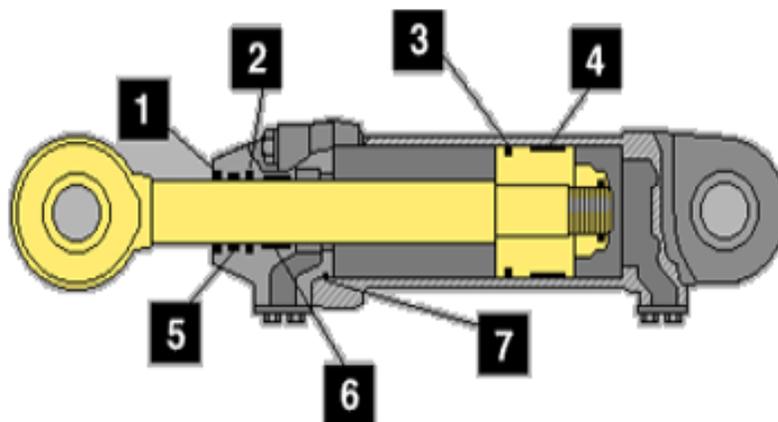
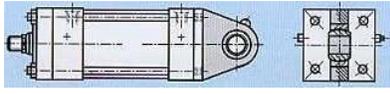
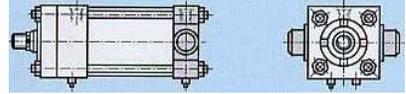
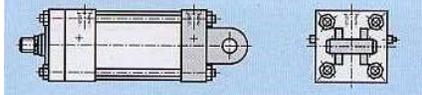
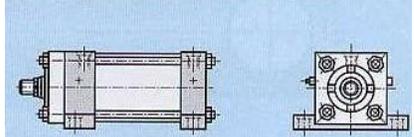
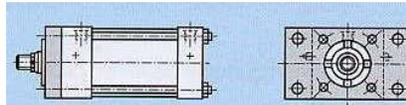
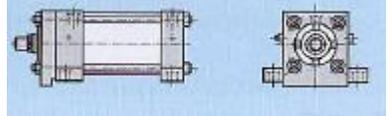
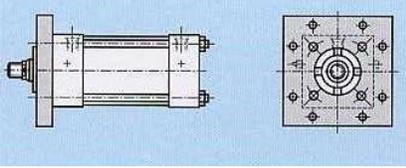
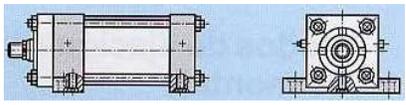
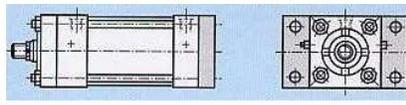
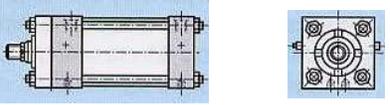
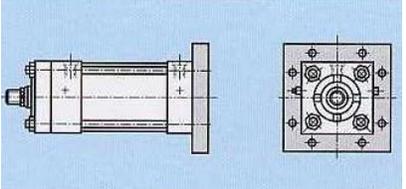
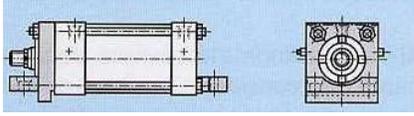
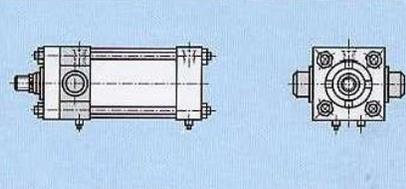
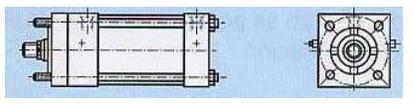


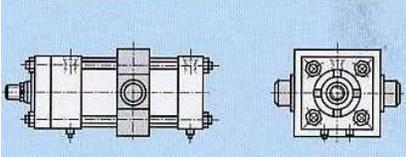
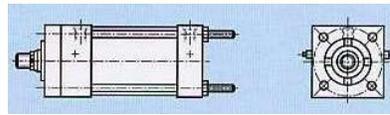
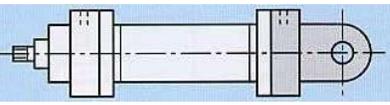
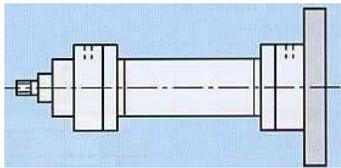
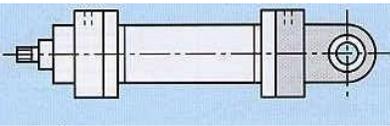
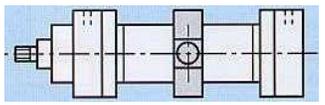
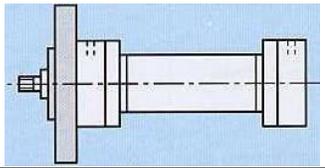
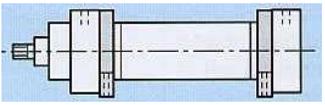
Figura 14. Sellos de un cilindro [5]

1. Sello limpiador: Permite retener la suciedad del exterior, evitando que ingrese, contamine el fluido hidráulico y genere daños en las piezas.
2. Sello amortiguador: Trabaja como un sello de protección contra los picos de presión evitando que estos puedan llegar al sello de la barra.
3. Sello del pistón: Genera un sellado entre el pistón y la camisa; su función es evitar el paso de aceite entre las cámaras.
4. Anillo de desgaste del pistón: Sirven de guías para que el desplazamiento del pistón sea centrado y no logre rayar la camisa.
5. Sello de la barra: Su función es retener el aceite hidráulico en el interior del cilindro mientras la barra se desplaza.
6. Anillo de desgaste de la barra: Sirven de guías para que el desplazamiento de la barra sea centrado respecto a la tapa evitando que estas dos partes entren en contacto.
7. Sello de la tapa: Permite el sellado entre la tapa y la camisa del cilindro, permitiendo mantener la presión del sistema.

Otros elementos que se pueden encontrar en los cilindros son los amortiguadores, diseñados para desacelerar la barra cuando esta se aproxima a su final de carrera y así evitar los golpes entre la barra y las tapas; los tubos o bujes de parada, empleados en cilindros que tienen una carrera larga para evitar cargas laterales en los soportes del vástago.

Tabla 11. Modos de fijación de cilindros hidráulicos de tirantes [8]

Rótula en la base del cilindro		Perno basculante en la base del cilindro	
Horquilla en la base del cilindro		1) Fijación del pie	
1) Brida rectangular en la cabeza del cilindro		1) Fijación del pie con chavetero	
1) Brida cuadrada en la cabeza del cilindro		1) Fijación del pie con junta tórica para montaje en placa	
Brida rectangular en la base del cilindro		1) Taladros roscados en la cabeza y en la base del cilindro	
Brida cuadrada en la base del cilindro		Fijación del pie del lado frontal con chavetero	
1) Perno basculante en la cabeza del cilindro		1) Tirantes prolongados en la cabeza del cilindro	

1) Perno basculante en el medio del cilindro		Tirantes prolongados en la base del cilindro	
1) También posible como cilindro de doble vástago			
Cojinetes oscilantes en la base del cilindro		Brida en la base del cilindro	
Rótula en la base del cilindro		1) Perno basculante en el medio del cilindro	
1) Brida en la cabeza del cilindro		1) Fijación del pie	
1) También posiblemente como cilindro de doble vástago			

### 7.1.5. Identificación de los cilindros

Puesto que los cilindros generalmente no tienen una placa de identificación, es muy difícil determinar de que fabricante pueden ser. Sin embargo, la empresa en sus actividades se dedica a la fabricación de estos equipos, por ende, se define una identificación como se muestra a continuación:

Tipo	Construcción	Datos de camisa	Datos de vástago	Carrera aprox.	Puertos	Montajes
------	--------------	-----------------	------------------	----------------	---------	----------

### 7.1.6. Ensamble y desensamble

Luego de realizar la reparación o mantenimiento de un cilindro hidráulico, se debe garantizar un procedimiento adecuado para ensamblarlo, buscando evitar daños en los sellos o cualquier parte del cilindro que conduzcan a un mal funcionamiento y/o una vida útil más corta. Es muy común encontrarse daños en los sellos al momento del ensamble que generan desde recalentamiento y desgaste prematuro en tiempos de operación, hasta fugas o daños en partes tales como camisa o vástago; además, si los sellos se montan incorrectamente se puede llegar a perder hasta un 25% de la energía [11]. El personal encargado de la intervención de estos equipos debe tener el conocimiento para poder identificar la construcción del equipo, la función de cada parte y el correcto reemplazo de partes, tal que no afecte su diseño o funcionalidad. Las *figuras 15 y 16* muestran un algoritmo general que se recomienda seguir al momento de ensamblar y desensamblar estos equipos.

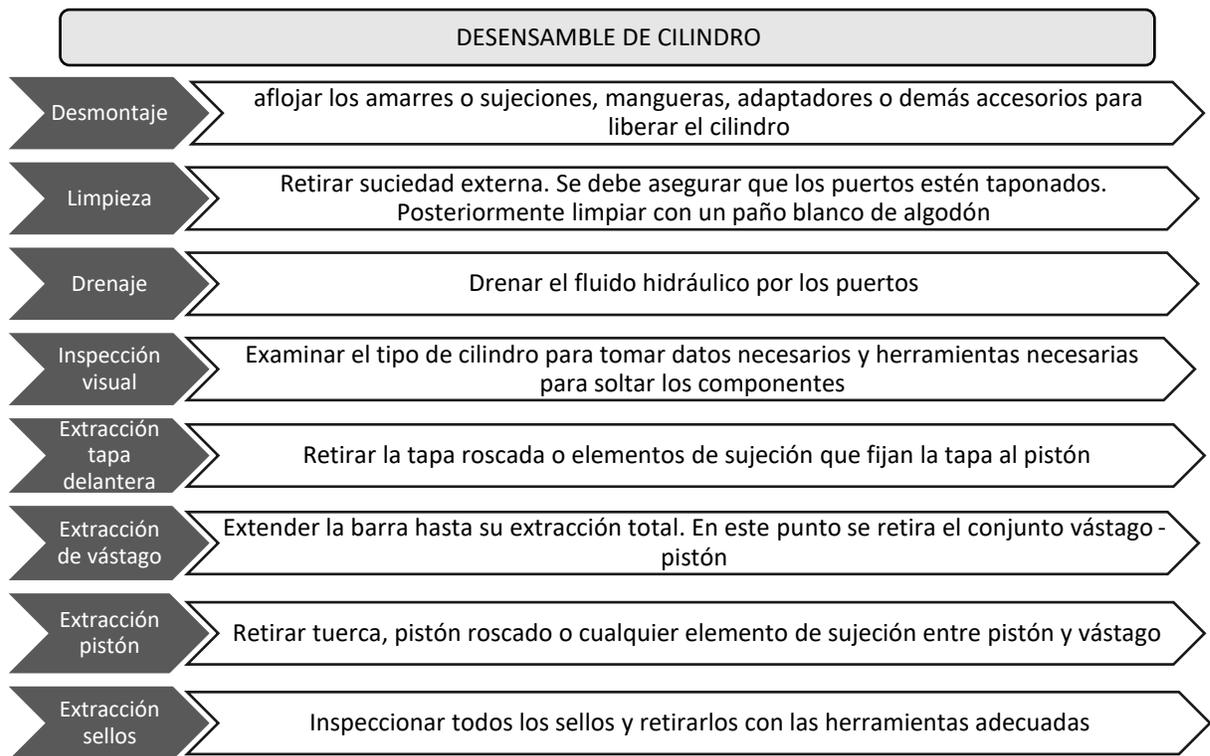


Figura 15. Pasos para desensamblar un cilindro.

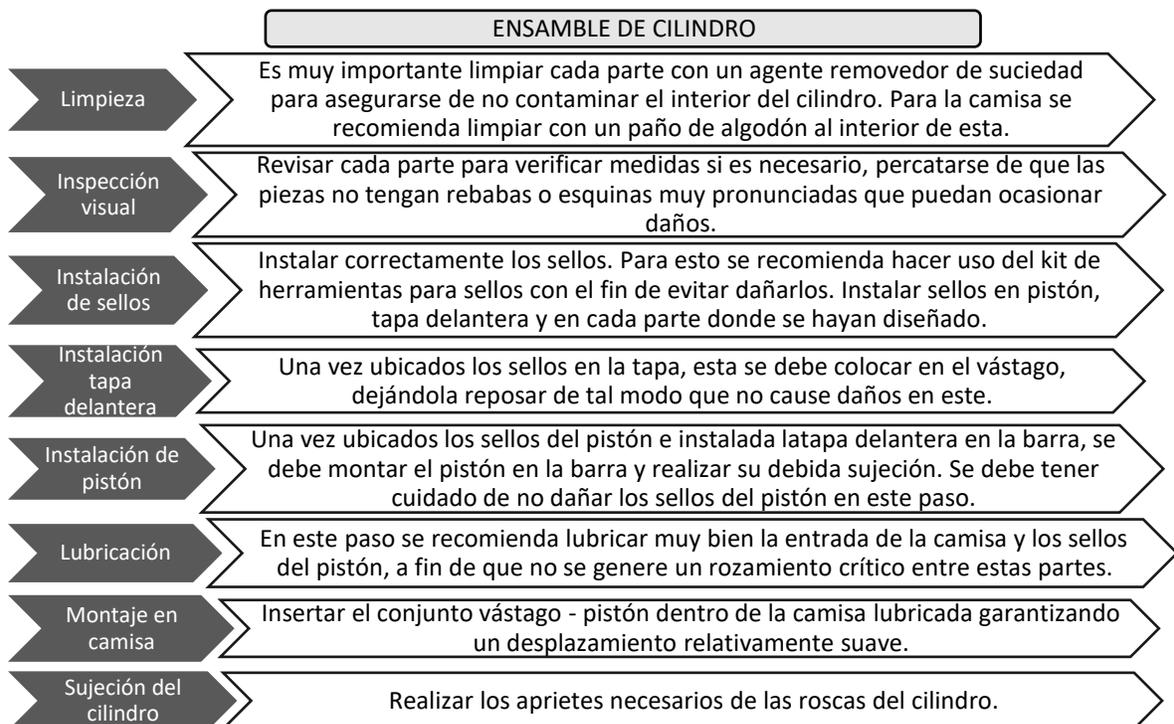


Figura 16. Pasos para ensamblar un cilindro.

### 7.1.7. Posibles fallas

Como es sabido, los cilindros hidráulicos deben ser elementos herméticos, por eso se usan sellos ubicados entre piezas en contacto para eliminar las fugas o en piezas que están en movimientos relativos entre ellas. Para los cilindros, estos se ubican en el pistón y comúnmente en la tapa delantera por donde se desplaza el vástago del pistón; debido a esto es natural encontrar fallas de estos elementos.

Una de las principales fallas y la que se presenta más comúnmente en los cilindros es el desgaste o daño de los sellos, lo cual no permite la estanqueidad en el cilindro permitiendo que la contaminación pueda ingresar al interior del cilindro o se puede presentar una pérdida de fluido hidráulico y ocasionar mayor riesgo de mal funcionamiento o averías. Sin embargo, hay métodos como los expuestos en la *tabla 12* para determinar estos problemas y además como se pueden solucionar.

Otro componente que es muy propenso a las averías es el vástago que está directamente expuesto a factores atmosféricos como agua, nieve, cambios de temperatura, suciedad, partículas y hollín, así como a cargas mecánicas variables (se debe tener presente que los cilindros no están diseñados para soportar cargas radiales), por esto puede sufrir desde daños leves como rayones o golpes hasta daños más complejos como pandeo.

Por otro lado, las camisas de los cilindros suelen sufrir de desgaste o rayones internos debido a múltiples factores tales como un mal diseño con unas tolerancias dimensionales incorrectas, desgaste en los sellos, contacto directo con el pistón, contaminación en el fluido hidráulico, entre muchos otros. Siempre es necesario revisar la concentricidad de la camisa debido a que en el proceso de fabricación la mayoría de las veces se aplica soldadura a este elemento; proceso que, si no es controlado y realizado adecuadamente, puede deformar la camisa. A su vez, el pistón puede presentar daños que permitan las fugas del aceite o en un peor caso el contacto directo con la camisa, desgastando e incluso generando daños entre estas dos partes. La *figura 17* muestra las principales averías que pueden presentarse en los cilindros.

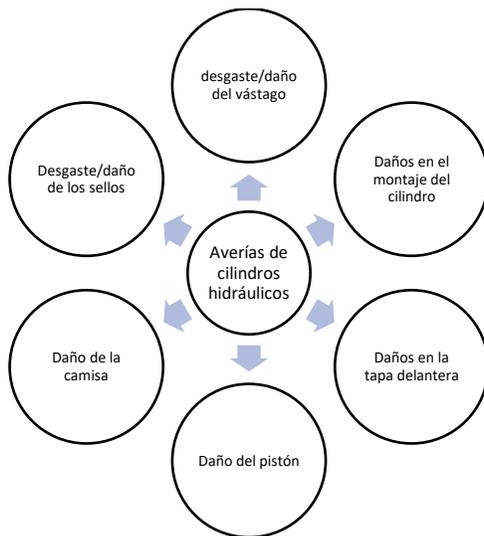


Figura 17. posibles tipos de averías de cilindros hidráulicos. [11]

Como resultado de las fallas expuestas anteriormente, se pueden encontrar distintos tipos de problemas en la práctica, como se expone en la *tabla 17*. Se puede destacar entre todas estas, la fuga de los cilindros, siendo quizá el problema principal que ocasiona fallas en su funcionamiento; por ejemplo, si un cilindro requiere sostener una carga vertical y el cilindro presenta fuga entre las cámaras, tenderá a retraerse con el tiempo; en algunos casos inclusive se puede evidenciar intensificación de la presión debida a las fugas en el pistón, siendo un caso crítico la situación donde se pueden llegar a igualar las presiones en las dos cámaras, ocasionando que el vástago sea el único que actúe para sostener la carga provocando como consecuencia daños en los empaques del vástago u otras partes [12]. La tabla se elabora tomando los datos presentados por [12] específicamente causados por los cilindros; además de los datos recolectados durante la observación en campo.

*Tabla 12. Posibles problemas presentes en los cilindros hidráulicos. [12]*

PROBLEMA	CAUSA PROBABLE	SOLUCIÓN POSIBLE
El cilindro no se mueve	<b>A.</b> Fuga en los sellos del pistón	Desensamblar y cambiar los sellos.
	<b>B.</b> Fugas en el control direccional.	Revisar el control direccional por separado.
	<b>C.</b> Suficientemente alta la contrapresión en la línea de retorno (cilindro de simple efecto.)	Verificar si está obstruida la línea de retorno.
		Remover y reemplazar el filtro de retorno.
	<b>D.</b> Ocurrencia común con válvula direccional con centro cerrado y la bomba con carga.	Cambiar la válvula a una de centro tipo tandem.
		Descargar la bomba.
Cambiar la válvula a una que tenga un spool con ranuras especiales para solucionar este problema.		
El cilindro no mueve la carga cuando se actúa la válvula	<b>A.</b> Descuadre el acople del vástago a la carga	Verificar si el acople está alineado.
	<b>B.</b> Vástago del cilindro doblado o roto	Desensamblar y reemplazar el vástago.
		Verificar la alineación del montaje del cilindro.
	<b>C.</b> Fuga en los sellos del pistón	Desensamblar y reemplazar los sellos.
	<b>D.</b> Presión muy baja	Verificar y ajustar la presión de los sellos.
<b>E.</b> Cilindro muy pequeño	Recalcular el cilindro en conjunto con la carga.	

	<b>F. Contaminación</b>	Cambiar las partes que estén rayadas o escoriadas.
		Lavar el sistema y rellenar con aceite nuevo y filtrado.
Fuga entre la camisa y las tapas	<b>A. Sellos duros o cristalizados</b>	Verificar si hay excesiva temperatura.
		Remover y reemplazar con sellos para alta temperatura (viton).
	<b>B. Presión muy alta</b>	La presión debe ser menor, ajustar a la presión adecuada.
		Medir la presión durante la amortiguación (frenada al fin de carrera).
	<b>C. Empaque cortado o extruido</b>	Remover y reemplazar los sellos.
		Lubricar el sello antes de colocarlo.
		Verificar el torque de los tensores a la medida adecuada si es el caso.
	<b>D. Sello reblandecido</b>	Verificar los sellos y mirar si son compatibles con el fluido.
	<b>E. Tensores mal torqueados</b>	Ajustar el torque de los tensores apropiadamente si es el caso. Chequear las especificaciones del fabricante.
	<b>F. Desgaste del buje de un solo lado, lo mismo que la camisa en el lado opuesto</b>	Verificar si hay carga radial u otra razón para el desgaste.
Reemplazar los sellos.		
Fuga por los sellos internos	<b>A. Contrapresión muy alta</b>	Verificar el ajuste del control de flujo y corregir si es necesario.
		Verificar el estado del amortiguador de fin de carrera y corregir si es necesario.
	<b>B. Sellos reblandecidos</b>	Verificar si hay compatibilidad entre los sellos y el fluido.
		Reemplazar por sellos compatibles.
	<b>C. Sellos duros o cristalizados</b>	Verificar si la temperatura es demasiado alta.
		Remover y reemplazar los sellos por unos de alta temperatura (viton).

	<b>D. Instalación inapropiada</b>	Desensamblar y colocar los sellos en la posición adecuada.
	<b>E. Excesivo desgaste</b>	Remover y reemplazar los sellos.
		Limpiar y rellenar el sistema con aceite filtrado.
Fugas en el buje del vástago	rayado o con desprendimiento de cromo	Verificar el estado del vástago o reemplazarlo.
		Verificar el normal desgaste del sello y revisar que haya una interferencia de 0.002” entre el vástago y el empaque.
	retenedor de empaque flojo o suelto	Ajustar los sellos hasta que deje de escapar (empaques tipo V).
		Remover y reemplazar el empaque tipo V.
	. Empaque duro o cristalizado	Verificar si hay mucha temperatura.
		Remover y reemplazar por empaques de alta temperatura.
	. Empaque flojo reblandecido	Verificar si hay compatibilidad entre los empaques y el fluido.
Reemplazar con sellos compatibles.		
El cilindro opera erráticamente	<b>A. El cilindro fuga internamente</b>	Reparar o reemplazar partes y sellos.
		Chequear la viscosidad del aceite haciendo un análisis. Comparar con la recomendación del fabricante.
		Verificar si hay contaminación.
	<b>B. Aireación del sistema</b>	Encontrar la causa de la entrada de aire.
		Verificar el vacío en la succión de la bomba con vacuómetro, ajustar fugas.
		Verificar el nivel de aceite en el tanque.
		Verificar si hay alguna línea de retorno llegando por encima del nivel.
	Desensamblar y limpiar.	

	<b>C.</b> La válvula direccional no se actúa completamente	Verificar si la presión piloto es muy baja.
		Chequear si hay aire en el sistema.
		Verificar si hay contaminación o desgaste.
	<b>D.</b> Presión piloto baja	Verificar el estado de ajuste de los cheques pilotados (si es el caso).
		Verificar la fuente de la presión, ajustar si es necesario.
		Desensamblar y limpiar los pasajes de la válvula.
	<b>E.</b> El cilindro se traba	Desensamblar y verificar cual es la causa de atascamiento, reparar y limpiar.
		Reajustar los empaques del vástago.
		Realizar de nuevo la alineación del acople del vástago.
		Verificar si el vástago está doblado. Si es necesario, verificar si el diámetro es el adecuado para contrarrestar el efecto del pandeo.

## **7.2. Bombas hidráulicas**

Las bombas son el corazón de un sistema hidráulico, por ende, quizá sea el elemento más importante de todo el sistema. La función principal de cualquier bomba es transformar la energía mecánica que le suministra la fuente, que puede ser un motor eléctrico, de combustión o incluso hidráulico y transformar esta energía en energía hidráulica o de flujo que se transmite a todo el sistema. Las bombas de interés en la oleo hidráulica son las bombas hidrostáticas o de desplazamiento positivo, que se caracterizan por dar una cantidad específica de fluido por cada carrera, revolución o ciclo. Además, su salida exceptuando las pérdidas por fugas es independiente a la presión de salida haciéndolas ideales para la transmisión de potencia [1].

El principio de funcionamiento de una bomba es generado gracias al vacío parcial que se produce en la succión provocando que la presión atmosférica empuje al líquido y se transporte hasta la entrada de la bomba, llenando así los componentes internos, donde por medio de diferentes tipos de impulso se logra enviar el fluido a todo el sistema hidráulico. Es de aclarar que ninguna bomba de desplazamiento positivo es capaz de levantar presión por si sola, siendo las restricciones o fuerzas externas las únicas fuentes capaces de generar presión [4].

### **7.2.1. Características técnicas**

Estos son los parámetros que permiten catalogar las bombas y si es el caso realizar homologaciones sin importar el tipo de bomba. Las características que definen una bomba están dadas por la máxima capacidad de presión operante y su salida en GPM, factor que está directamente relacionado a la velocidad operante del motor; sin embargo, muchos fabricantes también especifican el desplazamiento. Otra característica que se puede determinar por medio de pruebas y que permite determinar el estado de una bomba es la eficiencia volumétrica [1].

7. La presión es establecida directamente por los fabricantes, quienes por medio de pruebas definen los rangos de presión operante y a su vez la máxima presión que pueden soportar sin sufrir muchos daños. Se debe aclarar que operar una bomba en un rango de presión superior al definido por el fabricante implica un posible desgaste o daño prematuro.
8. El desplazamiento de una bomba es el volumen de fluido que puede entregar por cada revolución. Para determinar dicho desplazamiento se debe tener presente el tipo de bomba y es igual al volumen de un cámara multiplicado por el número de cámaras que presente la bomba . Además, para las bombas de desplazamiento constante este parámetro no puede ser cambiado a menos que se reemplacen ciertas partes como se puede ver en muchas ocasiones para las bombas de piñones; mientras que para las bombas de desplazamiento variable permiten ser modificado por medio de controles externos como se puede ver en muchas ocasiones en las bombas de pistones.
9. El suministro de una bomba se mide en galones por minuto [GPM] y es directamente proporcional a la velocidad del eje del motor. Esto implica también que el suministro se pueda determinar a partir del desplazamiento de la bomba y la velocidad de giro a la cual va a operar. Normalmente para este parámetro, los fabricantes suministran tablas o

gráficas donde se puede relacionar variables tales como la presión, la velocidad y el caudal e incluso la potencia requerida.

10. La eficiencia volumétrica se determina por medio de pruebas y es igual a la salida real dividida por la salida teórica y expresada en porcentaje tal como se muestra en la *ecuación 5*. Así, se puede determinar la eficiencia volumétrica conociendo el caudal de suministro teórico para una presión dada y comparándolo con el caudal obtenido por medio de mediciones para dicha presión. La eficiencia volumétrica se relaciona directamente a las fugas internas o deslizamientos y aumenta conforme aumenta la presión.

$$\eta_{vol} = \frac{Q_{real}}{Q_{teórico}} \times 100 \quad [ec. 5]$$

### 7.2.2. Tipos

Las bombas hidráulicas generalmente están clasificadas dependiendo de los elementos internos en movimiento, los cuales pueden ser rotativos o reciprocantes. Se pueden encontrar una gran variedad de diseños diferentes pero en este documento nos centraremos en las bombas seleccionadas con anterioridad; para lo cual se tienen las bombas de engranajes con cuerpo de aluminio del fabricante *Bosh Rexroth*, bombas para aplicaciones de alta presión del fabricante *Parker Hannifin* y las bombas de pistones también del fabricante *Bosh Rexroth*, donde para cada una se mostrará su identificación, construcción, funcionamiento y la manera correcta de como intervenir estos equipos para realizar un debido mantenimiento.

### 7.2.3. Bombas de engranajes Rexroth y Parker

Estas bombas son de desplazamiento fijo, esto quiere decir que el volumen arrojado por cada revolución no puede variar a menos que se reemplacen sus componentes internos.

#### 7.2.3.1. Construcción

Estas bombas se caracterizan por tener muy pocas partes; sin embargo, su facilidad de mantenimiento y su gran rendimiento hace que sean muy utilizadas en la industria. Su construcción puede variar dependiendo del fabricante. La empresa tiene como proveedores de bombas de engranajes a la empresa *BOSCH REXROTH*, la cual ofrece bombas con cuerpo de aluminio, utilizadas comúnmente en trabajos de baja presión como se muestran en la *figura 17*, en esta figura se muestra la construcción típica de estas bombas y la *figura 18* donde se puede ver cada parte que las componen.



Figura 18. Construcciones bombas de engranajes con cuerpo de aluminio. [13]

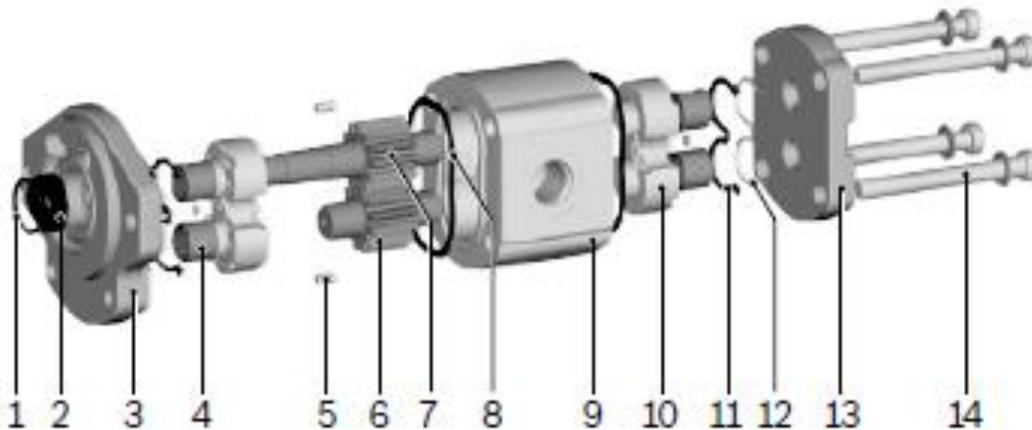


Figura 19. Componentes de bomba de engranajes con cuerpo de aluminio. [13]

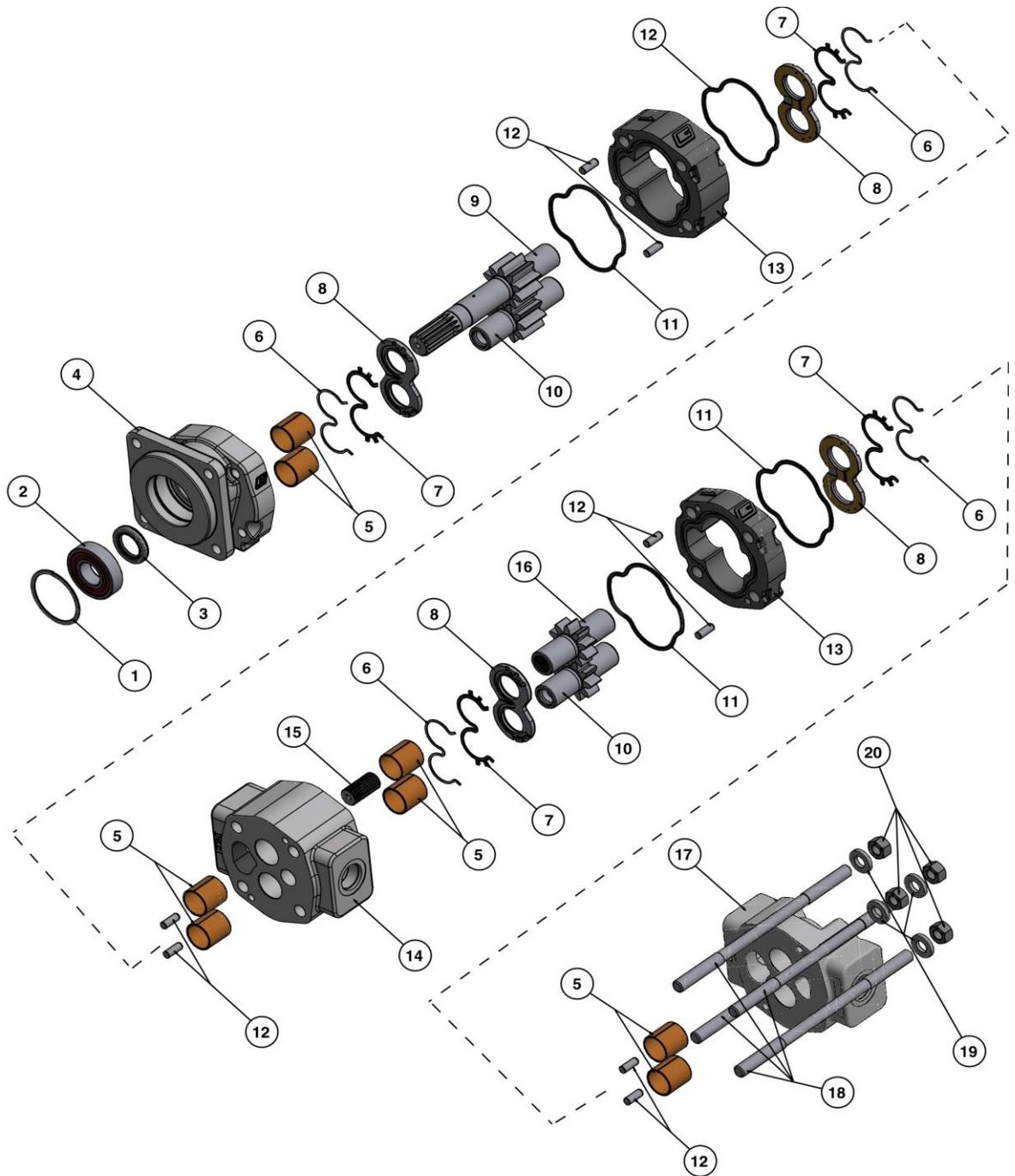
1. Anillo de seguridad (retaining ring): Este componente tiene como función mantener fijo el retén del eje.
2. Retén del eje (shaft seal): Este componente permite tiene como función principal realizar el sellado del equipo, impidiendo que ingresen contaminantes externos, así como impedir fugas de aceite al exterior.
3. Tapa frontal (front cover): Este elemento realiza el sellado del equipo en la parte delantera. En la tapa se aloja el retén del eje y el anillo de seguridad; además, el eje de accionamiento pasa por este elemento.
4. buje (slide bearings): Este elemento normalmente está presente debido a que los equipos operan en un rango de presión elevado. Este componente principalmente ayuda a reducir el desgaste que se pueda generar en los ejes pues ayudan a absorber las fuerzas.
5. Pasador de centraje (centering pin): Este elemento se encarga de centrar las tapas y el cuerpo con el fin de que los componentes estén concéntricos.
6. Engranaje impulsado (Gear wheel): Este elemento en conjunto con el piñón motriz permiten generar el flujo de fluido. Este recibe la energía que transmite el otro piñón.

7. Eje impulsor (drive shaft): Es el elemento que tendrá el acoplamiento con el motor, siendo el elemento conductor de la energía mecánica y transmitiendo dicha energía al otro engranaje con el fin de generar el flujo de fluido.
8. Junta anular de la carcasa (housing seal ring): Este es el sello del cuerpo de la bomba, permitiendo impedir que el fluido se filtre entre piezas que se encuentran en contacto, en este caso entre el cuerpo y las tapas.
9. Carcasa de la bomba (pump housing): Es el cuerpo de la bomba y en él se alojan los piñones, los anillos de fricción y junto con las tapas generan la cámara para que se realice el impulso del fluido. Tiene que ser capaz de soportar las cargas que se generan producto de la operación, así como los aumentos de presión que puedan presentarse en el sistema.
10. Casquillo de cojinete (bearing bushing): También conocidos como placas de presión, desgaste u ochos, tienen la función de crear un sellado axial entre los engranajes al presionarse contra estos para realizar un funcionamiento óptimo. Adicionalmente permiten dividir los campos de presión de la succión y la descarga de la bomba. En ellos se encuentran sellos que permiten separar estos campos.
11. Junta de campo axial (axial field seal): Estos componentes son conocidos como los sellos de los ochos y permiten realizar un sello y separación entre zona de succión de la bomba y la presión.
12. Elemento de soporte (supporting element): Este elemento se usa como respaldo para los sellos con el fin de aumentar su vida útil y no se generen extrusiones de estos.
13. Tapa final (End cover): Esta tapa realiza el sellado en la parte posterior de la bomba.
14. Tornillos torx (torx screws): Son los elementos que realizan la fijación del equipo, estos atraviesan la tapa trasera y el cuerpo y realizan la acción de roscado con la tapa delantera.

Por su parte, las bombas del proveedor *PARKER HANNIFIN* tienen una construcción en hierro fundido y son de la serie *PGP/PGM 300 SERIES*, dentro de sus ventajas es que son bombas que pueden soportar presiones hasta 3500 psi, son de larga duración y se suelen someter a entornos severos. Las *figuras 20 y 21* muestran la construcción de la bomba y las partes que la componen respectivamente. Se puede evidenciar que las partes principales son las mismas que se presentan para las bombas de engranajes con cuerpo de aluminio, sin embargo, se presentan partes adicionales que se muestran a continuación:



Figura 20. Bombas de hierro fundido. [14]



1. Pin candado (Snap ring)	6. Respaldo de sello (Backup seal)	11. Sello del cuerpo (Square seal, section seal)	16. Engranaje impulsor (Drive gear)
2. Rodamiento (Outboard bearing)	7. Sello de ocho (Channel seal)	12. Pasador (Dowel pin)	17. Tapa trasera larga (Port end cover, rear cover)
3. Retén del eje (Lip seal, shaft seal)	8. Placa de desgaste (Thrust or pressure plate)	13. Cuerpo (Gear housing, body)	18. Esparrago, tornillo, sujetador (Stud, cap screw, fastener)
4. Tapa delantera (Shaft end cover, flange)	9. Eje de engranaje impulsor (Gear shaft, drive gear)	14. Portador de rodamientos (Bearing carrier)	19. Arandela (Washer)
5. Buje (Bushing)	10. Engranaje conducido o loco (Driven gear, idler gear)	15. Eje conector (Connecting shaft)	20. Tuerca hexagonal (Hex nut)

Figura 21. Componentes de bombas de engranajes Parker series PGP/PGM 300 series. [15]

Este tipo de bombas se pueden configurar ya sea simples o múltiples. Para las bombas con cuerpo de aluminio generalmente en la empresa se maquina la tapa trasera de una y se hacen las adaptaciones necesarias para poder conectar las dos bombas; mientras que para las bombas de la serie *PGP/PGM 300 SERIES*, se tienen partes especiales para tal fin, las cuales permiten conectar dos bombas del mismo tamaño (bearing carrier) o de diferente tamaño (piggyback) teniendo la ventaja que se puede tener una succión compartida a diferencia de las bombas de aluminio, donde se tienen succiones particulares para cada bomba. Las conexiones de los ejes se hacen por medio de conectores estriados y vienen estandarizados dependiendo los tamaños de bombas a conectar.

### 7.2.3.2. Funcionamiento

El funcionamiento de las bombas de engranajes es simple, pues desarrollan el flujo al llevar el fluido a través de los dientes de los engranajes. Para ello, un eje debe ser el impulsor y debe estar conectado con el motor y el otro engranaje es el impulsado. Las cámaras donde se realiza el bombeo del fluido se generan entre los dientes de los engranajes, la carcasa de la bomba y las placas de presión. El fluido se desplaza gracias a que en la rotación de los engranajes se genera un vacío en la zona de succión, con lo cual la presión atmosférica empuja el fluido y lo hace circular al interior de la bomba y posteriormente al volverse a encontrar los dientes de los engranajes el fluido es expulsado con una mayor energía por la zona de descarga de la bomba tal como se muestra en la *figura 22*. El sellado necesario para el correcto funcionamiento se realiza por una parte por medio de elementos selladores y adicionalmente por la compensación de las fuerzas que son dependientes de la presión de bombeo. Así, en la parte trasera y delantera se realiza presión a los ochos de la bomba y estos se presionan contra los engranajes generando un sello axial. Para los campos de presión al interior de la bomba se realiza el sellado por medio de las juntas de los platos de presión, quienes separan la zona de succión con la zona de presión. Por último, el sello entre los engranajes y la carcasa se realiza por medio de una hendidura mínima, la cual se ajusta en función de la presión tal como se muestra en la *figura 23*; es por lo que las bombas que presentan desgaste en sus partes disminuyen su eficiencia volumétrica, generando pérdidas por las holguras que se pueden ocasionar [13]

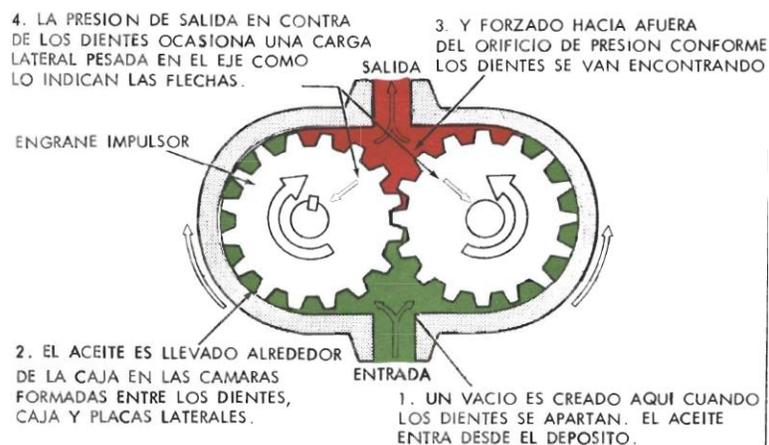


Figura 22. Funcionamiento de una bomba de engranajes [1]

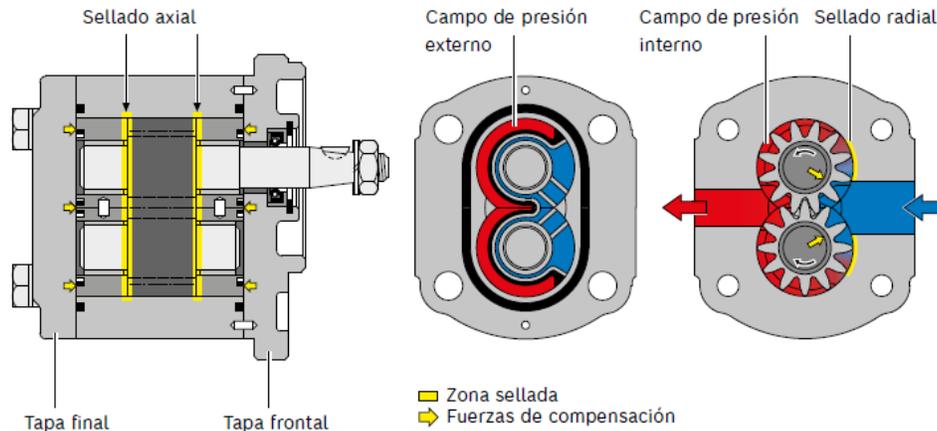


Figura 23. Compensación axial de la bomba a engranajes. [13]

### 7.2.3.3. Identificación

La correcta identificación de estos equipos se realiza al extraer los datos directamente de la placa de características. La figura 24 muestra una placa típica de una bomba de engranajes con cuerpo de aluminio del proveedor REXROTH.

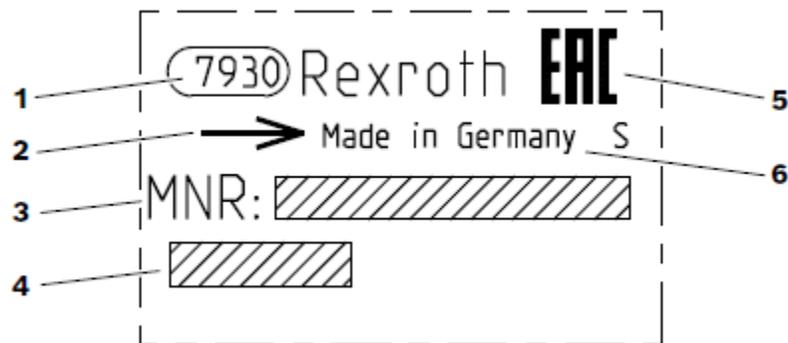


Figura 24. Placa de características bomba de engranajes con cuerpo de aluminio. [13]

En esta placa se encuentra la siguiente información [13]:

1. Número indicador de la fábrica
2. Indicación del sentido de giro – aquí se muestra: sentido de giro hacia la derecha
3. Número de material de la unidad a engranajes con dentado exterior
4. Fecha de fabricación
5. Marcado EAC
6. Identificación estándar, país de fabricación

Sin embargo, se puede presentar el caso en el cual el equipo no presenta placa de características. Con base en esto, por medio de la recolección de datos se obtuvo una identificación y caracterización que realizaba la empresa y que permitía tener una identificación del equipo. Para ello era necesario conocer el tamaño de la bomba, el tipo de

sujeción, el giro de la bomba, las características del eje, el galonaje de la bomba, los tipos y dimensiones de los puertos. Los datos más comerciales de las características de identificación de las bombas de aluminio se recogieron en la *tabla 12*. y se explican a continuación:

- **Tamaño:** Definido por el rango de galonaje que presenta la bomba, se pueden clasificar en grupo I, grupo II y grupo III.
- **Sujeción:** Está definida por el tamaño del registro de la bomba el cual puede ser SAE AA ( $\phi$  de registro 2"), SAE A ( $\phi$  de registro  $3\frac{1}{4}$ " ), SAE B ( $\phi$  de registro 4") , DIN y el montaje que puede ser dos huecos (2 H) o cuatro huecos (4 H).
- **Giro de la bomba:** Este se puede determinar de diferentes maneras, siendo bombas de giro derecho o izquierdo.
- **Características del eje:** Se especifica el tipo de eje, si es liso con chaveta, si es cónico o estriado con dientes (th), el diámetro del eje y si es posible el ancho del engranaje.
- **Galonaje de la bomba:** Este se determina por medio por medio de la siguiente fórmula:

$$Q = \frac{a^2 \times b \times 1800 \times 0,0017}{z} \quad [ec. 6]$$

Donde  $Q$  es el caudal de la bomba [ $cm^3$ ],  $a$  es la distancia entre centros del juego de piñones [mm],  $b$  el ancho del piñón [mm], y  $z$  es el número de dientes del piñón. También se puede calcular por medio de la siguiente fórmula:

$$Q = \frac{(D^2 - d^2) \times \pi \times L \times 10^{-3} \times n}{4} \quad [ec. 7]$$

Donde  $Q$  es el caudal de la bomba [ $cm^3$ ],  $D$  es el diámetro exterior del piñón [mm],  $d$  es el diámetro interior del piñón [mm],  $L$  es el ancho del piñón [mm] y  $n$  es la velocidad de giro [RPM].

- **Puertos:** Estos pueden ser puertos para bridas o puertos roscados para adaptadores, para ello se debe medir el tamaño del puerto e identificar el tipo de rosca o brida a usar. Se recomienda trabajar con una norma de adaptadores para mayor comprensión.

*Tabla 13. Identificación de bomba de engranajes de aluminio.*

TAMAÑO	SUJECIÓN	GIRO	EJE	GPM	PUERTOS
Grupo I	SAE AA DIN	Derecho o izquierdo	1/2" liso Cónico	[0,3 – 5]	3/4" CR – 7/8" CR Bridados
Grupo II	SAE A DIN		3/4" liso 5/8" 9th 11/16" 10th 1/2 liso Cónico	[3 – 12]	7/8" CR – 1-1/16" CR 7/8" CR – 1-5/16" CR Bridados
Grupo III	SAE B DIN		7/8" 13 th 3/4" liso 1" liso	[12 – 30]	1-1/16" CR – 1-5/8" CR Bridados

Para las bombas Parker se toman los mismos datos; adicionalmente se pueden cubicar fácilmente con base en las tablas mostradas a continuación:

Tabla 14. Galonajes de bombas Parker según tipo y altura del piñón. [14]

### P315

		GEAR WIDTH (Inches)						
		1/2"	3/4"	1"	1 1/4"	1 1/2"	1 3/4"	2"
cu in/rev	cc/rev	.62	.93	1.24	1.55	1.86	2.17	2.48
	gpm	10.20	15.20	20.30	25.40	30.50	35.60	40.60
900	lpm	1.6	2.8	4.0	5.2	6.2	7.2	8.4
	gpm	11.5	15	19.5	23.5	27.7	32	
1200	lpm	2.4	3.9	5.4	6.9	8.6	10.1	11.7
	gpm	14.8	20.5	26.2	32.5	38.2	44	
1500	lpm	3.2	5.2	7.2	9.2	11.1	13	14.8
	gpm	19.2	27	34.8	42	48	56	
1800	lpm	4.0	6.4	8.7	11	13.4	16.7	18
	gpm	15	24	33	42	51	59.5	68
2100	lpm	4.8	7.6	10.4	13.2	15.9	18.5	21.2
	gpm	18	29	39	50	60	70	80
2400	lpm	5.6	8	12.0	15.2	18.2	21.2	24.2
	gpm	21	33.3	45.5	57.76	69	80.2	91.5
3000	lpm	7.2	11.2	15.2	19.2	23.2	26.9	30.7
	gpm	27	42.3	57.5	72.7	88	102	116

### P330

		GEAR WIDTH (Inches)						
		1/2"	3/4"	1"	1 1/4"	1 1/2"	1 3/4"	2"
cu in/rev	cc/rev	.99	1.48	1.97	2.46	2.96	3.45	3.94
	gpm	16.10	24.20	32.30	40.40	48.40	56.50	64.60
900	lpm	2	4	6	8	10	12	13.5
	gpm	16	23	30	38	45	51	
1200	lpm	3.5	6	8.5	11.5	14	16	18.5
	gpm	12	22	32	42	53	61	70
1500	lpm	3.5	7.5	11	14.5	17.5	20.5	23.5
	gpm	20	31	42	55	66	78	89
1800	lpm	6	10	14	18	21.5	25	29
	gpm	27	40	53	81	81	95	110
2100	lpm	7.5	12	16.5	25	25	29.5	34
	gpm	28	45	62	79	95	112	129
2400	lpm	9	14	19	24	29	34	39
	gpm	34	53	72	91	110	129	148
3000	lpm	12.2	18.5	24.9	31.2	37.5	43.8	50.1
	gpm	46	70	94	118	142	166	190

### P350

		GEAR WIDTH (Inches)							
		3/4"	1"	1 1/4"	1 1/2"	1 3/4"	2"	2 1/4"	2 1/2"
cu in/rev	cc/rev	1.91	2.55	3.19	3.83	4.46	5.10	5.74	5.74
	gpm	31.30	41.80	52.20	62.70	73.10	83.60	94.00	94.00
900	lpm	6	8	10.5	13	15	17.5	20	22
	gpm	20	30	40	49	57	66	75	83
1200	lpm	8.5	11.5	15	18	21	24	27	30
	gpm	31	44	57	68	79	91	102	114
1500	lpm	10	14.5	19	23	27	31	35	39
	gpm	38	55	72	87	102	117	132	148
1800	lpm	12	17.5	23	27.5	32.5	37.5	42	47
	gpm	45	66	87	104	123	142	159	178
2100	lpm	15	21	27	32.5	38.5	44	49.5	55
	gpm	56	79	102	123	146	167	187	208
2400	lpm	18	24.5	31	37	44	51	57	63.5
	gpm	69	93	117	140	167	193	216	240

### P365

		GEAR WIDTH (Inches)							
		3/4"	1"	1 1/4"	1 1/2"	1 3/4"	2"	2 1/4"	2 1/2"
cu in/rev	cc/rev	2.70	3.60	4.50	5.40	6.30	7.20	8.10	9.00
	gpm	44.30	59.00	73.80	88.50	103.30	118.00	132.80	147.50
900	lpm	7.5	10.5	13.5	17	20.5	24	27.5	31
	gpm	30	40	51	64	78	91	104	117
1200	lpm	11	15.5	20	24.5	29	33.5	38	43
	gpm	43	59	75	93	110	127	144	163
1500	lpm	15	20	25.5	31	37.5	43	49	55
	gpm	55	76	97	117	142	163	185	208
1800	lpm	17.5	24.5	31.5	38	45.5	52	59	66
	gpm	67	93	119	144	172	197	223	250
2100	lpm	20.5	29	37.5	45.5	54	62	70	78
	gpm	78	110	142	172	204	235	265	295
2400	lpm	25	34	43	52.5	62	71	80.5	90
	gpm	95	129	163	199	235	269	305	341

#### 7.2.3.4. Ensamble y desensamble

Las figuras 25 y 26 muestran los pasos que se deben realizar para realizar un correcto ensamble y desensamble de las bombas de engranajes basado en los pasos suministrados por los fabricantes. Se recomienda que en el desensamble se mantenga la orientación adecuada de las piezas; por ende, se puede guiar de un dibujo de despiece.

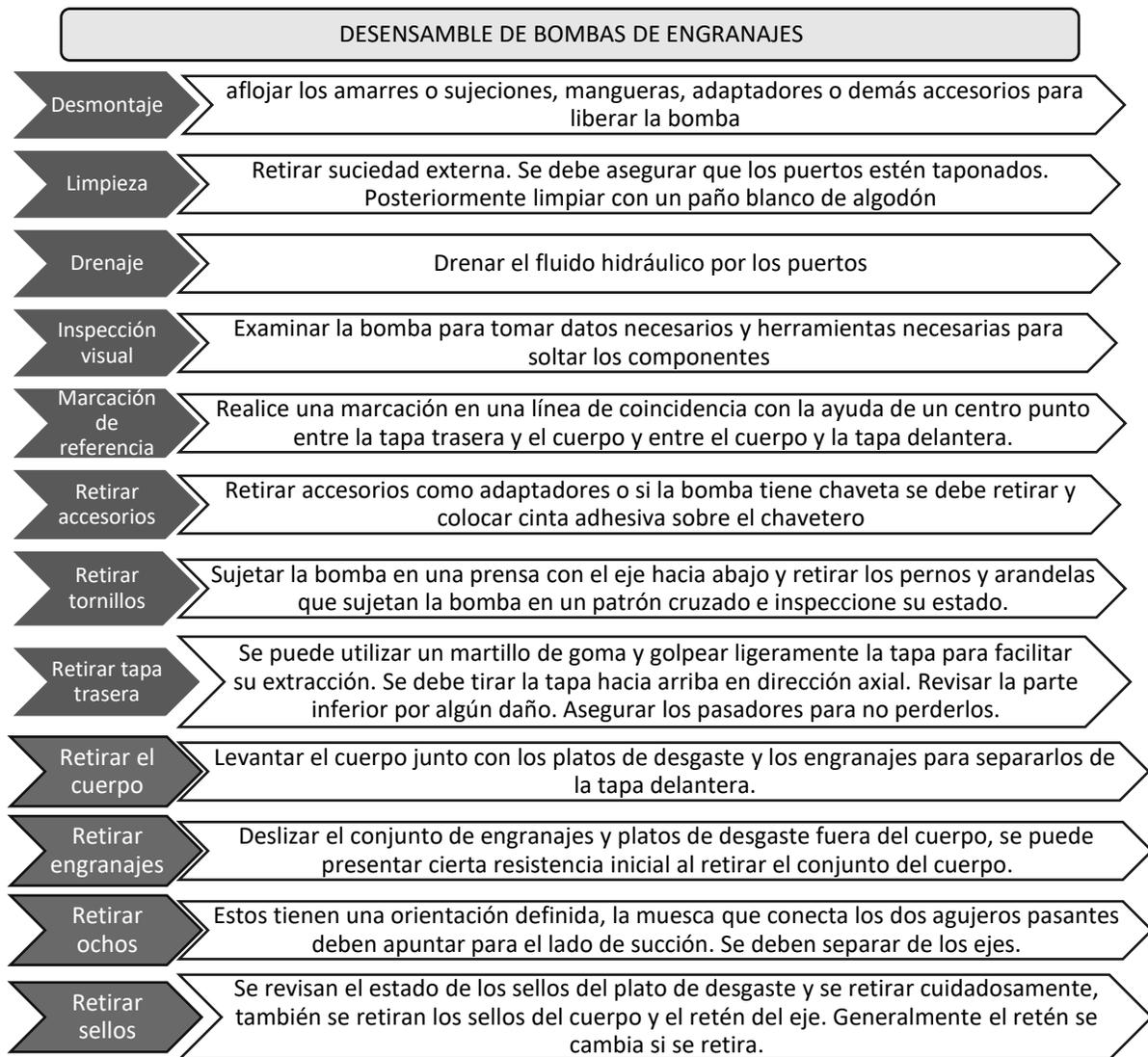


Figura 25. Pasos para desensamblar una bomba de engranajes.

Para las bombas Parker se recomienda luego de retirar la tapa trasera, retirar los ochos revisando su estado, luego retirar el engranaje impulsado evitando golpear los engranajes entre sí o con otra superficie dura y posteriormente retirar el engranaje impulsor. Revisar el estado del cuerpo y retirarlo, luego revisar la tapa delantera y girarla con el registro apuntando hacia arriba, retirar el pin candado con unas pinzas especiales, luego girar nuevamente la tapa y retirar el rodamiento si lo tiene junto con el retenedor, esto se puede hacer con la ayuda de pinzas especiales para sellos.

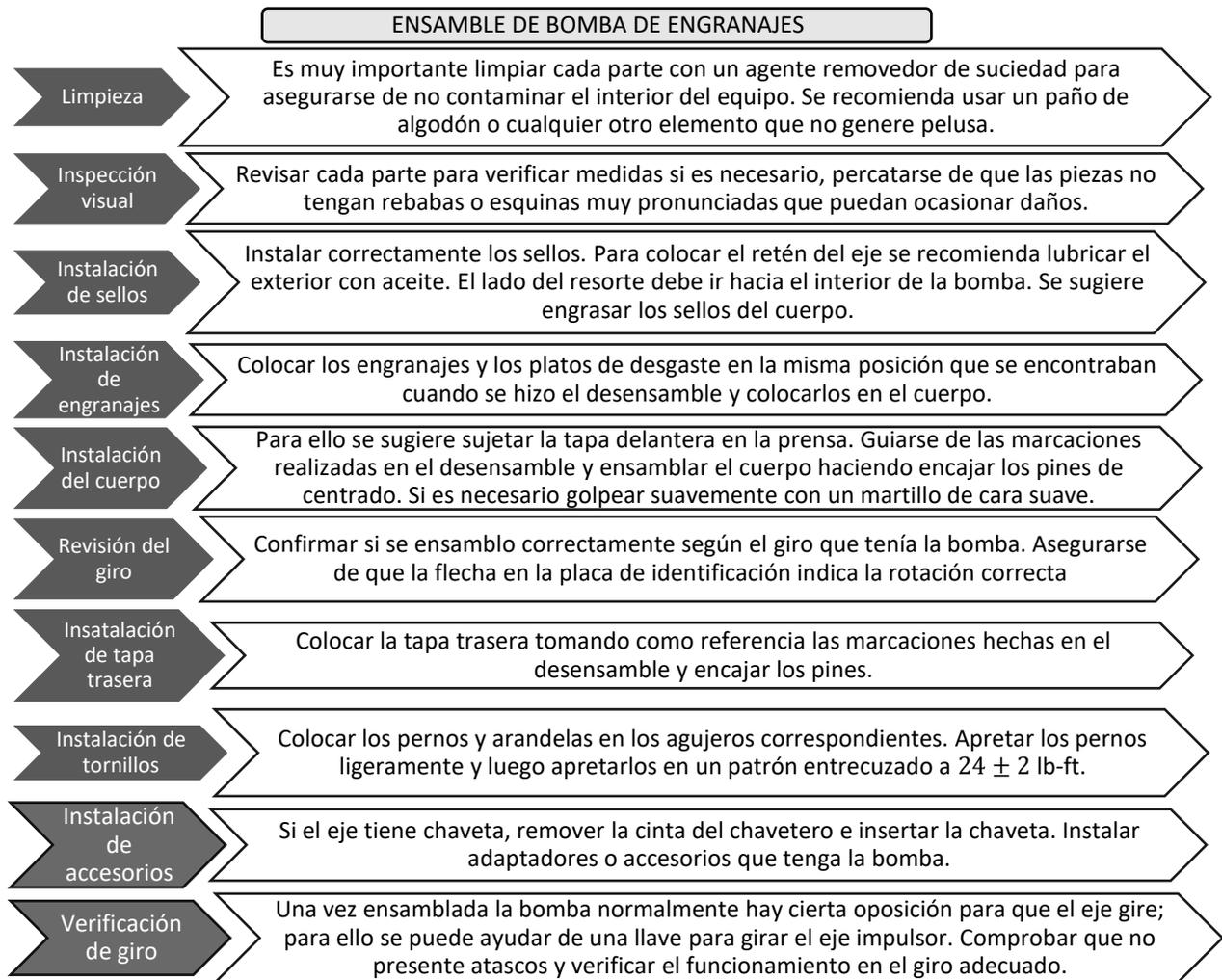


Figura 26. Pasos para Ensamblar una bomba de engranajes.

Para las bombas Parker se debe iniciar colocando el retenedor y luego el rodamiento si lo tiene junto con el pin candado. El torque que se debe aplicar a los tornillos se muestra en la figura 27.

300 Torque Guide	
Series	Lbs-ft
PGP315/PGM315	142
PGP330/PGM330	200
PGP350/PGM350	200
PGP3365	200
PGM365	450

Figura 27. Torque para las bombas Parker Series PGP/PGM 300 series. [15]

### 7.2.3.5. Inspección y reparación

Luego de realizar el desensamble de la bomba, se debe realizar una limpieza y posterior revisión de cada parte; para ello se debe revisar si presentan algún cambio de color, picaduras, rayaduras o alguna muestra de desgaste que pueda ayudar a determinar la posible falla del equipo.

- Revisar el estado del cuerpo es la primera acción que se debe hacer, pues si esta parte se encuentra en mal estado se debe cambiar la bomba completamente para las bombas con cuerpo de aluminio. El cuerpo tiene un área donde los dientes se recuestan y tienen contacto directo, por eso es normal que alrededor de un tercio desde el puerto de succión en ambas direcciones se pueda evidenciar esta zona; sin embargo, si se evidencia un contacto más allá del punto de un tercio con una profundidad apreciable y un acabado superficial áspero o picado o con rayaduras, el cuerpo está dañado.
- Los engranajes normalmente en el eje y las superficies laterales presentan unos signos de contacto y pequeños rasguños leves. Revisar si se presentan signos de rayado, desgaste, picaduras o decoloración debido al calor elevados, pues esto muestra un mal estado de estas partes. Revisar el desgaste en la zona del retenedor y en la sección final del eje en las estrías o chavetas, pues si el desgaste es notable se deben reemplazar.
- Revisar el estado de los bujes. Cuando hay una excesiva presión estos elementos sufren desgaste. Si se reemplazan los engranajes se deben reemplazar los bujes, estos deben tener un ajuste de presión respecto a sus agujeros.
- Las placas de desgaste normalmente exhiben áreas bruñidas y son brillantes debido al contacto que tienen con los engranajes. Revisar si no hay rayaduras significativas o si la superficie es áspera o si hay desprendimiento de bronce; si este es el caso se deben reemplazar.
- Revisar las superficies de acoplamiento entre el cuerpo y las tapas delantera y trasera, generalmente se produce una decoloración por el uso normal. Revisar si presentan algún daño que impida el ajuste perfecto.
- Revisar los sellos de los platos de desgaste y el cuerpo, estos deben tener bordes cuadrados y ser flexibles. Si están deformados o están duros deben ser reemplazados. El retén del eje se sugiere cambiar cada vez que se retira.

De igual forma, se recomienda leer el manual de servicio otorgado por los fabricantes para determinar el estado de las partes de una manera más técnica.

Adicionalmente, cuando se repara una bomba usualmente se debe realizar un cambio de giro; para ello se deben seguir una serie de pasos como se muestra en la *figura 28*.

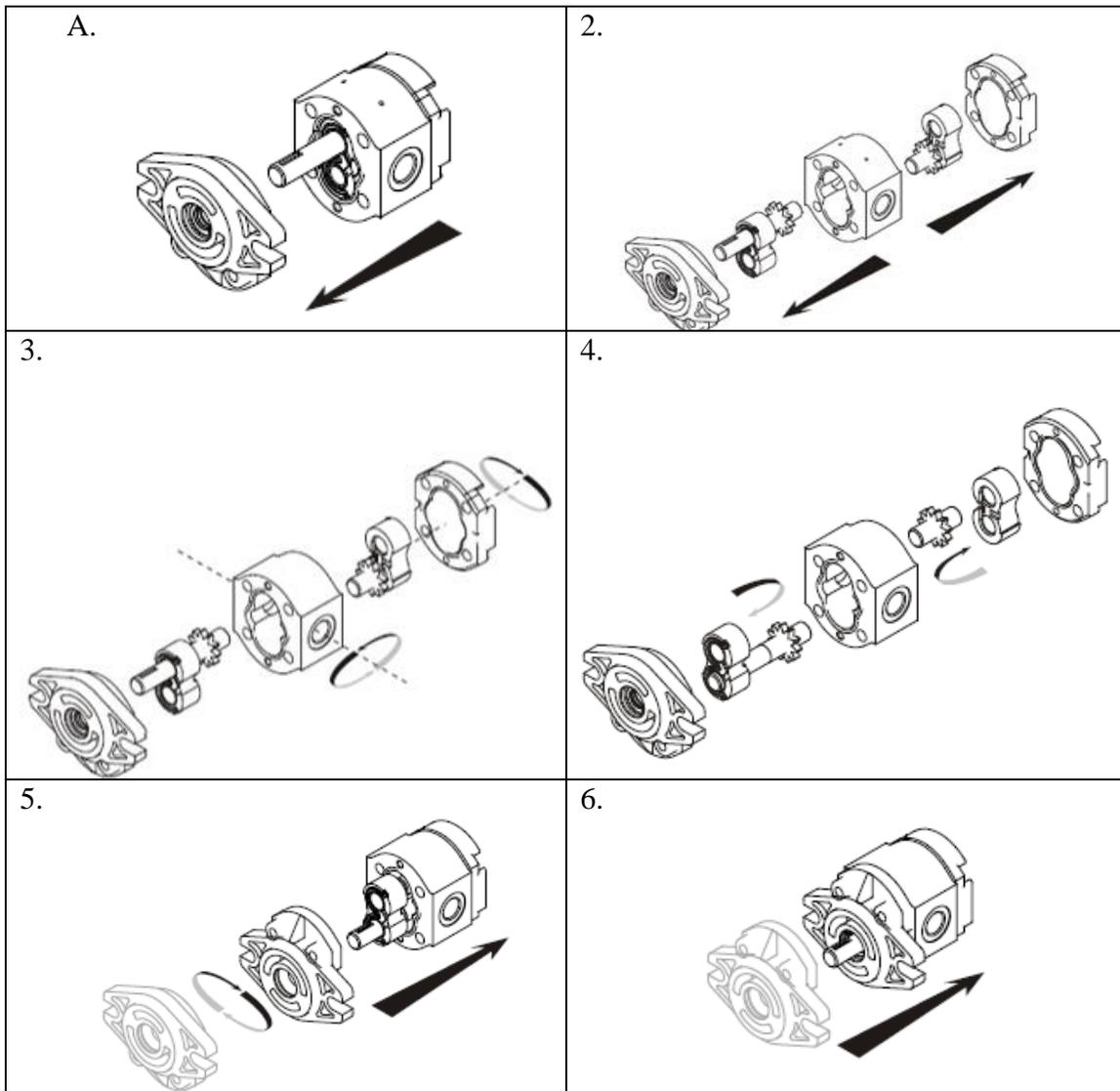


Figura 28. Cambio de giro a bombas de engranajes. [3]

### 7.2.3.6. Posibles fallas

Tabla 15. Posibles problemas presentes en los cilindros hidráulicos [13], [15]

PROBLEMA	CAUSA PROBABLE	SOLUCIÓN POSIBLE
Flujo de aceite bajo o nulo	<b>A.</b> Bajo nivel de aceite en el tanque	Agregar aceite hasta el nivel correcto
	<b>B.</b> Restricción en la línea de succión	Corregir o limpiar la restricción
	<b>C.</b> Bomba no cebada	Asegurarse de que no hay presión en la salida durante el arranque inicial. Asegurarse de que el aceite llegue al puerto de entrada.

	<b>D.</b> Platos de desgaste deformados, dañados o rayados	Reemplazar los platos de desgaste
	<b>E.</b> Fisuras en los puertos del cuerpo	Reemplazar la bomba
	<b>F.</b> Eje de la bomba no alineada o excéntrica	Alinear el accionamiento de la bomba
La bomba no desarrolla la presión completa	<b>A.</b> Placas de desgaste deformadas, dañadas o rayadas	Reemplazar los platos de desgaste
	<b>B.</b> Fisuras en los puertos del cuerpo	Reemplazar la bomba
	<b>C.</b> Desgaste en el cuerpo, eje	Reemplazo de partes o bomba
	<b>D.</b> Presiones excesivas	Ajustar la válvula de alivio
	<b>E.</b> Aire en el aceite	Verificar que las líneas de entrada sean herméticas, el sello del eje, verificar restricciones en la línea de entrada.
La bomba hace ruido	<b>A.</b> Excesiva cavitación o vacío de entrada	Aumentar el tamaño de la línea de succión o eliminar las restricciones. Usar un aceite de viscosidad baja o adecuada, reducir las rpm, Revisar el estado del filtro de succión o cambiarlo por uno más grande
	<b>B.</b> Aire en el aceite	Verificar que las líneas de succión sean herméticas, el sello del eje, verificar las restricciones en la línea de entrada.
Fugas en el sello del eje	<b>A.</b> El sello del eje está desgastado o fue cortado por el eje durante el montaje	Reemplazar el sello del eje
	<b>B.</b> Fluido incompatible con el sello	Utilizar fluidos compatibles
	<b>C.</b> Porosidad de la fundición en la caja del sello en la tapa delantera	Cambiar la tapa delantera
	<b>D.</b> Eje de la bomba no alineada o excéntrica	Alinear el accionamiento de la bomba

#### 7.2.4. Bombas de pistones Rexroth

Estas bombas son más recomendadas que las bombas de engranajes, puesto que las últimas son de desplazamiento constante, haciendo que el fluido que no sea requerido por el sistema para realizar trabajo se tenga que enviar de regreso al depósito de aceite a través de una restricción; esto se traduce en energía que se está convirtiendo en calor, pérdida de energía e incluso un desgaste de los componentes mecánicos del sistema [16]. Estas bombas son de desplazamiento variable, las cuales por medio de diferentes válvulas de control se pueden regular y controlar variables como la presión, la carga o la potencia. Esto representa un

funcionamiento constante sin desperdicio de energía y minimizando el desgaste de los componentes; por otra parte, el control de presión limita la presión de salida.

#### 7.2.4.1. Construcción

Las *figuras 29 a 32* muestran la construcción típica de este tipo de bombas y las partes que la componen respectivamente. Además, este tipo de bombas incluyen válvulas compensadoras de presión y válvulas compensadoras de carga en un control compartido como se muestra en la *figura 32*.



Figura 29. Construcción de las bombas de pistones Rexroth series A10vO [17]

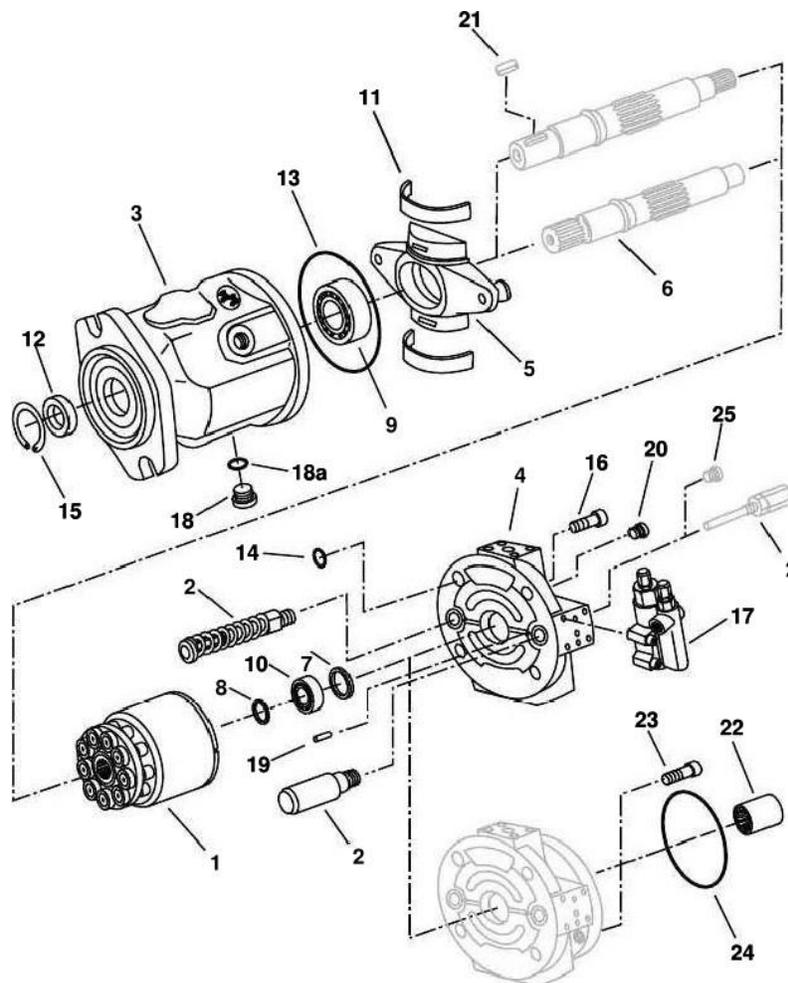
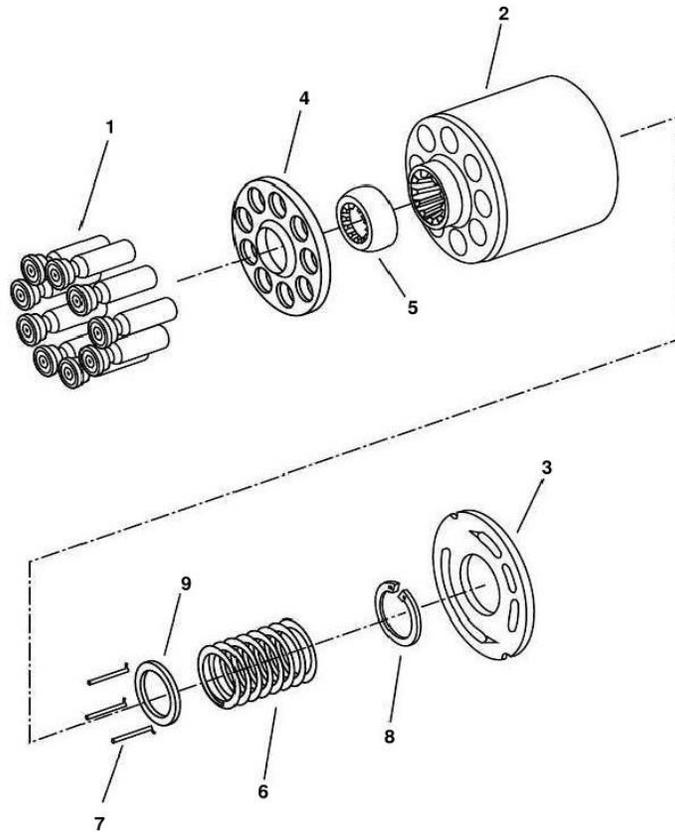


Figura 30. Componentes de la bomba de pistones Rexroth A10VO series 31. [18]

1. Ensamble de conjunto rotativo (Rotary group): Este conjunto de partes son las que se encargan giran en conjunto con el eje y permiten el desplazamiento de fluido por medio de la acción de los pistones recíprocos.
2. Ensamble del pistón de control (Control pistón): Este conjunto de partes permiten modificar el desplazamiento de la bomba al recibir las señales hidráulicas que envían las válvulas de control.
3. Carcasa de la bomba (Pump housing): Es la parte más externa de la bomba, en ella se encuentran alojadas todas las partes.
4. Tapa (Block port): Es por donde ingresa y se descarga el fluido al sistema; vienen con puertos bridados. En ella se encuentra el pistón de control y externamente está sujeta a ella las válvulas de control.
5. Plato oscilante (Swash plate): Esta parte oscila variando la carrera de los cilindros.
6. Eje impulsor (Drive shaft): Transmite la energía suministrada por el motor al grupo rotativo. Puede venir con chaveta o estriado.
7. Arandela (Washer): Sirve como asiento para el rodamiento de rodillos cónicos.
8. Disco de ajuste (Adjusting disc): Da el ajuste para el rodamiento de rodillos cónicos.
9. Rodamiento de rodillos cónicos (Bearing-tapered roller): Elemento que soporta las cargas que se presentan en el eje y permite la rotación libre del mismo.
10. Rodamiento de rodillos cónicos: Elemento que soporta las cargas que se presentan en el eje y permite la rotación libre del mismo.
11. Cojinete (Cradle bearing): Pieza de fricción encargada de disminuir el desgaste en el plato oscilante, permitiéndolo trabajar sin grandes rozamientos.
12. Retén del eje (Shaft seal): Este elemento retiene el fluido hidráulico en el interior de la bomba, evitando fugas al exterior e ingresos de contaminantes al interior.
13. Sello (O-ring): Permite realizar el sellado entre la carcasa y la tapa.
14. Sello (O-ring): Permite realizar el sellado entre la carcasa y la tapa, están ubicados en los agujeros por donde pasan los tornillos.
15. Pin candado (Seeger v- ring): Mantiene fijo el sello del eje.
16. Tornillo (Cap screw): Realiza la fijación entre la carcasa y la tapa.
17. Ensamble de válvulas de control (Control valve assembly): Estas válvulas realizan la compensación de la carga o la presión.
18. Tapón (Plug): Tapona el puerto de drenaje de la bomba.
19. Pasador (Dowel pin): Permiten mantener concéntricas las partes entre la tapa y la carcasa.
20. Tapón (Plug)
21. Chaveta (Key): Elemento que permite la transmisión de torque entre los ejes del motor y la bomba. Sirve como un fusible mecánico del sistema.
22. Acople (Coupling): Este elemento se utiliza en las bombas múltiples para transmitir el torque del eje impulsor al eje de la segunda bomba.
23. Tornillo (Cap screw): Este tornillo realiza la sujeción entre las bombas en el ensamble de bombas múltiples.
24. Sello (O-ring): Permite realizar el sellado entre las bombas en bombas múltiples.
25. Tapón (Plug): Tapona el puerto del pistón de control.

A su vez la *figura 31* muestra las partes que componen el conjunto rotativo.



*Figura 31. Componentes grupo rotativo en bombas de pistones Rexroth A10vO series 31. [18]*

1. Pistón (Pistón): Es el encargado de impulsar directamente el fluido por medio de su movimiento recíprocante al interior del cilindro. En la cabeza del pistón se encuentra la zapata.
2. Bloque de cilindros (Cylinder block): Estos permiten generar la cámara para que el pistón en su movimiento impulse el fluido a desplazar. Este está conectado al eje para girar en conjunto.
3. Plato de válvulas (Valve plate): Este ayuda a direccionar el fluido al ingresar por el puerto de succión y a su vez direcciona el fluido a la salida por el puerto de presión, permitiendo realizar la separación entre las cámaras.
4. Anillo de retención (Retaining plate): Esta parte mantiene fijos a los pistones por medio de las zapatas del pistón. Esta parte define el sentido de giro de la bomba.
5. Guía de bola (Ball guide): Permite la conexión entre el eje y el bloque de cilindros.
6. Resorte (Spring)
7. Pin de presión (Pressure pin): Los pasadores transmiten la fuerza del eje al asiento esférico.

- 8. Pin candado (Snap ring)
- 9. Espaciador (Spacer)

La figura 32 muestra el ensamble del pistón de control:

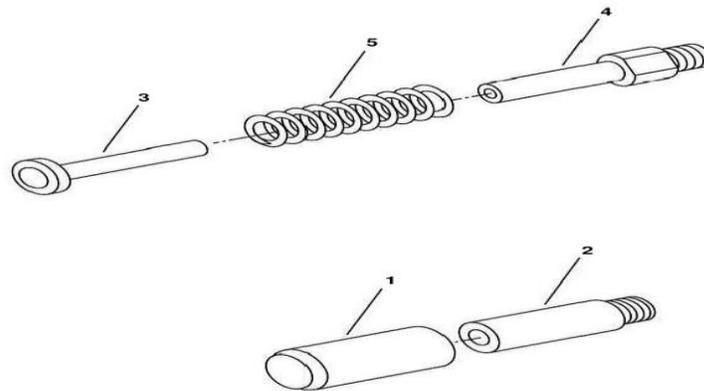


Figura 32. Componentes del pistón de control de las bombas de pistones Rexroth A10vO series 31. [18]

- 1. Pistón de control (Control piston): A este elemento le llega la señal de carga para regular la bomba dependiendo del sensor de carga.
- 2. Guía del pistón de control (Control piston guide) Es la guía para el pistón de control.
- 3. Contrapistón (Counter piston): Se ubica en el pistón de la tapa de la bomba y junto con la guía y el resorte permiten colocar la bomba a máximo caudal.
- 4. Guía de contrapistón (Counter piston guide): Está es la guía para el contrapistón.
- 5. Resorte (Spring): Este resorte permite genera la angulación al máximo de la bomba.

Por su parte la figura 33 muestra los componentes de las válvulas de control:

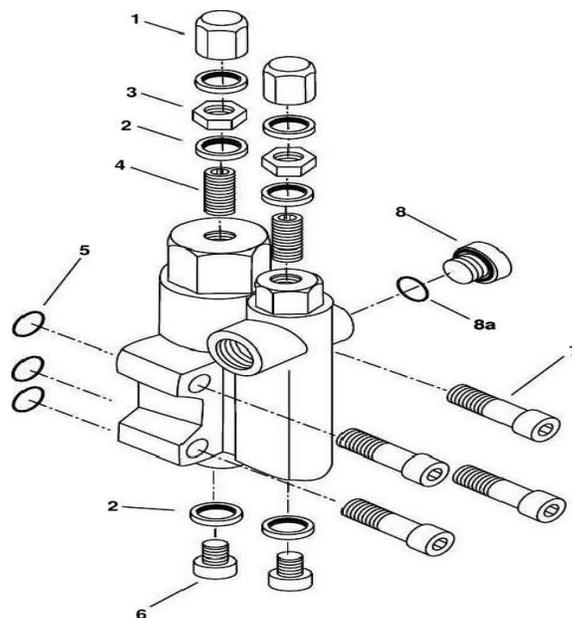


Figura 33. Componentes de válvulas de control en bomba de pistones Rexroth A10vO series 31. [18]

1. Tuerca ciega (Acorn nut)
2. Sello
3. Tuerca (Jam nut)
4. Tornillo de ajuste (Adjusting screw)
5. Sello (O-ring)
6. Tapón (Plug)
7. Tornillo con cabeza (Cap screw)
8. Tapón y sello (Plug and O-ring)

#### **7.2.4.2. Funcionamiento**

El principio de funcionamiento de una bomba de pistones es de un pistón recíproco jalando fluido hacia el interior cuando se retracta y expulsándolo en la siguiente carrera. En estas bombas el bloque de cilindros y el eje impulsor están en la misma línea central y los pistones van y vienen paralelos al eje impulsor. El bloque de cilindros es girado por el eje impulsor. Los pistones que se encuentran ajustados perfectamente en los cilindros son conectados a través de ellos mismos a las zapatas de pistón y un anillo retractor para que así las zapatas se sostengan en contra de un ángulo de la placa oscilante. Cuando el bloque va girando, las zapatas del pistón siguen la placa oscilante, causando que el pistón vaya y venga. Los orificios están arreglados en la placa de válvulas para que los pistones pasen la entrada cuando están siendo empujados y pasan la salida cuando están forzando al fluido ir hacia afuera. Para que se produzca el desplazamiento variable en estas bombas, la placa oscilante está conectada con una horquilla que cambia el ángulo de la placa oscilante para aumentar o disminuir la carrera del pistón; la horquilla puede ser accionada a mano, con un servo control, un control compensador o por otro medio [1].

Es importante recalcar el funcionamiento de los controles que tienen estas bombas y que en la empresa se manejan comúnmente, ya que a medida que su sistema opera las válvulas monitorean las cargas (presiones) en los actuadores (cilindros y motores) y controlan el plato oscilante en consecuencia. Se tienen dos válvulas de control ubicadas y atornilladas en la carcasa exterior de la bomba. El tipo estándar de control utilizado se denomina compensación de caudal y presión, tipo DFR. [16] como se muestra en la *figura 34*. Físicamente, en la bomba se tiene un conducto mostrado en la parte izquierda que va desde la descarga de la bomba dirigiendo fluido a las válvulas de control de carga (parte superior) y a la compensadora de presión (parte inferior); el fluido está empujando los carretes constantemente contra el resorte de las válvulas. El conducto de la mitad es el orificio de control que llega al pistón de control y el conducto de la derecha es un drenaje que llega a la carcasa de la bomba.

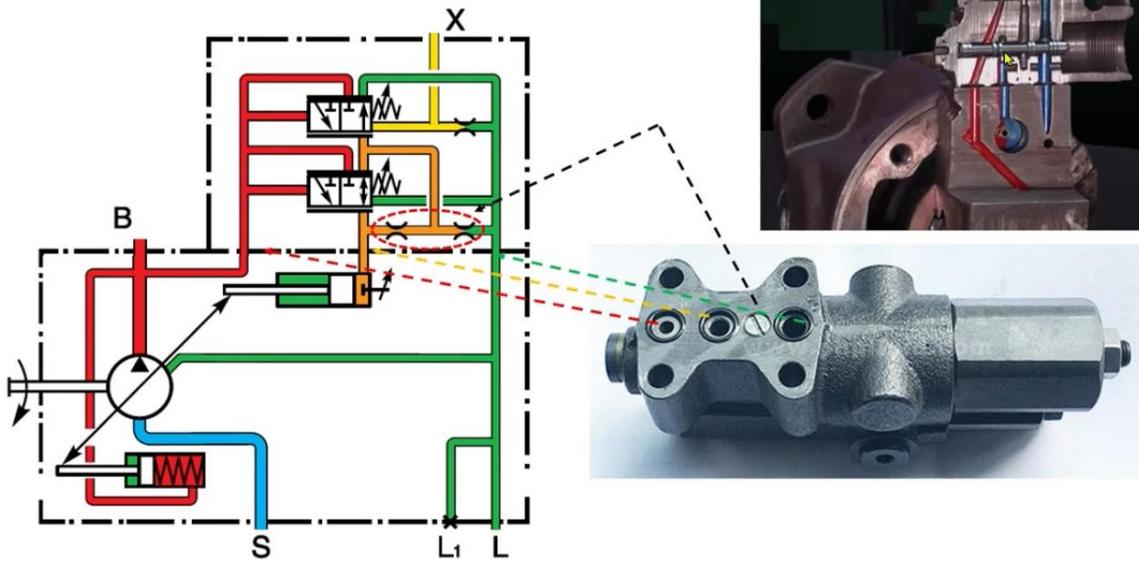


Figura 34. Válvulas de control de las bombas de pistones Rexroth A10VO series 31 [13]

- **Compensador de presión DR**

Su función es ajustar la salida de la bomba a lo que se calibre para desarrollar y mantener la presión preajustada. Esto ayuda a reducir pérdidas de potencia al evitar la operación de la válvula de alivio en el volumen completo de la bomba durante la detención o sujetamiento [1]. Es decir, la válvula compensadora de presión se va a encargar de que cuando la bomba llegue a la presión máxima suministrará el caudal mínimo a alta presión, adicional a que la bomba va a trabajar con el mismo caudal sin importar la presión de operación tal como lo muestra la gráfica de la *figura 35*; adicionalmente se muestra el esquema hidráulico de este tipo de bombas. Para las bombas que se manejan en la empresa las cuales se emplea la válvula DFR, se debe bloquear el regular de caudal para trabajar como una DR.

- **Regulador de presión y caudal DFR**

El control del compensador de flujo y presión, también conocido como control de detección de carga, ajusta el flujo y la presión de salida de la bomba a la demanda del sistema. Cuando no hay demanda del sistema, la bomba permanece a caudal cero y baja presión. Cuando el sistema exige flujo, la bomba entrega solo el flujo requerido por el sistema, a la presión requerida para mover la carga. Para proteger el sistema de presiones de carga infinitas, la sección del compensador de presión del control hará que la bomba deje de correr automáticamente cuando el sistema máximo preajustado se alcanza la presión. Este tipo de bombas el caudal puede variar en infinitas posiciones de acuerdo con la presión de carga que se tenga en el sistema tal como muestra la gráfica de la *figura 36*; adicionalmente se muestra el esquema hidráulico para este tipo de bombas.

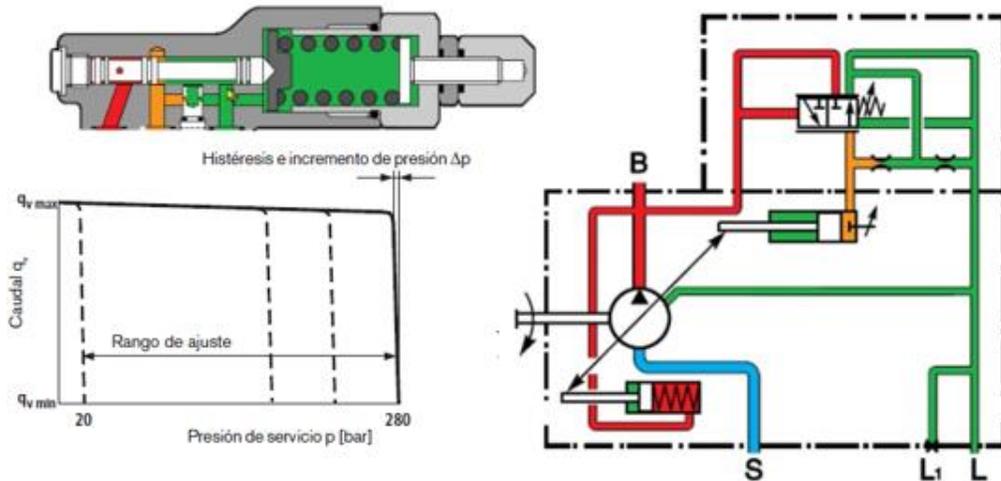


Figura 35. Circuito hidráulico de una bomba con compensador de presión DR [13]

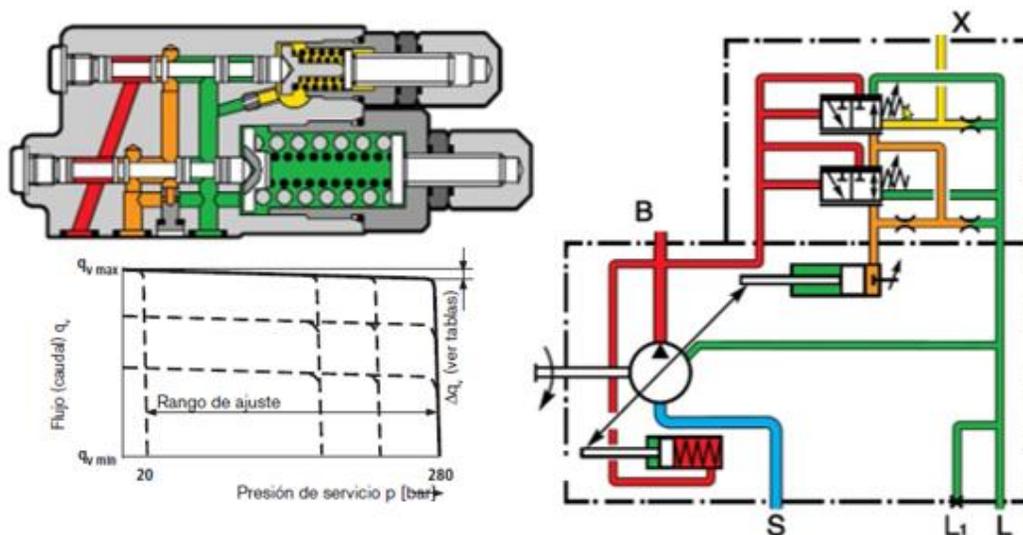


Figura 36. Funcionamiento de las válvulas de control en las bombas Rexroth A10VO series 31 [13]

En este tipo de control se presentan tres estados:

- Estado de arranque de la bomba: Es cuando la bomba hace el arranque inicial y comienza a suministrar fluido por la línea de descarga de la bomba, la línea que está conectada a las válvulas de control acciona el sensor de carga (LS) ya que usualmente se regula a un rango de [15 – 25] bares haciendo que se envíe fluido al pistón de control que pone al plato oscilante para que entregue el caudal mínimo.
- Estado de movimiento de la carga: En este estado se realiza el trabajo del actuador, la señal de presión se conecta por el puerto  $x$  sumándose a la fuerza que ejerce el resorte del LS permitiendo que se active la válvula y el fluido del pistón de control se descargue a tanque aumentando el caudal hasta que recupere el diferencial de presión LS.

- Estado de máxima presión: Es cuando la presión del sistema aumenta hasta donde esté calibrada la bomba siendo el rango de calibración usualmente de [250 – 300] *bares*, cuando esto sucede el control LS se traba y es donde actúa la válvula de compensación de presión permitiendo el paso de aceite al pistón de control que nuevamente coloca el plato oscilante para que entregue el caudal mínimo, pero en este caso sería a alta presión.

### 7.2.4.3. Identificación

La identificación de estos equipos como cualquier otro debería realizarse por medio de la placa de identificación que cada fabricante coloca en los equipos. La *figura 37* muestra una placa característica para este tipo de bombas donde se muestra información del código del modelo, número de serie, el número de la unidad, sentido de rotación, año y lugar de fabricación.

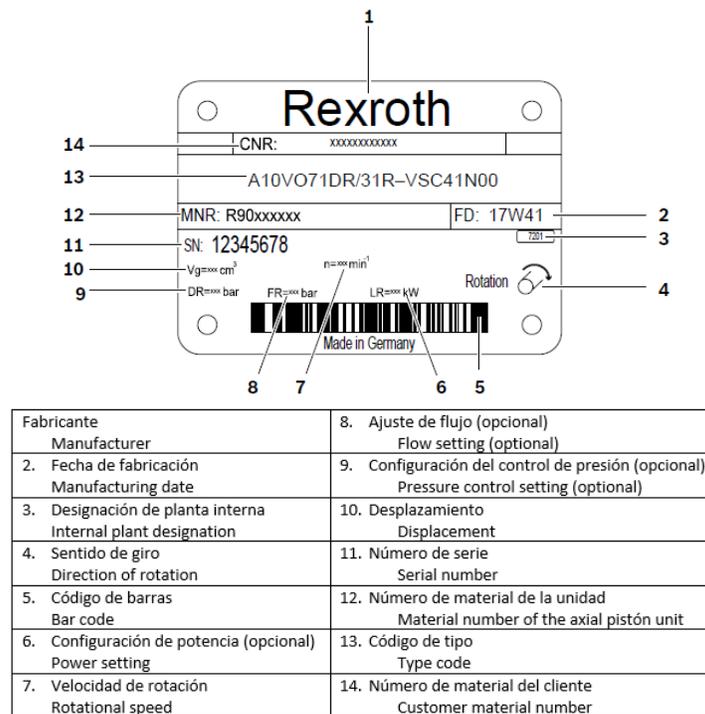


Figura 37. Placa identificadora de las bombas Rexroth A10VO series 31. [18]

Sin embargo, si el equipo no tiene una placa de identificación, la *tabla 16* muestra las principales características con las cuales se pueden identificar este tipo de bombas.

Tabla 16. Identificación de bombas de pistones Rexroth A10VO series 31 [17] y [19]

A10VO28	SAE B 2H	7/8 13Th	28 cm <sup>3</sup>	3000	4100	Succión Bridada 1-1/4"
			22,2 GPM			Presión bridada 3/4"
A10VO45	SAE B 2H	7/8" 13 Th	45 cm <sup>3</sup>	2600	4100	Dreno 3/4"
		1" 15 Th	30,9 GPM			Succión Bridada 1-1/2"
			Presión bridada 1"			
A10VO71	SAE C 2H	1-1/4" 14Th	71 cm <sup>3</sup>	2200	4100	Dreno 7/8"
			41,2 GPM			Succión Bridada 2"
			Presión bridada 1"			
			Sensor LS 7/16"			
A10VO100	SAE C 2H	1-1/4" 14 Th	100 cm <sup>3</sup>	2000	4100	Succión Bridada 2-1/2"
		1-1/2" 17 Th	52,8 GPM			Presión bridada 1-1/4"
			Dreno 1-1/16"			
			Sensor LS 1/4"			
A10VO140	SAE D 4H	1-3/4 13 Th	140 cm <sup>3</sup>	1800	4100	Succión Bridada 2-1/2"
			66,6 GPM			Presión bridada 1-1/4"
			Dreno 1-1/16"			
			Sensor LS 9/16"			

#### 7.2.4.4. Ensamble y desensamble

Las figuras 38, 39, 40 y 41 muestran los pasos que se deben realizar para realizar un correcto ensamble y desensamble de las bombas A10VO series 31 de Rexroth basado en los pasos suministrados por fabricantes. Se recomienda que en el desensamble se mantenga la orientación adecuada de las piezas; por ende, se puede guiar de un dibujo de despiece. Adicionalmente se muestran los pasos para desensamblar el ensamble del control de válvulas.

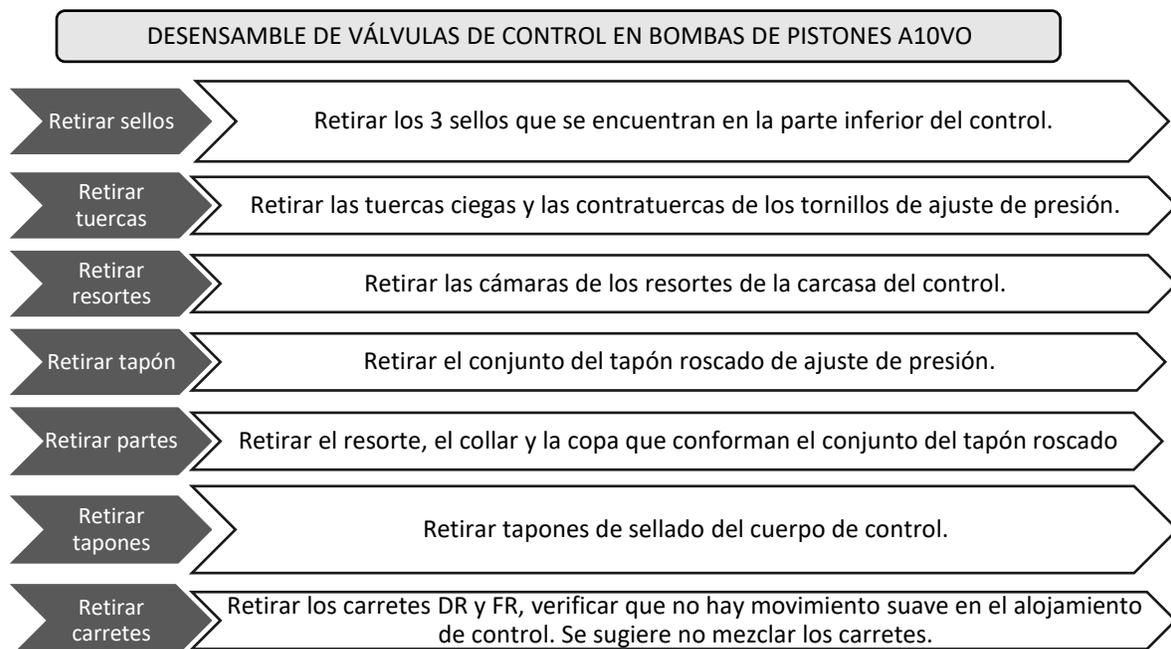


Figura 38. Desensamble de válvulas de control en bombas de pistones Rexroth A10VO series 31

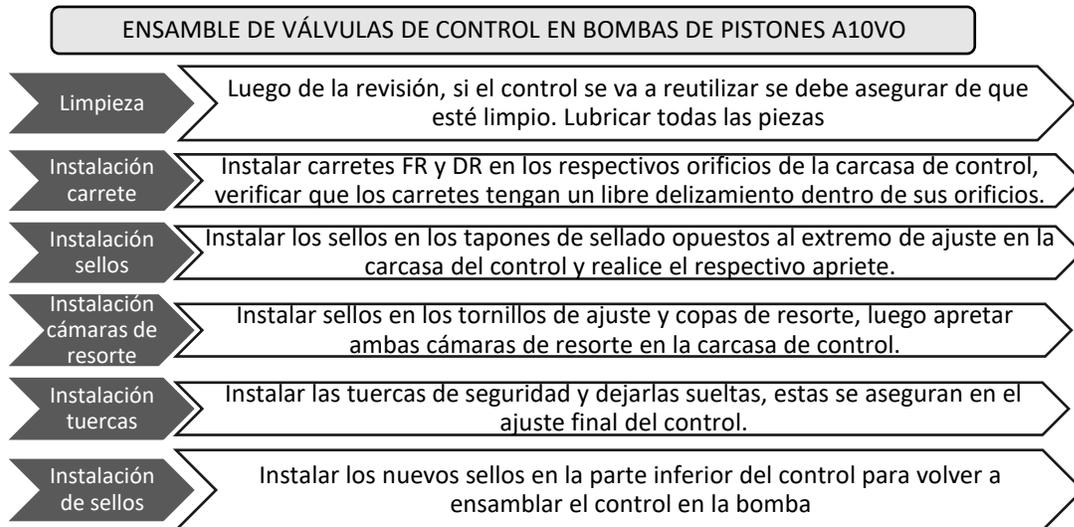


Figura 39. Ensamble de válvulas de control en bombas de pistones Rexroth A10VO series 31



Figura 40. Desensamble de las bombas de pistones Rexroth A10VO series 31.



Figura 41. Ensamble de bomba de pistones Rexroth A10VO series 31

La *tabla 17* muestra los torques recomendados para la fijación de las tapas según el fabricante.

Tabla 17. Torques máximos recomendados por Rexroth [20]

Tamaño	Torque [lb-ft]	Torque [Nm]
A10VSO18	20	27
A10VO28	31	42
A10VO45	53	72
A10VO71	85	115
A10VO100	100	135

#### **7.2.4.5. Inspección y reparación**

Luego de realizar el desensamble de la bomba, se debe realizar una limpieza y posterior revisión de cada parte; para ello se debe revisar si presentan algún cambio de color, picaduras, rayaduras o alguna muestra de desgaste que pueda ayudar a determinar la posible falla del equipo.

- Revisar el estado de la carcasa es la primera acción que se debe hacer, pues si esta parte se encuentra en mal estado se debe cambiar la bomba completamente. Revisar el estado, las zonas donde se ubican los cojinetes o cualquier muestra de fisura indica cambio de la bomba.
- Revisar el conjunto rotativo parte por parte, este es el conjunto que más sufre en las bombas de pistones, pues por excesos de presión o contaminación en el fluido las partes son muy susceptibles a desgaste, rayaduras o picaduras. Evaluar el estado de todo el conjunto ya que usualmente cuando una pieza falla se cambia todo el conjunto.
- Revisar el estado de los bujes. Cuando hay una excesiva presión estos elementos sufren desgaste. Si se reemplazan los ejes los bujes deben ser reemplazados.
- Revisar el estado del plato oscilante. Esta parte es susceptible a desgaste en las zonas de contacto entre el cojinete por falta de lubricación o contaminación del aceite. También suele presentar desgaste en la zona de contacto con el plato retenedor de pistones. Revisar si se puede lapear o si requiere cambio.
- Revisar la tapa, esta puede sufrir desgaste por el contacto con el plato de válvulas o los soportes para las guías del pistón guía o contrapiso pueden sufrir desgastes.
- Siempre que se desensambla la bomba se recomienda cambiar todos los sellos, esto permite ampliar la vida útil del equipo.
- Revisar el eje en la zona del retenedor, en este lugar es muy susceptible a desgaste por el mismo sello. Revisar la punta del eje si no presenta deformación o daño en el chavetero o las estrías del eje.
- Revisar el estado de los rodamientos; sin embargo, siempre que se pueda, se recomienda el cambio de rodamientos.
- Para los controles se debe revisar los tornillos de ajuste de presión para ver si están desgastados o dañados. Inspeccionar los resortes, el collar del resorte y la copa del resorte para ver si están desgastados o dañados. Revisar cuidadosamente los carretes asegurándose de que las áreas de sellado no tengan muescas ni rayones. También revisar los extremos del carrete que están en contacto con el collarín de resorte para ver si están desgastados. Revisar los orificios del carrete dentro de la caja de control para ver si están rayados o tienen un desgaste excesivo.

De igual forma, se recomienda leer el manual de servicio otorgado por los fabricantes para determinar el estado de las partes de una manera más técnica.

## 7.2.4.6. Posibles fallas

Tabla 18. Posibles fallas de las bombas de pistones Rexroth A10VO series 31 [21]

Falla	Posible causa	Posible solución
Ruidos inusuales	Purga de aire insuficiente del sistema hidráulico	Llenar la unidad de pistones axiales, la línea de succión para la bomba hidráulica y el depósito
		Purgar completamente el aire de la unidad de pistones axiales y del sistema hidráulico
		Comprobar que la posición de instalación de la bomba sea la correcta
	Condiciones de succión insuficientes, por ejemplo, dimensionamiento insuficiente de la tubería de succión, viscosidad del fluido hidráulico demasiado alta, altura de succión demasiado baja, partículas extrañas en la tubería de succión, filtro no permitido en la tubería de succión	optimizar las condiciones de entrada, utilizar fluido hidráulico adecuado
		Llenar la línea de succión con fluido hidráulico
		Eliminar partículas extrañas de la línea de succión
	Velocidad de conducción demasiado alta	reducir la velocidad de conducción
	Sentido de giro incorrecto	comprobar el sentido de giro
	Montaje incorrecto de la unidad de pistones axiales	Comprobar el montaje de la unidad de pistones axiales de acuerdo con las especificaciones del fabricante de la máquina/instalación – tener en cuenta los pares de apriete
	Montaje incorrecto de piezas ensambladas, líneas hidráulicas o instalación incorrecta del acoplamiento	Desensamblar para revisar el error en el montaje o revisión de las líneas incorrectas
Vibraciones de válvulas y controladores	Optimizar el ajuste de la unidad de pistones axiales y la limitación de presión en el sistema hidráulico	
Daños mecánicos en la unidad de pistones axiales)	Sustitución de las partes o la unidad completa	
Aumento inusual de la vibración Flujo nulo o insuficiente	Rodamientos desgastados	Reemplace los rodamientos y revise el estado del eje y cojinetes.
	Purga de aire insuficiente del sistema hidráulico	Llenar la unidad de pistones axiales, la línea de succión para la bomba hidráulica y el depósito
		Purgar completamente el aire de la unidad de pistones axiales y del sistema hidráulico
	Accionamiento mecánico defectuoso (por ejemplo, acoplamiento defectuoso)	Desensamble y revisión de las partes
	Velocidad de conducción demasiado baja	Revisar parámetros de operación y características de equipo para saber si cumplen
	Condiciones de succión insuficientes, por ejemplo, dimensionamiento insuficiente de la tubería de succión, viscosidad del fluido hidráulico demasiado alta, altura de succión demasiado alta, presión de succión demasiado baja, partículas extrañas en la tubería de succión, filtro no permitido en la tubería de succión	optimice las condiciones de entrada, utilice fluido hidráulico adecuado
Llenar la línea de succión con fluido hidráulico		
Eliminar partículas extrañas de la línea de succión		

	El fluido hidráulico no está en el rango de viscosidad óptimo	comprobar el rango de temperatura y utilizar fluido hidráulico adecuado
	Presión piloto o presión de control insuficiente	Comprobar la presión piloto o la presión de control
	Mal funcionamiento del dispositivo de control de la unidad de pistones axiales	Desensamblar y revisar o cambiar
	Dispositivo de control defectuoso	Comprobar estado del control desensamblar y revisando parte por parte
	Desgaste o daño mecánico de la unidad de pistones axiales	Reemplace las partes o la unidad completa
Presión nula o insuficiente	Purga de aire insuficiente del sistema hidráulico	Llenar la unidad de pistones axiales, la línea de succión para la bomba hidráulica y el depósito
		Purgar completamente el aire de la unidad de pistones axiales y del sistema hidráulico
		Comprobar que la posición de instalación de la bomba sea la correcta
	Accionamiento mecánico defectuoso (por ejemplo, acoplamiento defectuoso)	Desensamble y revisión de las partes
	Potencia de accionamiento demasiado baja	Revisar los requerimientos del sistema y las características de la unidad
	Condiciones de succión insuficientes, por ejemplo, dimensionamiento insuficiente de la línea de succión, viscosidad del fluido hidráulico demasiado alta, altura de succión demasiado alta, presión de succión demasiado bajo, partículas extrañas en la línea de succión, filtro no permitido en la línea de succión	optimice las condiciones de entrada, utilice fluido hidráulico adecuado
		Llenar la línea de succión con fluido hidráulico
	Eliminar partículas extrañas de la línea de succión	
	El fluido hidráulico no está en el rango de viscosidad óptimo	comprobar el rango de temperatura y utilizar fluido hidráulico adecuado
	Presión piloto o presión de control insuficiente	Comprobar la presión piloto o la presión de control
	Mal funcionamiento del dispositivo de control o controlador de la unidad de pistones axiales	Desensamblar y revisar o cambiar
	Dispositivo de control defectuoso	Comprobar estado del control desensamblar y revisando parte por parte
	Desgaste o daño mecánico de la unidad de pistones axiales	Reemplace las partes o la unidad completa
Unidad de salida defectuosa (por ejemplo, motor hidráulico o cilindro)	Revisar el diseño del sistema hidráulico	
Fluctuaciones inestabilidades de presión/caudal	Purga de aire insuficiente del sistema hidráulico	Llenar la unidad de pistones axiales, la línea de succión para la bomba hidráulica y el depósito
		Purgar completamente el aire de la unidad de pistones axiales y del sistema hidráulico
		Comprobar que la posición de instalación de la bomba sea la correcta
	Condiciones de succión insuficientes, por ejemplo, dimensionamiento insuficiente de la línea de succión, viscosidad del fluido	optimice las condiciones de entrada, utilice fluido hidráulico adecuado

	hidráulico demasiado alta, altura de succión demasiado alta, presión de succión demasiado bajo, partículas extrañas en la línea de succión, filtro no permitido en la línea de succión	Llenar la línea de succión con fluido hidráulico
		Eliminar partículas extrañas de la línea de succión
	La válvula y el controlador vibran	Optimice el ajuste de la unidad de pistones axiales y la limitación de presión en el sistema hidráulico
	Señal de control inestable	Reemplace el control y pruebe con el nuevo
	Mal funcionamiento en los dispositivos de control o en el controlador	Desensamblar y revisar o cambiar
Temperatura excesivamente alta del fluido hidráulico y la carcasa	Temperatura de entrada demasiado alta en la unidad de pistones axiales	inspección del sistema, mal funcionamiento en el enfriador, fluido hidráulico insuficiente en el depósito
	Ajuste incorrecto o mal funcionamiento en las válvulas de alivio de presión y de control de presión (por ejemplo, válvula de alivio de alta presión, corte de presión, controlador de presión)	Optimice el ajuste de las válvulas limitadoras y reguladoras de presión de la unidad de pistones axiales y la protección de presión en el sistema hidráulico
	Unidad de pistones axiales desgastada	Reemplace la unidad de pistones axiales

### 7.3.Motores hidráulicos

Los motores hidráulicos son elementos hidráulicos recíprocos a las bombas, es decir estos trabajan de forma inversa recibiendo la energía hidráulica entregada por una bomba y transformándola en energía mecánica de rotación para su funcionamiento obteniendo un par y movimiento rotacional en un eje; es por eso por lo que la potencia que generen estos elementos dependerá del par rotacional y está relacionado a la presión que ingrese al motor. En otras palabras, el motor será igual de eficiente si la bomba lo es. Los motores, al igual que los cilindros son actuadores hidráulicos; pero la diferencia es que el primero desarrolla un movimiento rotativo mientras que el segundo uno lineal y deben tener un drenaje externo por las pérdidas que se presentan.

#### 7.3.1. Características técnicas

Estas se definen con el fin de garantizar un diseño y selección de motor para las diferentes exigencias que se requieran. Las características para un motor son: velocidad de giro, torque, potencia, presión de trabajo y desplazamiento del motor y se mencionan a continuación [8]:

- Esta característica puede dividir a los motores en dos tipos: marcha rápida (500 a 1000 rpm) y marcha lenta (0,5 a 100 rpm).
- El torque que puede ser entregado por un motor depende del desplazamiento y la diferencia de presión que se presente en el motor. Los de marcha lenta normalmente tienen la ventaja de que entregan momentos elevados a velocidades reducidas. No se requiere de movimiento para generar un par.

- La potencia entregada depende del caudal y la diferencia de presión que se presente en el motor. A su vez, dado que la potencia está relacionada directamente con la velocidad de rotación, los motores de marcha rápida son los adecuados para aplicaciones de gran exigencia.
- El desplazamiento es la cantidad de fluido que acepta el motor por cada revolución y está directamente relacionado con el tipo de construcción que se tenga.
- La presión que se requiera en un motor depende de la carga de la torsión y del desplazamiento. Un motor de gran desplazamiento desarrolla una torsión determinada con menor presión que otra unidad más pequeña.

### **7.3.2. Tipos**

Existen diferentes construcciones para los motores que intentan suplir diferentes exigencias en la industria; sin embargo, en este documento nos centraremos en los motores seleccionados, siendo los motores de tipo orbital (gerotor) del fabricante CHAR-LYNN EATON.

### **7.3.3. Motores tipo G rotor**

Son motores de baja velocidad y par elevado, tienen un rendimiento volumétrico y mecánico elevado con relación a sus pares de arranque y funcionamiento. Tienen la ventaja de arrancar suavemente bajo carga y suministrar el par total en todo el intervalo de funcionamiento.

### **7.3.4. Construcción**

De las principales ventajas que se tienen en este tipo de construcciones es una opción de funcionamiento libre que se logra utilizando un conjunto gerotor/geroler especialmente maquinado con precisión. Esta característica aumenta el espacio libre entre la estrella y el anillo de acoplamiento, lo que permite que el motor gire más libremente con menos arrastre mecánico. El aumento de la holgura también mejora la lubricación a través de las superficies de desgaste de la estrella y el anillo del gerotor y proporciona una mayor ruta de flujo para aliviar la presión y reducir los picos de presión. El flujo se desvía internamente a través de las puntas de estrella, lo que reduce las cargas de choque en los componentes principales de la transmisión. Esta característica proporciona un método eficaz para reducir las cargas de impacto en los componentes principales de la transmisión pues ayuda a reducir los picos de presión [22].

Su construcción está basada en el principio de orbital, en el cual se presentan dos construcciones: geroler y gerotor tal como se muestra en la *figura 42*. Esencialmente, un geroler, tiene rodillos agregados al estator del juego de engranajes tipo Orbital. Estos rodillos actúan como cojinetes para reducir la fricción, aumentar la eficiencia mecánica y reducir el desgaste en sistemas con baja viscosidad del fluido. Además, el tipo Geroler normalmente proporciona un rendimiento más suave en condiciones de baja velocidad; es por ello por lo que para las aplicaciones que funcionan a menos de 100 rpm se deben considerar el uso de un motor Geroler.

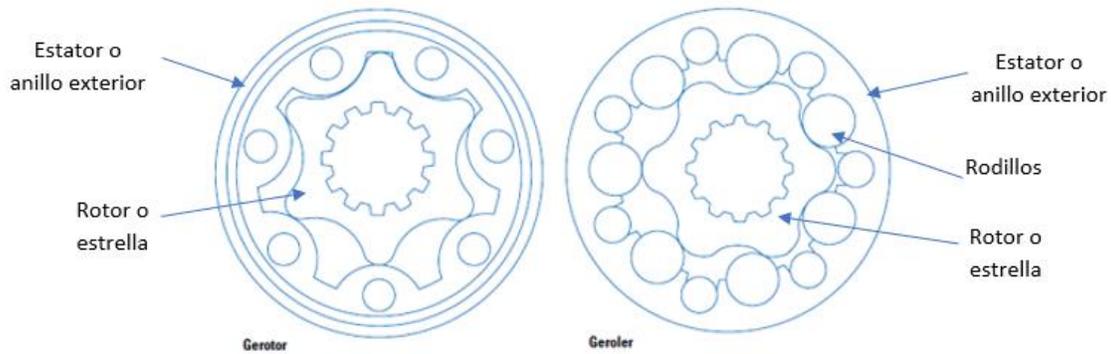


Figura 42. Construcción tipo Gerotor y Geroler [22]

Básicamente solo se necesitan 3 componentes móviles principales para transmitir el par a través del motor: estrella, transmisión y el eje de salida. Existen 3 tipos principales de variaciones según el tipo de válvula utilizada para distribuir el fluido a través del conjunto de engranaje tipo orbital; estos 3 tipos son: válvulas de carrete, válvulas de disco y válvulas en estrella (VIS); sin embargo, para los equipos intervenidos en la empresa solo se presentan las válvulas de carrete y válvulas de disco.

- **Válvulas tipo carrete**

La tecnología de válvulas de carrete se usa típicamente donde más se necesitan soluciones compactas y económicas, distribuyendo fluido presurizado dentro y fuera del conjunto de engranajes tipo orbital (Gerotor o Geroler) a través de ranuras de válvula integradas en el eje de salida. Los motores de válvulas de carrete incorporan rodamientos lisos hidrodinámicos y de válvulas en un diseño de eje común. La sección de la válvula (válvula de carrete) se puede optimizar para necesidades de bajo flujo y baja velocidad utilizando una opción de carrete de baja velocidad para mejorar el rendimiento de funcionamiento suave. La rotación del eje del motor se puede invertir instantáneamente cambiando la dirección del flujo de entrada/salida mientras se genera un par igual en cualquier dirección, su construcción se muestra en la figura 43 [22].

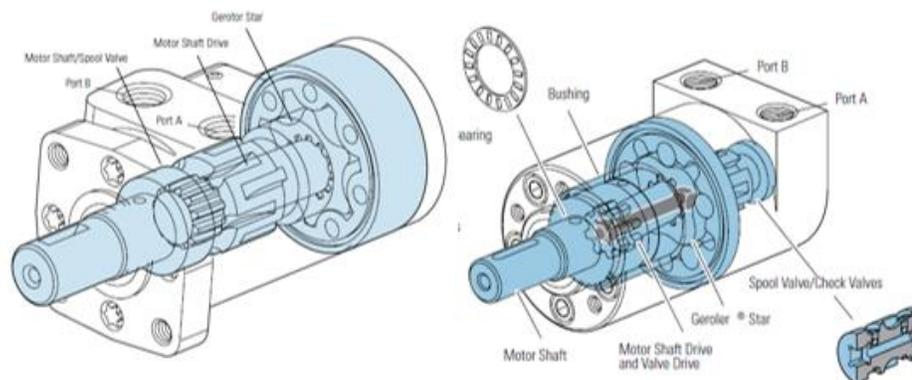
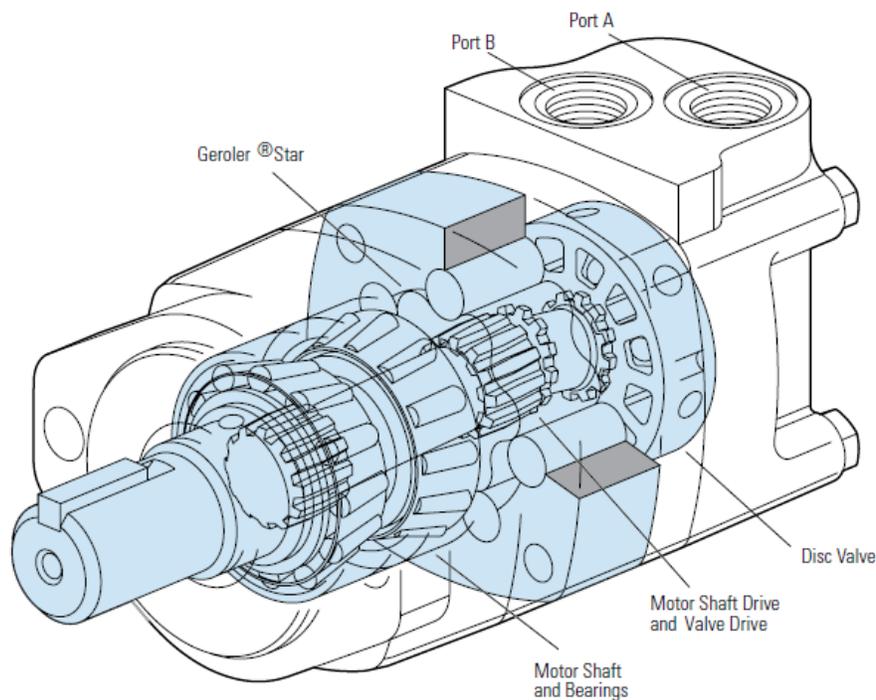


Figura 43. Construcción de motores tipo orbital con válvulas de carrete.[22]

- **Válvulas de disco**

Son motores de alta torsión y baja velocidad a partir de un elemento Gerotor de bomba que consiste en un anillo de engranaje interno y un engranaje de acoplamiento o estrella. Mientras se conecta la corona dentada interna a la carcasa como una pieza no móvil, se canaliza aceite para presurizar y girar la estrella interna en una órbita alrededor de un punto central. Esta estrella de giro lento, junto con una transmisión estriada al eje de salida, desarrollan el funcionamiento de estos motores. Este motor tiene rodillos incorporados en la corona dentada interna, este elemento se identifica con el nombre Geroler y puede presentar ciertas variaciones dependiendo de la serie; sin embargo, el principio de funcionamiento sigue siendo el mismo y han conseguido un rendimiento muy óptimo con un diseño muy simple tal como se muestra en la *figura 44*.



*Figura 44. Construcción motores tipo orbital con válvulas de disco. [22]*

Estos motores tienen diferentes construcciones, pues son quizá los motores más destacados por sus ventajas, es por eso por lo que se tienen diferentes familias para este tipo de motores y cada uno varía en su construcción. En este documento apenas se presenta el despiece de los motores Eaton 2000 series mostrados en la *figura 45*, pues son los motores más intervenidos a diferencia de las otras familias para este tipo de motores. Se recomienda la investigación de despieces de las otras familias para comprender mejor su construcción.

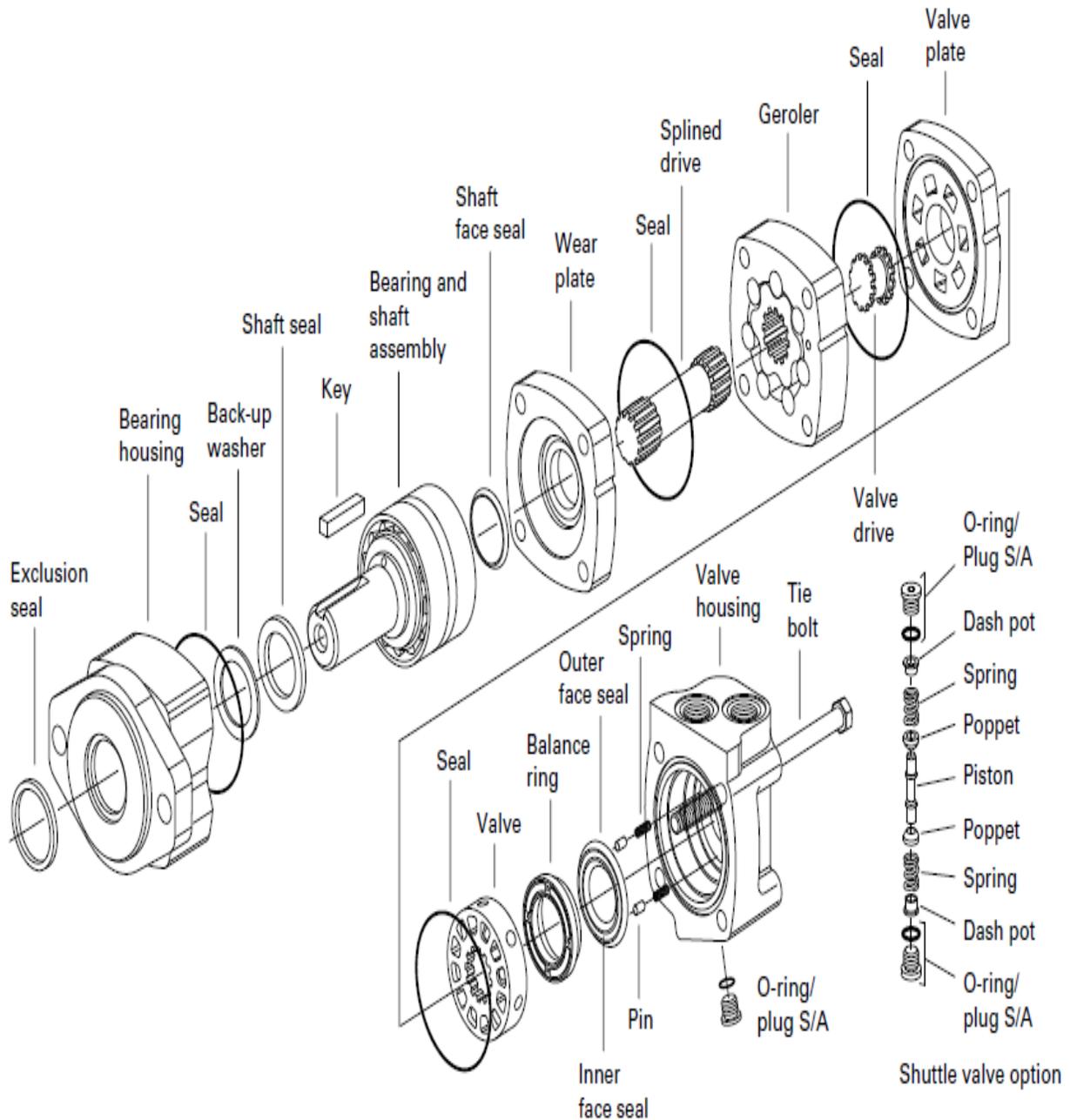


Figura 45. Componentes motores Eaton 2000 Series [22]

### 7.3.5. Funcionamiento

Básicamente los principales componentes móviles para la transmisión del par en este tipo de motores son el sistema orbital (rotor, estator y si es el caso rodillos), el eje estriado que transmite el torque desde el sistema orbital y el eje de salida que recibe esa transmisión de torque. El fluido ingresa al motor por los puertos y pasan a través de las válvulas ya sean de disco o carrete y direccionan el fluido al interior del conjunto rotor – estator. Para que se genere este ingreso de fluido, se tiene una excentricidad tal como se muestra en la figura 46.

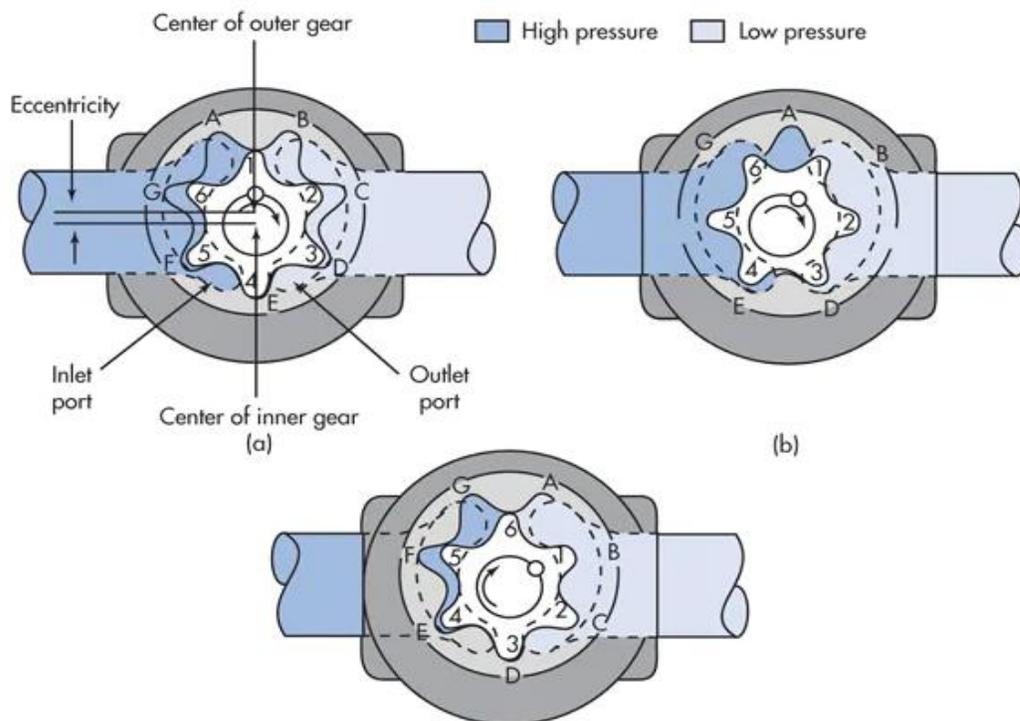


Figura 46. Excentricidad en motores tipo orbitales [23]

En la figura se puede observar que el rotor tiene un diente menos que el estator y siempre debe estar en contacto con los dientes del estator; hay un diente que siempre se opone a un diente del estator dividiendo la en dos cámaras (zona de alta presión y zona de baja presión). Las válvulas sea el tipo que sea, llevan el fluido de la entrada a la cámara de alta presión y el fluido de baja presión es transportado de regreso a través de éstas hacia el puerto de salida. A medida que aumenta la presión, el diente del rotor que se opone es forzado a salir del diente del estator como se puede observar en la *figura 46* en el diente 6; esto hace que el rotor y si es el caso la válvula rotativa giren haciendo girar ligeramente el eje de salida que está conectado al rotor por el eje de acoplamiento (eje estriado). También se desplaza ligeramente el fluido en el lado opuesto (zona de baja presión) siendo forzado a través de la válvula hacia el puerto de salida. A medida que el rotor se mueve al siguiente diente y el diente del rotor se pon al diente del estator, la válvula permite que el fluido entre a la cámara de alta presión en su nueva posición y el ciclo comienza de nuevo.

Estos ciclos hacen que el rotor gire alrededor del interior del estator; por cada órbita que hace el rotor, esta gira un diente en relación con el estator, por lo que la diferencia de dientes hacen necesario entre 6 a 8 órbitas (dependiendo del diseño del estator y rotor) para completar una rotación del eje de salida; esto es lo que genera la reducción de velocidad en un rango de 6 - 8:1 y a su vez se tiene una multiplicación similar del par de salida que puede entregar el motor. El par es la razón de la presión contra el costado del rotor en la cavidad entre el estator y rotor.

En el motor geroler se opera de igual forma, la única diferencia es que en este caso un diente del rotor siempre estará opuesto a un rodillo del estator generando la división de cámaras. Para estos motores, el diámetro y ancho del rotor definen el área para que la presión actúe en contra y se genere la torsión.

La diferencia entre la construcción de las válvulas es que las válvulas de carrete se utilizan para cronometrar y controlar con precisión el flujo a través del conjunto de engranajes tipo orbital (Gerotor o Geroler). El flujo de entrada se dirige hacia adentro y hacia afuera del conjunto orbital a través de ranuras en el carrete y pasajes a través de la carcasa del motor. Las series H y S (ver sección 7.3.3.3 de este documento) incorporan la válvula de carrete y cojinetes hidrodinámicos en el eje del motor. Debido a su tamaño compacto y su capacidad de alta velocidad, la serie J es única y utiliza un carrete independiente y un accionamiento de válvula de carrete dedicados [22]; mientras que las válvulas de disco incorporan un sistema similar al de las bombas de pistones, en el cual las válvulas tienen que girar para realizar su funcionamiento.

### 7.3.6. Identificación

La identificación como todo componente hidráulico se debe hacer por medio de la placa de identificación tal como se muestra en la *figura 47*.

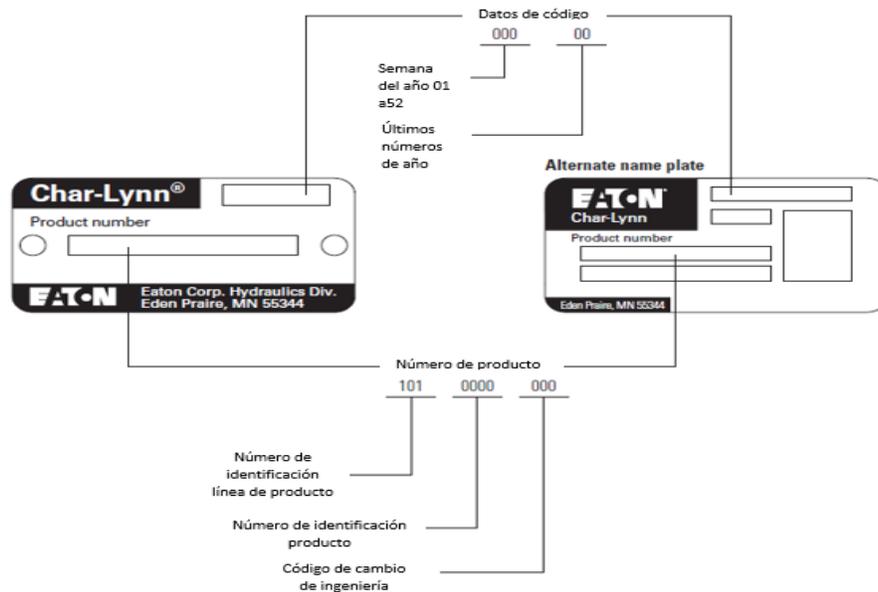


Figura 47. Placa identificación motores tipo orbital Char-Lynn Eaton. [22]

A su vez, ya que estos motores tienen muchas series y cada una diferentes tipos según el desplazamiento y características como el tipo de montaje, eje o puertos, se aconseja revisar el catálogo dependiendo la serie que se tenga para realizar una correcta identificación. El fabricante suministra tablas como la que se presenta en la *figura 48* para tal fin.

MOUNTING SHAFT	PORT SIZE	DISPL. cm <sup>3</sup> /r [In <sup>3</sup> /r]	PRODUCT NUMBER										
			41* [2.5]	80 [4.9]	90 [5.5]	100 [6.2]	130 [8.0]	160 [9.6]	195 [11.9]	245 [14.9]	305 [18.7]	395 [24.0]	490 [29.8]
2 Bolt SAE A Flange	1 Inch Straight	7/8 -14 O-ring Staggered	104-4708	-1001	—	-1002	-1003	-1004	-1005	-1006	-1007	-1143	—
		1 1/16 -12 O-ring 180° Apart	104—	-1037	—	-1038	-1039	-1040	-1041	-1042	-1043	-1044	—
	1 1/4 Inch Straight	7/8 -14 O-ring Staggered	104-4774	-1022	—	-1023	-1024	-1025	-1026	-1027	-1028	-1228	-1420
		1 1/16 -12 O-ring 180° Apart	104—	-1061	—	-1062	-1063	-1064	-1065	-1066	-1067	-1068	-1421
	1 1/4 Inch - 14 T Splined	7/8 -14 O-ring Staggered	104-4764	-1029	—	-1030	-1031	-1032	-1033	-1034	-1035	-1229	-1422
		1 1/16 -12 O-ring 180° Apart	104—	-1087	—	-1088	-1089	-1090	-1091	-1092	-1093	-1094	-1423
2 Bolt SAE B Flange	1 1/4 Inch Straight	7/8-14 O-ring Staggered	104—	-1200	—	-1201	-1202	-1203	-1204	-1205	-1206	-1207	—
	1 1/4 Inch Involute SAE C Splined	7/8 -14 O-ring Staggered	104—	-1208	—	-1209	-1210	-1211	-1212	-1213	-1214	-1215	—
	1 Inch SAE 6B Splined	7/8 -14 O-ring Staggered	104—	-1193	—	-1194	-1195	-1196	-1197	-1198	-1199	—	—
	7/8 Inch SAE B Splined	7/8 -14 O-ring Staggered	104—	-1216	—	-1217	-1218	-1219	-1220	—	—	—	—
Standard with 4 Bolt Flange	32 mm Straight	G 1/2 (BSP)	104-4672	-1384	—	-1385	-1386	-1387	-1388	-1389	-1390	-1391	—
	1 1/4 Inch 14 T Splined	G 1/2 (BSP)	104—	-1376	—	-1377	-1378	-1379	-1380	-1381	-1382	-1383	—
Wheel Motor	1 1/4 Inch Straight	7/8 -14 O-ring Staggered	105—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	-1148
		1 1/16 -12 O-ring 180° Apart	105—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	32 mm Straight	G 1/2 (BSP)	105—	-1134	—	-1135	-1136	-1137	-1138	-1139	-1140	-1141	—
		7/8 -14 O-ring Staggered	105—	-1001	—	-1002	-1003	-1004	-1005	-1006	-1007	-1060	-1152
	1 1/4 Inch Tapered	1 1/16 -12 O-ring 180° Apart	105—	-1071	—	-1072	-1073	-1074	-1075	-1076	-1077	-1078	—
		7/8 -14 O-ring Staggered	105—	-1029	—	-1030	-1031	-1032	-1033	-1034	-1035	-1096	—
1 1/4 Inch 14 T Splined	1 1/16 -12 O-ring 180° Apart	105—	-1079	—	-1080	-1081	-1082	-1083	-1084	-1085	-1086	—	
	7/8 -14 O-ring Staggered	106—	-1008	—	-1009	-1010	-1011	-1012	-1013	-1014	-1015	-1047	
Bearingless	G 1/2 (BSP)	7/8 -14 O-ring Staggered	106—	-1008	—	-1009	-1010	-1011	-1012	-1013	-1014	-1015	-1047
		7/8 -14 O-ring Staggered	106—	-1038	—	-1039	-1040	-1041	-1042	-1043	-1044	-1045	—

Figura 48. Identificación del tipo de producto motores Char-lynn Eaton. [22]

Si se presenta el caso donde el motor no tiene placa de identificación, el motor se puede identificar caracterizar a partir del desplazamiento, tipo y tamaño de eje, tipo de brida de montaje, tipo de puertos y características especiales como frenos integrados, sensores, válvulas de alivio cruzadas integradas, capacidad de 2 velocidades entre otras.

Se diseña una tabla que permite ayudar a identificar el tipo de motor que se está interviniendo con base en los motores intervenidos en la empresa a partir del tipo de conjunto de engranajes (Geroler o gerotor), el tipo de válvulas que presenta, y una identificación de la familia, que puede facilitar la consulta en un catálogo del fabricante en busca de información técnica requerida. Se debe especificar que determinar el desplazamiento de este tipo de motores es muy fácil pues solo consiste en determinar la altura del estator y el rotor.

Tabla 19. Características para la identificación de un motor tipo orbital. [22]

SERIE	NUMERO LINEA DE PRODUCTO	TIPO DE MOTOR	TIPO DE VALVULA
SERIES H	101-	Gerotor	Válvula de carrete
SERIES S	103-	Geroler	Válvula de carrete
2000 SERIES	104-, 105-, 106-,	Geroler	Válvula de disco
4000 SERIES	109-, 110-, 111-,	Geroler	Válvula de disco
6000 SERIES	112-, 113-, 114-,	Geroler	Válvula de disco
10.000 SERIES	119-, 120-, 121-,	Geroler	Válvula de disco
J SERIES	129 -	Geroler	Válvula de carrete

### 7.3.7. Ensamble y desensamblaje



Figura 49. Desensamblaje de motores tipo orbital Char-Lynn Eaton

\*Se debe tener presente que el tipo de motor puede ser de válvulas de carrete o válvulas de disco, en este caso se especifica para los motores con válvulas de disco, en caso contrario se debe omitir estos pasos.



Figura 50. Ensamble de motores tipo orbital Char-Lynn Eaton

### 7.3.8. Inspección y reparación

Luego de realizar el desensamble del motor se debe realiza una limpieza y posterior revisión de cada parte; para ello se debe revisar si presentan algún cambio de color, picaduras, rayaduras o alguna muestra de desgaste que pueda ayudar a determinar la posible falla del equipo.

- Revisar el estado de las carcasas en los cuerpos y tapas, pues si estas partes se encuentra en mal estado se debe analizar si se debe cambiar el motor completamente. Revisar el estado, desgaste interno o cualquier muestra de fisura indica cambio de las partes.
- Revisar el conjunto orbital parte por parte, este conjunto sufre por desgaste, pues por excesos de presión o contaminación en el fluido las partes son muy susceptibles a desgaste, rayaduras o picaduras. Evaluar el estado de todo el conjunto ya que usualmente cuando una pieza falla se recomienda cambiar todo el conjunto.
- Revisar el estado del eje. En estos motores el eje con chaveta puede sufrir daños por aumentos de presión. En muchas ocasiones se puede reconstruir el eje, revisar el estado en temas de oxidación o desprendimiento de material, en tal caso se recomienda cambiar eje.
- Revisar el estado de las válvulas y el plato de válvulas en el caso de válvulas de disco, en estas se puede evidenciar desgaste que requiera rectificado o si es necesario cambiar las partes.
- Siempre que se desensambla un motor se recomienda cambiar todos los sellos, esto permite ampliar la vida útil del equipo.
- Revisar el eje en la zona del retenedor, en este lugar es muy susceptible a desgaste por el mismo sello.
- Revisar el estado del rodamiento; sin embargo, siempre que se pueda, se recomienda el cambio.

### 7.3.9. Posibles fallas

Tabla 20. Posibles fallas de motores tipo orbital. [12]

PROBLEMA	CAUSA PROBABLE	POSIBLE SOLUCIÓN
Excesivo ruido en el motor	A. Desalineamiento en el acople del motor – carga	Hacer alineación de los ejes menor a 0,005”.
	B. El motor tiende a girar en exceso	Adicionar control de flujo a la salida
		Reducir la carga
	C. Aireación	Verificar si el aceite tiene espuma
		Limpiar el sistema y rellenar con aceite filtrado
	D. Cavitación	Reducir la velocidad del motor
		Verificar si la viscosidad es la adecuada
		Precalentar el aceite
Verificar si hay restricción en la succión		

		Verificar si hay una válvula de freno
		Verificar si la bomba está cavitando
	E. Drenaje restringido	Verificar si está dañada la línea de drenaje
	F. Sistema bloqueado	Desensamblar, limpiar y reensamblar
	G. Partes dañadas	Desensamblar, limpiar y reensamblar Reemplazar motor
El motor gira excesivamente caliente	A. El aceite de entrada está excesivamente caliente	Verificar si hay problema en la bomba Aceite con viscosidad inadecuada
	B. Motor patina demasiado	Desensamblar e inspeccionar los elementos del motor Reemplazar motor
	C. Restricción en el drenaje	Remover y reemplazar
	D. Mucho caudal pasado por la válvula de alivio	Reducir el caudal de la bomba Reajustar el control de flujo
El motor gira en el sentido contrario	A. Conexión mal hecha desde la direccional al motor	Verificar el diagrama de tubería y corregir
	B. Mal cableada la instalación eléctrica de la válvula direccional	Verificar el diagrama hidráulico y corregir
	C. Carrete incorrecto en la válvula	Desensamblar, remover y cambiar carretes Cambiar la válvula
El motor patina	A. Carga forzada	Verificar el estado del acople y si hay desalineamiento Mirar si los tornillos están flojos
	B. Válvula de freno, paso o alivio abierto	Verificar si está abierta alguna de las válvulas que dan paso al tanque
	C. Presión de operación baja	Verificar la presión del sistema. Hacer ajustes necesarios
	D. La bomba no envía el adecuado caudal o presión	Revisar las posibles fallas de la bomba
	E. Partes rotas	Desensamblar, reparar o reemplazar partes dañadas
La carga patina	A. Se necesita freno externo	Considerar la adición de un freno. Todos los motores tienen fugas internas y por eso patinan
	B. Falla del freno externo	Investigar la causa del freno

## 8. Estandarización de los procesos

Luego de realizar toda la caracterización de los procesos, procedimientos y equipos se realizó un documento en el cual se plasmó la información necesaria y que se espera sirva de guía para que el personal técnico tenga un acceso rápido con información de los equipos seleccionados. Adicionalmente, se elaboraron fichas de trabajo para cada equipo como posibilidad de mejorar el procedimiento en la recolección de la información para cada trabajo y enfocada directamente a cada equipo. Estas fichas buscan reducir el diligenciamiento con

campos abiertos para depositar la información como hasta el momento se han venido manejando en el formato de OT y que pueden generar fallas por falta de mal diligenciamiento. Las tablas 21, 22, 23 y 24 muestran los estándares de trabajo diseñados que tienen como objetivo que cualquier técnico realice las actividades con la misma calidad, buscando realizarlo en la misma cantidad de tiempo y empleando los mismos elementos.

Tabla 21. Estándar de trabajo para intervención de cilindros.

ESTÁNDAR DE TRABAJO PARA INTERVENCIÓN DE CILINDROS											
ESPECIFICACIONES DE TRABAJO											
Responsable						Tiempo (horas - Fecha)					
FABRICACIÓN			HOMOLOGACIÓN			MANTENIMIENTO					
Detalles:											
CARACTERÍSTICAS DEL EQUIPO											
Responsable						Tiempo (horas - Fecha)					
TIPO DE CILINDRO											
Simple efecto:						Doble efecto:					
CONSTRUCCIÓN DE CILINDRO											
Botella		Buzo		Tirantes		Telescópico		Doble vástago		Otro	
Puerto(s)		Carrera		Ø Camisa		L Camisa		Ø Vástago		L Vástago	
Detalles:											
REVISIÓN Y DIAGNÓSTICO											
PARTES DEL EQUIPO		ESTADO		CARACTERÍSTICAS GENERALES				OBSERVACIÓN			
		BUENO	MALO								
Camisa											
Vástago											
Tapa Porta Sellos											
Pistón											
Montajes	Delantero										
	Trasero										
Sellos	Tapa Porta Sellos										
	Pistón										
Otros											
¿Cambio de sellos? Si ___ No ___		¿Cambio de partes? Si ___ No ___		¿Maquinado? Si ___ No ___			¿Pruebas? Si ___ No ___				
Detalles:											
APROBACIÓN COMERCIAL SI ___ NO ___											
REPARACIÓN											
PROCEDIMIENTO			DESCRIPCIÓN / OBERSERVACIONES					Tiempo (horas - Fecha)			
Maquinado											
Limpieza											
Verificación medidas, ajustes, tolerancias											
Ensamble											
Pruebas											
Marcación y pintura											





Tabla 24. Estándar de trabajo para intervención de motores.

ESTÁNDAR DE TRABAJO PARA INTERVENCIÓN DE MOTORES TIPO ORBITAL											
ESPECIFICACIONES DE TRABAJO											
Responsable						Tiempo (horas - Fecha)					
ALISTAMIENTO				HOMOLOGACIÓN				MANTENIMIENTO			
Detalles:											
CARACTERÍSTICAS DEL MOTOR											
Responsable						Tiempo (horas - Fecha)					
TIPO DE MOTOR											
Geroler:						Gerotor:					
Series H		Series S		2000 Series		4000 Series		6000 series		10,000 series	
Tamaño		Eje		Sujeción		Puertos		Galonaje		Accesorios	
Detalles:											
REVISIÓN Y DIAGNÓSTICO											
PARTES DEL EQUIPO		ESTADO		CARACTERÍSTICAS GENERALES				OBSERVACIÓN			
		BUENO	MALO								
Tapa delantera											
Retenedor metálico											
Retenedor hidráulico											
Eje											
Rodamiento											
Cuerpo											
Gerotor o geroler											
Tapa trasera											
Tapón de drenó											
Tornillos											
Plato espaciador*											
Plato de des		Plato de des									
Conjunto de válvulas	Eje conector										
	Plato de válvulas										
	Válvulas										
	Anillo de equilibrio										
	Resortes										
Sellos											
¿Cambio de sellos? Si ___ No ___			¿Cambio de partes? Si ___ No ___			¿Maquinado? Si ___ No ___			¿Pruebas? Si ___ No ___		
Detalles:											
APROBACIÓN COMERCIAL SI ___ NO ___											
REPARACIÓN											
PROCEDIMIENTO				DESCRIPCIÓN / OBSERVACIONES				Tiempo (horas - Fecha)			
Maquinado											
Limpieza											
Verificación medidas, ajustes, tolerancias											
Ensamble											
Pruebas											
Marcación y pintura											
* Esta parte está presente en motores series H - S - J											
** Estas partes están presentes en motores series 2000 - 4000 - 6000 - 10,000											

Una vez realizada toda la caracterización y estandarización de los procesos y generados los estándares de trabajo, se registra toda la información pertinente a la caracterización de los procesos presentada en la *sección 6*, la caracterización de los equipos presentados en la *sección 7* y se incluyen los estándares de trabajo presentados en las *tablas 21 a 24* en el ANEXO “*Manual de procedimientos técnicos para la intervención de equipos hidráulicos*”.

## 9. Conclusiones

- Se realiza una revisión de los registros de trabajo de la empresa a fin de determinar la frecuencia dependiendo el tipo de equipo a intervenir, los datos necesarios que requiere el personal técnico para iniciar un trabajo y determinar el patrón de trabajo que desempeñan en sus labores. Se concluye que el 86% de los equipos más intervenidos se refieren a cilindros, bombas y motores hidráulicos. Además, respecto a bombas y motores, se trabaja el mayor porcentaje provenientes de los fabricantes BOSCH REXROTH y PARKER HANNIFIN.
- Se analiza el procedimiento y se determina la estandarización de todo el proceso operativo por parte de los técnicos, para ello fue necesario determinar los conceptos necesarios a modo de guía para los equipos seleccionados. La caracterización se dividió en dos partes, una para el procedimiento propiamente dicho, en el cual se determina la secuencia de trabajo a seguir y la otra parte se enfocó en caracterizar los equipos. Para esta parte, se determinó que una caracterización completa requería de información teórica y práctica, es por eso que para cada equipo se describieron las características técnicas, la construcción que tienen, los principios de sus funcionamientos, la identificación de acuerdo a cada fabricante y/o la empresa, los pasos para ensamblarlos, desensamblarlos y las posibles fallas de estos equipos.
- La supervisión de los trabajos fue un paso clave para la estandarización de los procesos; pues ayudó a determinar por medio de observación directa los métodos empleados por el personal para intervenir cada equipo y a su vez el registro que dejaban de la intervención. Se encontró que uno de los principales problemas para los técnicos es el diligenciamiento de los formatos de las OT, pues siendo campos abiertos facilitaba el diligenciamiento incompleto o incorrecto por parte del personal. Se propuso la implementación de estándares de trabajo enfocados directamente a cada equipo y en el cual el técnico tenga que redactar lo mínimo posible; con esto se espera que se facilite la transmisión de la información y la obtención mas acertada de los diagnósticos y procedimientos llevados a cabo por los técnicos.
- Los estándares de trabajo tuvieron el alcance para los equipos seleccionados; se espera que esto sirva como guía para capacitar a personal nuevo o realizar controles internos por parte de la empresa. Para iniciar con el uso de los estándares de trabajo se debe capacitar al personal y hacer un seguimiento para verificar que se este desarrollando de una correcta manera.
- Los formatos de estándares de trabajo están sujetos a revisiones, modificaciones y cambios posteriores por parte de la empresa como proceso de mejora continua, con el objetivo de optimizar al máximo el proceso. Además, en el futuro se espera que cada equipo tenga su estándar de trabajo.

## 10. Referencias bibliográficas

- [1] Sperry Vickers, *Manual de oleo hidráulica industrial*, 2a ed. España, 1981.
- [2] INACAP, “Manual de hidráulica y neumática”, Santiago de Chile, 2002.
- [3] S. S.A., *Manual básico de oleohidráulica*, 2°. Cordoba - Argentina, 2005.
- [4] F. Guevara, J. A. Franco, y D. Garza, *Potencia fluida*. Naucalpan de Juárez, Mexico.: Pearson Educación de Mexico, 2015.
- [5] D. Tecnico, “MANUAL DEL ESTUDIANTE INSTRUCCIÓN TÉCNICA CURSO : Hidráulica I y II TEMA : Conceptos Básicos , Componentes”, 2001, [En línea]. Disponible en: <http://www.ceduc.cl/aula/lebu/materiales/IC/IC-410/MANUAL DEL ESTUDIANTE HIDRAULICO.pdf>.
- [6] A. Burgos y C. Quinapallo, “Importancia de los manuales de procedimientos para la mejora de los procesos operativos en las agencias de aduanas”, *Rev. Caribeña Ciencias Soc.*, pp. 1–13, 2016, [En línea]. Disponible en: <http://www.eumed.net/rev/caribe/2016/10/aduanas.html>.
- [7] M. Huerta, *Guía técnica para la elaboración de manuales de procedimientos*. 2004.
- [8] H. Exner *et al.*, *Fundamentos y componentes de la oleohidráulica*. Bruenighaus Hydromatik GmbH.
- [9] “hydraulic-calculation.com”, *Cilindros hidráulicos*, 2014. hydraulic-calculation.com.
- [10] S. L. ESTEHYNE, “CILINDROS HIDRÁULICOS SERIE CHT &CMT”, 2022. [En línea]. Disponible en: <https://www.hidraulicaneumatica.es/es/productos/List/listing/cilindros-hidraulicos-iso-60202-652/1>.
- [11] K. Kowalski y T. Zloto, “Exploitation and Repair of Hydraulic Cylinders Used in Mobile Machinery”, vol. 14, núm. 4, pp. 53–58, 2014.
- [12] C. H. Rueda, “Manual de mantenimiento hidráulico”, Santafé de Bogotá, 1999.
- [13] Oleohidráulica avanzada by Ric Rach, “Funcionamiento del sistema Load Sensing”, *6 de junio*, 2020. .
- [14] Parker Hannifiin Corporation, “Pump and motor division PGP/PGM 300 Series”, 2021. doi: 10.1016/s0262-1762(04)00347-5.
- [15] Parker Hannifiin Corporation, “Pump & Motor Division PGP/PGM 300 Series - Service Manual”, p. 32, 2020.
- [16] BOSCH REXROTH CANADA CORP., “A10VO Variable Displacement Piston Pump Technical Information Manual”, Burlington, Ontario, 1996.
- [17] B. Rexroth, “A10VO”, 2013.
- [18] B. REXROTH, “Service Parts List”.
- [19] Rexroth Bosch Group, “Bomba variable a pistones axiales A10V(S)O”, Germany,

2017.

- [20] G. Metaris, "Piston pump repair manual", 2008. doi: 10.1109/COMPSAC.2011.4.
- [21] Bosch Rexroth, "Axial Piston Variable Pump A10VO, A10VSO", Germany, 2018.
- [22] Eaton, "Low Speed, High Torque Motors", 2018. doi: 10.1016/j.bushor.2008.07.005.
- [23] S. Hernández, E. Pineda, E. Rúa, J. Mancipe, y E. Torres, "FUNDAMENTOS Y APLICACIONES DE LOS MOTORES HIDRAULICOS".