

TECNIAHIDRAULICA

MANUAL DE PROCEDIMIENTOS TÉCNICOS PARA LA INTERVENCIÓN DE EQUIPOS HIDRÁULICOS

Elaborado por: Breisman Chalaca Vallejo
Practicante de ingeniería mecánica – Universidad de Antioquia
Versión 1.0

Acerca de este documento

Este documento está destinado al personal técnico de la empresa. Contiene información importante sobre el procedimiento de trabajo desarrollado en las actividades para la intervención de equipos hidráulicos. Se presenta información clave de componentes hidráulicos tal como los principios de funcionamiento, las construcciones, la forma de identificar los equipos, los pasos para realizar ensambles y desensambles, las posibles fallas que se pueden presentar estos; de tal manera que se espera sirvan de guía para el desarrollo de sus funciones dentro de la empresa. Alguna información aquí contenida fue extraída de documentos técnicos de hidráulica; estos fueron debidamente referenciados y se utilizan solo con fines académicos.

Alcance de este documento

En este documento se presenta información técnica de los equipos más intervenidos en la empresa: bombas de engranajes, bombas de pistones, cilindros y motores tipo orbital. Se espera que toda la información que se suministra de estos componentes sea suficiente para tener una mejor comprensión de su funcionamiento y modo de intervenirlos. Este documento está sujeto a cambios y modificaciones futuras.

Índice de contenido

1.	Identificación del procedimiento técnico	9
2.	Estructura y tipos de trabajos.....	13
3.	Cilindros hidráulicos	16
3.1.	Características técnicas	16
3.2.	Tipos de cilindros.....	18
3.3.	Construcción	19
3.4.	Funcionamiento	21
3.5.	Identificación de los cilindros	25
3.6.	Ensamble y desensamble	25
3.7.	Posibles fallas	27
3.8.	Estándar de trabajo para la intervención de cilindros	32
4.	Bombas hidráulicas	33
4.1.	Características técnicas	33
4.2.	Tipos	34
4.2.1.	Bombas de engranajes Rexroth y Parker.....	35
4.2.2.	Construcción.....	35
4.2.3.	Funcionamiento.....	39
4.2.4.	Identificación.....	40
4.2.5.	Ensamble y desensamble.....	43
4.2.6.	Inspección y reparación.....	46
4.2.7.	Posibles fallas.....	48
4.2.8.	Estándar de trabajo para bombas de piñones	49
4.3.	Bombas de pistones Rexroth.....	50
4.3.1.	Construcción.....	50
4.3.2.	Funcionamiento.....	56

4.3.3.	Identificación.....	59
4.3.4.	Ensamble y desensamble.....	60
4.3.5.	Inspección y reparación.....	63
4.3.6.	Posibles fallas.....	64
4.3.7.	Estándar de trabajo para bombas de pistones.....	68
5.	Motores hidráulicos.....	69
5.1.	Características técnicas.....	69
5.2.	Tipos.....	70
5.3.	Motores tipo G rotor.....	70
5.4.	Construcción.....	70
5.5.	Funcionamiento.....	74
5.6.	Identificación.....	76
5.7.	Ensamble y desensamble.....	78
5.8.	Inspección y reparación.....	80
5.9.	Posibles fallas.....	81
5.10.	Estándar de trabajo para motores tipo orbital.....	83
	Referencias bibliográficas.....	84

Índice de figuras

Figura 1. Flujograma de procedimiento en la intervención de los equipos.	10
Figura 2. Formato de Orden de trabajo (OT). Propiedad de TECNIHIDRÁULICA SAS.	12
Figura 3. Tipos de trabajo y su procedimiento.	15
Figura 4. Temas objeto de estudio para la Caracterización de los equipos.	15
Figura 5. Carrera de un cilindro [3]	17
Figura 6. Componentes de un cilindro hidráulico tipo botella [4].....	20
Figura 7. Componentes de un cilindro tipo tirantes [5].....	20
Figura 8. Sellos de un cilindro [6]	22
Figura 9. Pasos para desensamblar un cilindro.	26
Figura 10. Pasos para ensamblar un cilindro.	26
Figura 11. posibles tipos de averías de cilindros hidráulicos. [7].....	28
Figura 12. Construcciones bombas de engranajes con cuerpo de aluminio. [10]	35
Figura 13. Componentes de bomba de engranajes con cuerpo de aluminio. [10].....	35
Figura 14. Bombas de hierro fundido. [11]	37
Figura 15. Componentes de bombas de engranajes Parker series PGP/PGM 300 series. [12]	38
Figura 16. Funcionamiento de una bomba de engranajes [1].....	40
Figura 17. Compensación axial de la bomba a engranajes. [10]	40
Figura 18. Placa de características bomba de engranajes con cuerpo de aluminio.[10].	40
Figura 19. Pasos para desensamblar una bomba de engranajes.	44
Figura 20. Pasos para Ensamblar una bomba de engranajes.	45
Figura 21. Torque para las bombas Parker Series PGP/PGM 300 series. [12]	45
Figura 22. Cambio de giro a bombas de engranajes. [13]	47
Figura 23. Construcción de las bombas de pistones Rexroth series A10vO [15]	50
Figura 24. Componentes de la bomba de pistones Rexroth A10VO series 31. [16].....	51
Figura 25. Componentes grupo rotativo en bombas de pistones Rexroth A10vO series 31. [16]	53
Figura 26. Componentes del pistón de control de las bombas de pistones Rexroth A10vO series 31. [16]	54
Figura 27. Componentes de válvulas de control en bomba de pistones Rexroth A10vO series 31. [16]	55

Figura 28. Válvulas de control de las bombas de pistones Rexroth A10VO series 31 [10]	57
Figura 29. Circuito hidráulico de una bomba con compensador de presión DR [10]	58
Figura 30. Funcionamiento de las válvulas de control en las bombas Rexroth A10VO series 31 [10]	58
Figura 31. Placa identificadora de las bombas Rexroth A10VO series 31. [16].....	59
Figura 32. Desensamble de válvulas de control en bombas de pistones RexrothA10VO series 31	60
Figura 33. Ensamble de válvulas de control en bombas de pistones Rexroth A10VO series 31	61
Figura 34. Desensamble de las bombas de pistones Rexroth A10VO series 31.	61
Figura 35. Ensamble de bomba de pistones Rexroth A10VO series 31	62
Figura 36. Construcción tipo Gerotor y Geroler [20].....	71
Figura 37. Construcción de motores tipo orbital con válvulas de carrete.[20].....	72
Figura 38. Construcción motores tipo orbital con válvulas de disco. [20].....	73
Figura 39. Componentes motores Eaton 2000 Series [20]	74
Figura 40. Excentricidad en motores tipo orbitales [21]	75
Figura 41. Placa identificación motores tipo orbital Char-Lynn Eaton. [20].....	76
Figura 42. Identificación del tipo de producto motores Char-lynn Eaton. [20]	77
Figura 43. Desensamble de motores tipo orbital Char-Lynn Eaton	78
Figura 44. Ensamble de motores tipo orbital Char-Lynn Eaton.....	79

Índice de tablas

Tabla 1. Tipos de cilindros según su efecto.....	18
Tabla 2. Modos de fijación de cilindros hidráulicos de tirantes [2]	23
Tabla 3. Posibles problemas presentes en los cilindros hidráulicos. [8]	29
Tabla 4. Estándar de trabajo para intervención de cilindros.....	32
Tabla 5. Identificación de bomba de engranajes de aluminio.	42
Tabla 6. Galonajes de bombas Parker según tipo y altura del piñón. [11]	43
Tabla 7. Posibles problemas presentes en los cilindros hidráulicos [10], [12].....	48
Tabla 8. Estándar de trabajo para intervención de bombas de piñones.	49
Tabla 9. Identificación de bombas de pistones Rexroth A10VO series 31 [15] y [17]..	60
Tabla 10. Torques máximos recomendados por Rexroth [18]	62
Tabla 11. Posibles fallas de las bombas de pistones Rexroth A10VO series 31 [19]	64
Tabla 12. Estándar de trabajo para la intervención de bombas de pistones.	68
Tabla 13. Características para la identificación de un motor tipo orbital. [20]	78
Tabla 14. Posibles fallas de motores tipo orbital. [8]	81
Tabla 15. Estándar de trabajo para intervención de motores.....	83

1. Identificación del procedimiento técnico

Para determinar el alcance de trabajo por parte del personal técnico, la *figura 1* 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.

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; 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.

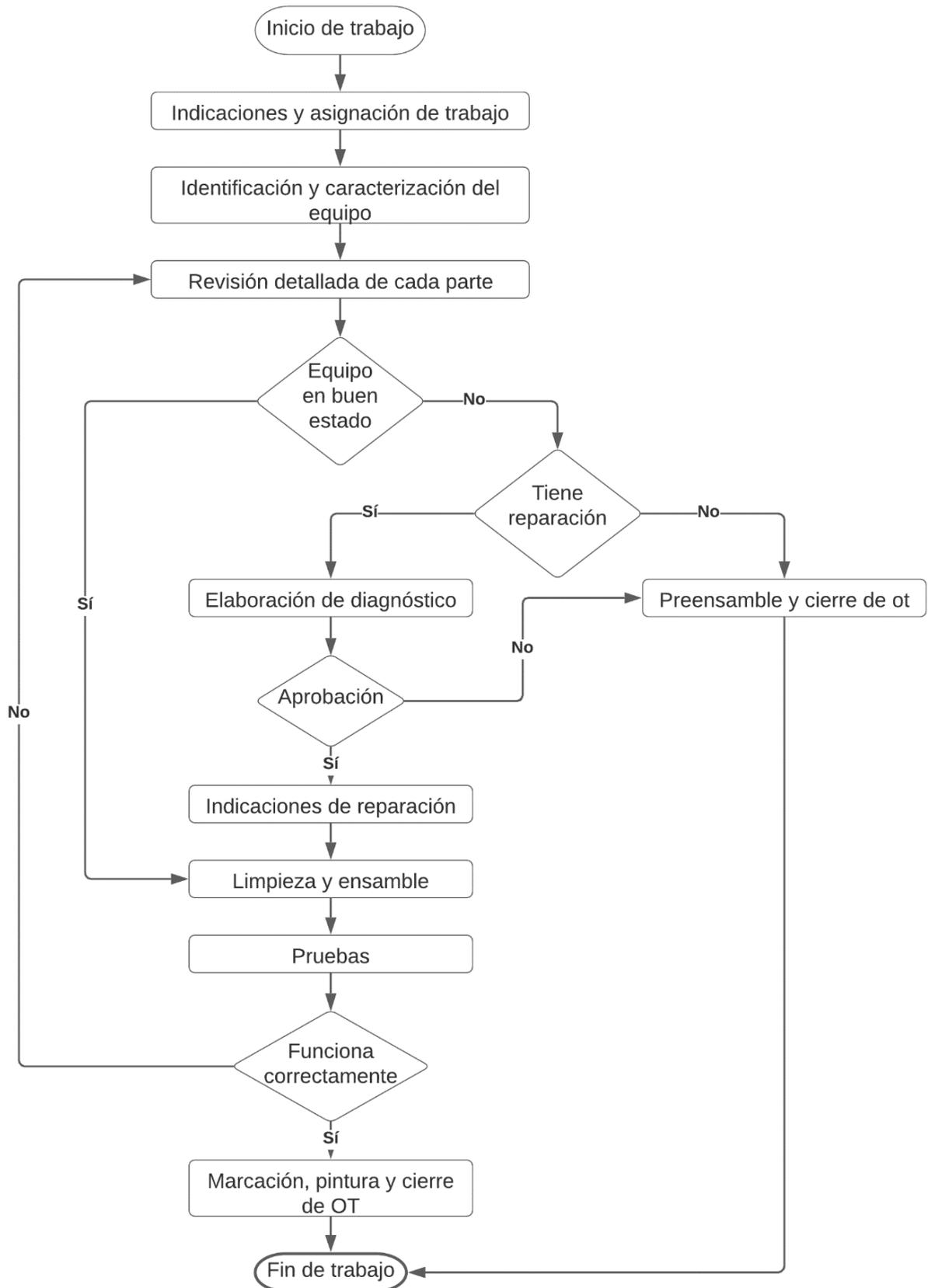


Figura 1. Flujograma de procedimiento en la intervención de los equipos.

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 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 proceder 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 el equipo puede no ser pintado; en este caso 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.

NOTA:

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 2*. 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 2* son las partes que deben diligenciar los técnicos.

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.					
2	FECHA-HORA INICIO DE TRABAJO		FECHA-HORA FINAL DE TRABAJO			
3	TOTAL HORAS INVERTIDAS:		TRABAJÓ SOLO:		ACOMPAÑANDO:	
4	CARACTERÍSTICAS DEL EQUIPO:					
5	DIAGNOSTICO TÉCNICO:					
6	DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO			REPUESTOS Y/O INSUMOS A COMPRAR		
¿PASÓ POR EL BANCO DE PRUEBAS? SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/> ¿FUNCIONÓ CORRECTAMENTE? SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/> OBSERVACIONES:						
VERIFICACIÓN, MEDIDAS, AJUSTES Y TOLERANCIAS: SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/> OBSERVACIONES:						
SUGERENCIAS DEL EQUIPO:						
REALIZÓ		REVISÓ		APROBÓ		

Figura 2. Formato de Orden de trabajo (OT). Propiedad de TECNIHIDRÁULICA SAS.

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, se debe registrar 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. La sección 6 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. El técnico encargado del trabajo debe firmar la OT con el fin de responsabilizarse por la información suministrada en la misma. La OT debe ser revisada y aprobada por el supervisor o director de operaciones.

2. Estructura y tipos de trabajos

Las actividades generales para la intervención de cualquier equipo sin importar su clasificación se pueden presentar en la siguiente estructura:

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

En el desarrollo de las actividades se pueden presentar diferentes circunstancias, a continuación se describen las más frecuentes:

- Cambio de sellos: Se determina esta clasificación para los trabajos en los cuales todas las partes del equipo se encuentran en buen estado y solo se pueden presentar posibles fugas en el equipo debido a sellos.
- Cambio de partes: Se determina esta clasificación para los trabajos en los cuales al revisar el equipo se encuentran partes que deben ser reemplazadas porque pueden haber sufrido daños o porque no se ajustan a las necesidades del cliente.
- Maquinado: Estos trabajos se determinan a partir del proceso en el cual una pieza debe ser corregida, fabricada o terminada. En este tipo de trabajos se incluyen todos los procesos de mecanizado, soldadura o tratamiento térmico.

- **Revisión:** Se determina esta clasificación para los trabajos que ingresaron inicialmente para reparación, pero por encontrarse en perfectas condiciones solo se realizan pruebas.
- **Homologación:** Se determina esta clasificación para los trabajos en los cuales se realiza la identificación y caracterización del equipo por encontrarse en mal estado y se debe hacer un posible reemplazo por otro que cumpliera todas las especificaciones. En el caso de los cilindros siempre su reemplazo implica la fabricación.
- **Fabricación:** Este proceso se presenta requiere de la participación de taller metalmecánico; se debe hacer la solicitud de materia prima pertinente para los procesos de mecanizado de piezas nuevas que reemplacen partes en mal estado.
- **Alistamiento:** Se determina esta clasificación para los trabajos que parten de un requerimiento del cliente y que generalmente requieren de una adecuación a modo de garantizar todas las especificaciones de los equipos que provee la empresa. En estos trabajos también se pueden encontrar procesos de maquinado o fabricación.

También se encuentran trabajos que presentan más de un procedimiento, tales son los casos, por ejemplo, de trabajos en los que se realizan 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 logra 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 3*. 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, los trabajos siempre van a seguir la misma estructura descrita en el inicio de esta sección; 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 3* 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 un equipo.

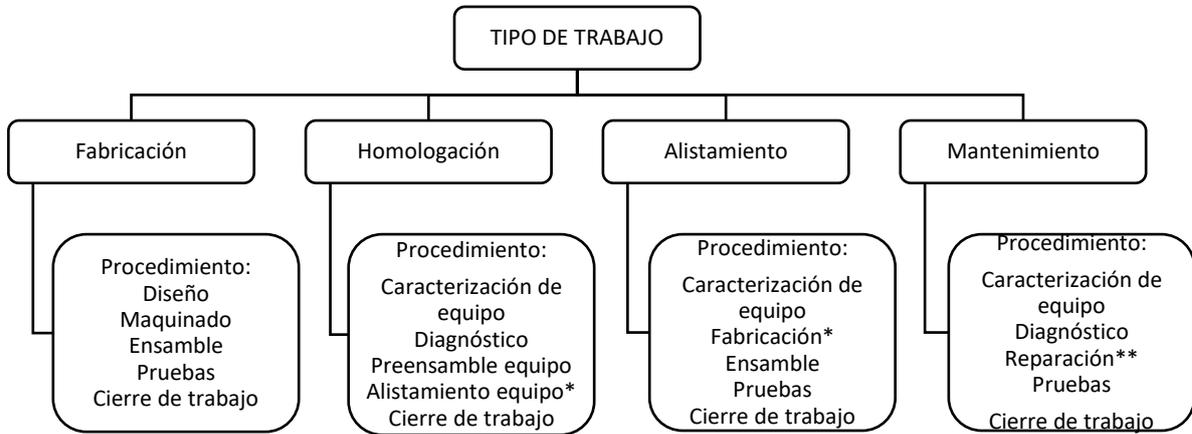


Figura 3. Tipos de trabajo y su procedimiento.

En las secciones posteriores se presenta información relacionada a equipos hidráulicos, con el objetivo de orientar al personal técnico en el desarrollo de sus actividades, *la figura 4* muestra el contenido que se describe para cada equipo.

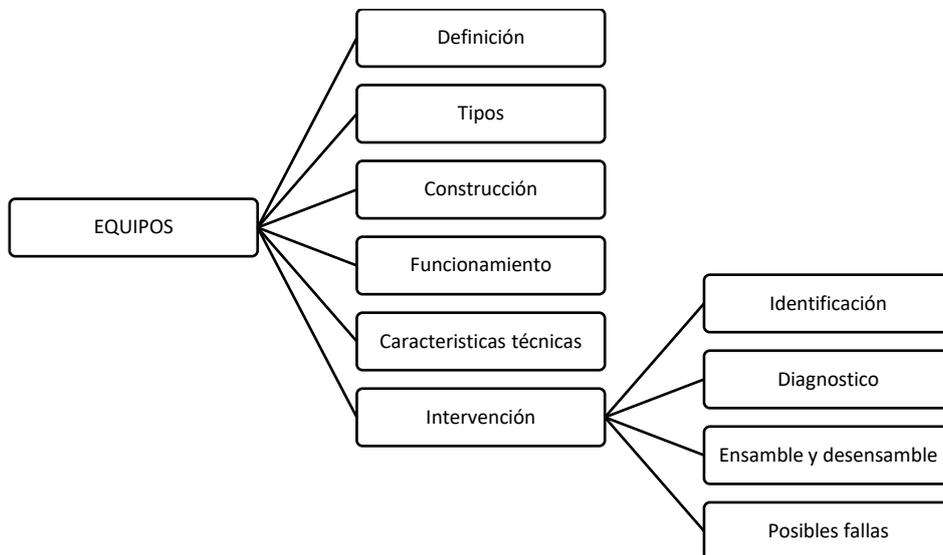


Figura 4. Temas objeto de estudio para la Caracterización de los equipos.

NOTA: Es de vital importancia que cada técnico tenga presente esta información, pues los daños o un mal procedimiento por la omisión de la información aquí contenida no deja a ningún técnico exento de sus responsabilidades.

3. 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 [2].

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.

3.1. 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* 5.

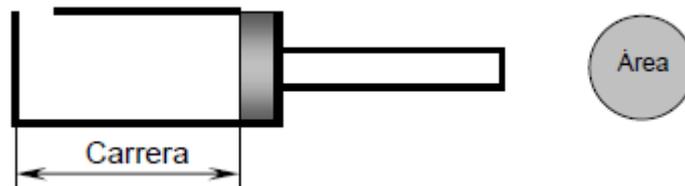


Figura 5. Carrera de un cilindro [3]

- 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 1* 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.

$$F = P * A - (F_f + F_r) \quad [ec. 1]$$

- 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.

3.2. 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 1* 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], [2]; razón por la cual, esta clasificación de cilindros esta generalizada para la mayoría de documentos técnicos de esta área.

Tabla 1. Tipos de cilindros según su efecto

TIPOS DE CILINDROS SEGÚN SU EFECTO		
<p>Cilindros simple efecto</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>

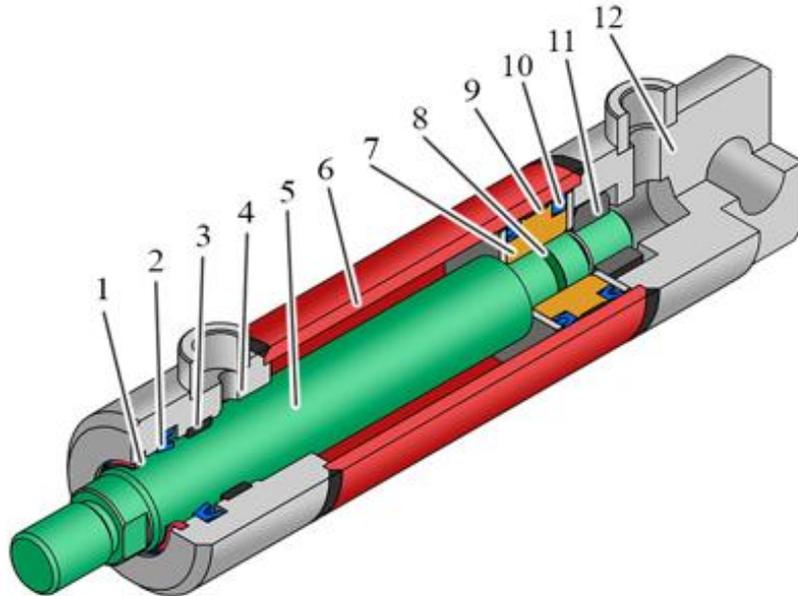
	Cilindros con retroceso por resorte	Cuando no hay una carga que permita el retroceso del cilindro es empleado un resorte para tal fin que puede estar ubicado tanto en el interior como en el exterior del cilindro. Por lo general se emplean en cilindros de tamaño pequeño debido a la fuerza limitadora del resorte.
<p>Cilindros de doble efecto</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.

3.3.Construcción

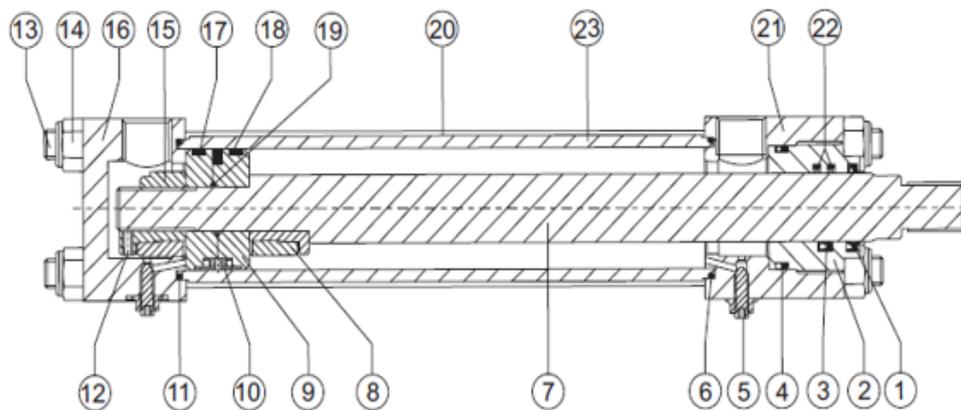
La construcción de cilindros difiere para cada aplicación, desde el tipo de cilindro a usar, el diseño de este, el tipo de montaje a emplear e incluso el funcionamiento de estos. Los criterios son definidos ya sea por el usuario que utilizara el elemento de trabajo o por el fabricante del cilindro; por 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 6 y 7* 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 6. Componentes de un cilindro hidráulico tipo botella [4]



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 posterior
9. Pistón	10. Sello pistón (igual a 10)	11. Tuerca 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 7. Componentes de un cilindro tipo tirantes [5]

3.4. 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 Constructivos 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 sujetos 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 2* 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, ptfé, 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 8* muestra los diferentes sellos que debe contener un cilindro a fin de minimizar las fugas tanto al exterior como al interior de este [6].

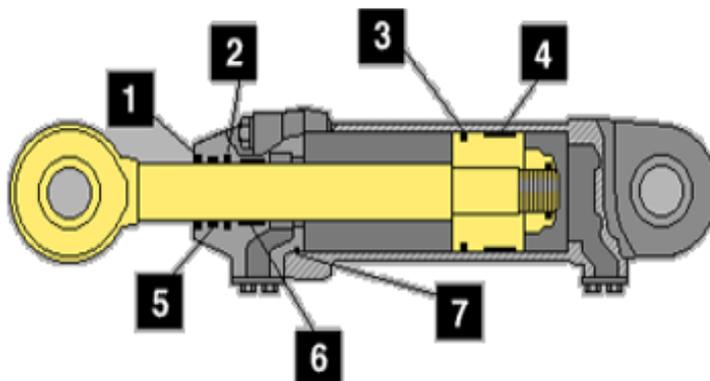
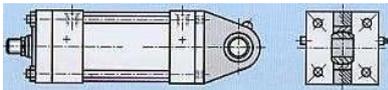
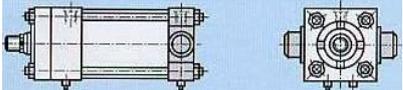
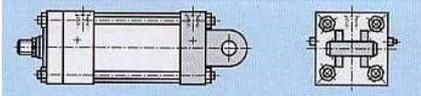
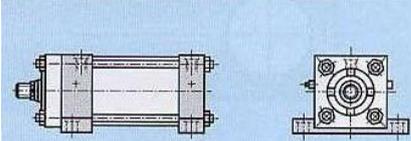
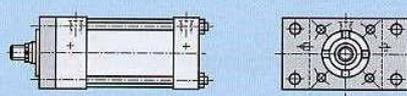
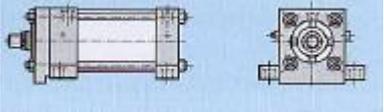


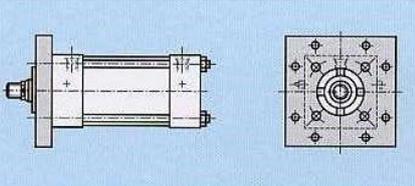
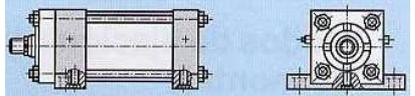
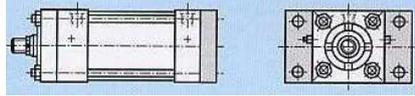
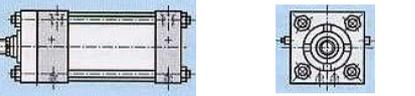
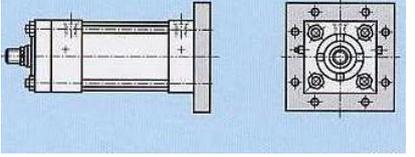
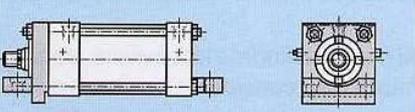
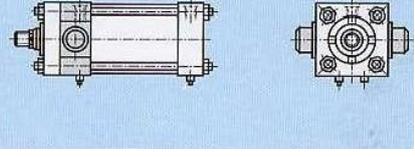
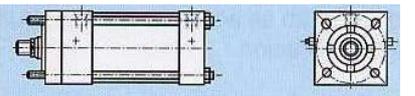
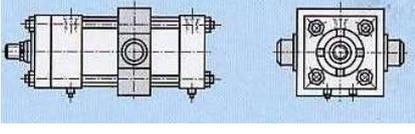
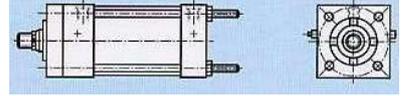
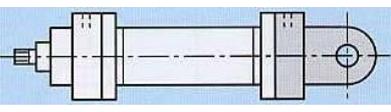
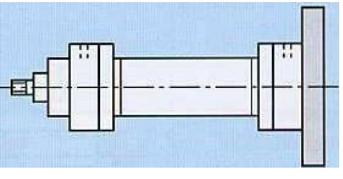
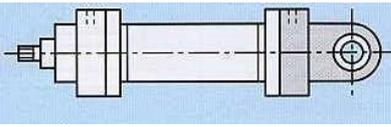
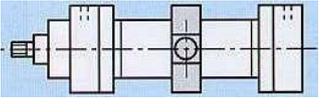
Figura 8. Sellos de un cilindro [6]

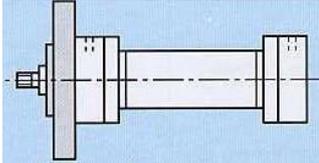
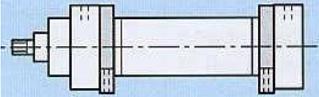
1. Sello limpiador: Permite retener la suciedad del exterior, evitando que ingrese, contamine el fluido hidráulico y genere daños en las piezas.
2. Sello amortiguador: Trabaja como un sello de protección contra los picos de presión evitando que estos puedan llegar al sello de la barra.
3. Sello del pistón: 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 2. Modos de fijación de cilindros hidráulicos de tirantes [2]

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	

<p>1) Brida cuadrada en la cabeza del cilindro</p>		<p>1) Fijación del pie con junta tórica para montaje en placa</p>	
<p>Brida rectangular en la base del cilindro</p>		<p>1) Taladros roscados en la cabeza y en la base del cilindro</p>	
<p>Brida cuadrada en la base del cilindro</p>		<p>Fijación del pie del lado frontal con chavetero</p>	
<p>1) Perno basculante en la cabeza del cilindro</p>		<p>1) Tirantes prolongados en la cabeza del cilindro</p>	
<p>1) Perno basculante en el medio del cilindro</p>		<p>Tirantes prolongados en la base del cilindro</p>	
<p>1) También posible como cilindro de doble vástago</p>			
<p>Cojinetes oscilantes en la base del cilindro</p>		<p>Brida en la base del cilindro</p>	
<p>Rótula en la base del cilindro</p>		<p>1) Perno basculante en el medio del cilindro</p>	

<p>1) Brida en la cabeza del cilindro</p>		<p>1) Fijación del pie</p>	
<p>1) También posiblemente como cilindro de doble vástago</p>			

3.5. Identificación de los cilindros

Puesto que los cilindros generalmente no tienen una placa de identificación, es muy difícil determinar de qué 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
------	--------------	-----------------	------------------	----------------	---------	----------

3.6. 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 [7]. 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 9 y 10* muestran un algoritmo general que se recomienda seguir al momento de ensamblar y desensamblar estos equipos.

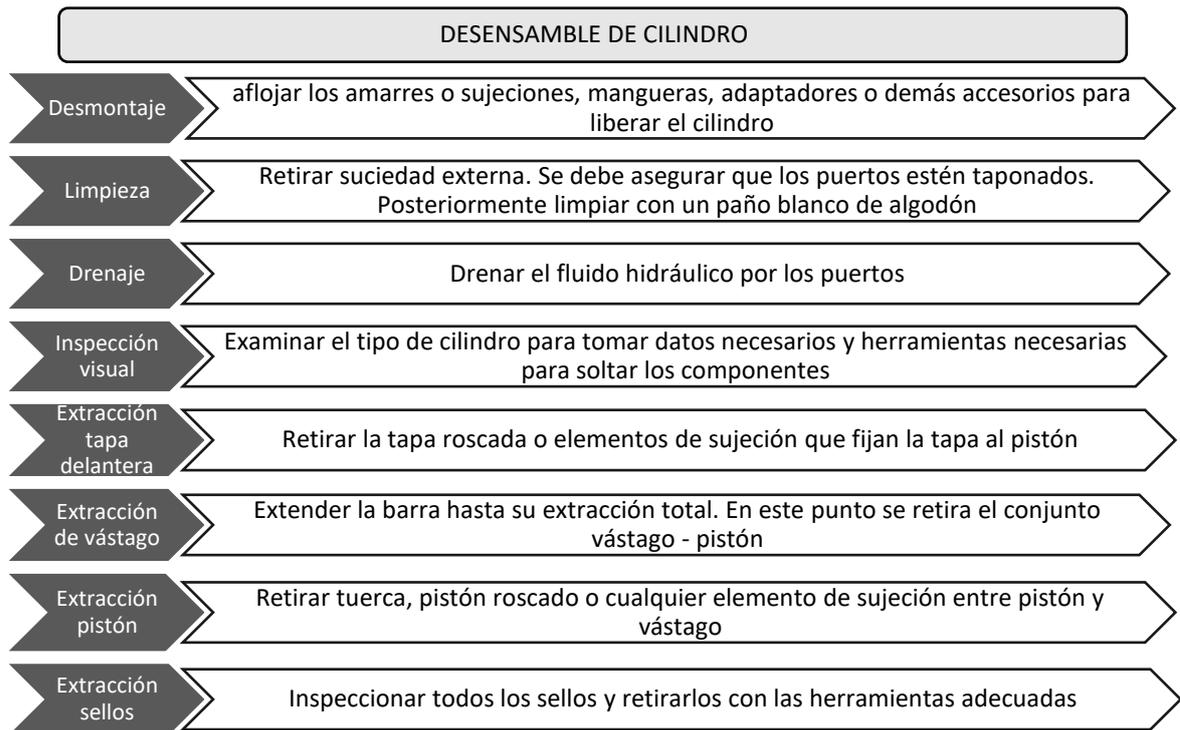


Figura 9. Pasos para desensamblar un cilindro.

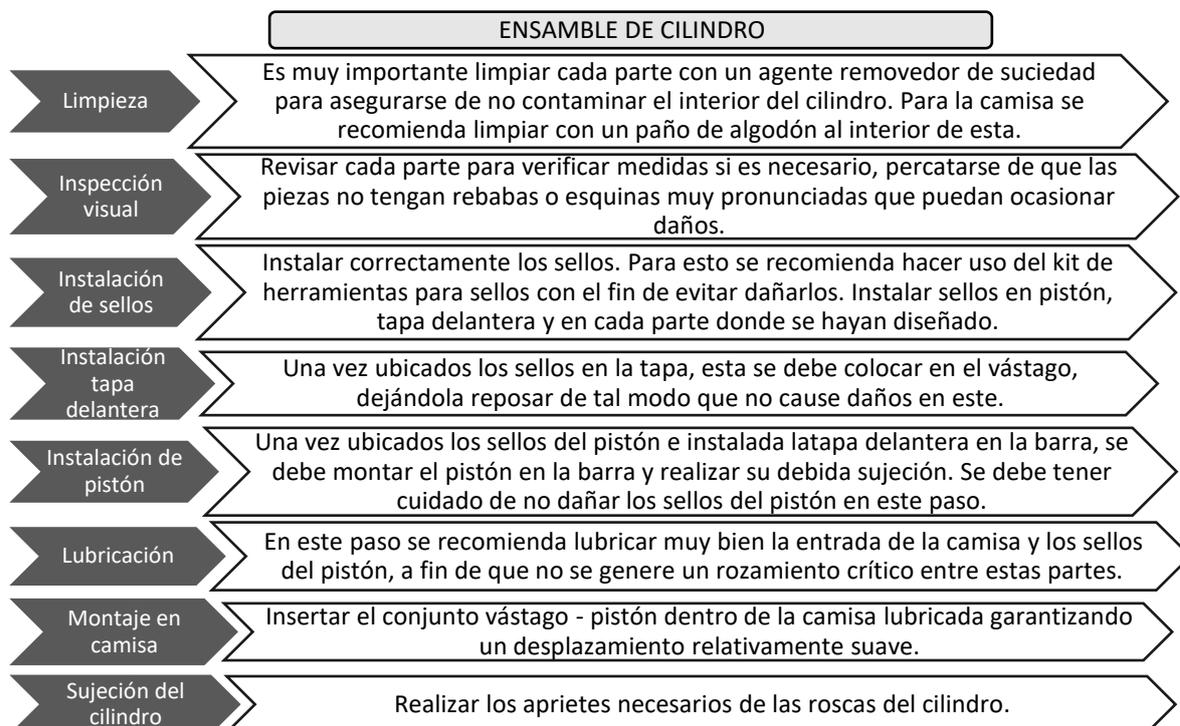


Figura 10. Pasos para ensamblar un cilindro.

3.7. 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 3* 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 11* muestra las principales averías que pueden presentarse en los cilindros.



Figura 11. posibles tipos de averías de cilindros hidráulicos. [7]

Como resultado de las fallas expuestas anteriormente, se pueden encontrar distintos tipos de problemas en la práctica, como se expone en la *tabla 3*. 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 [8]. La tabla 3 se elabora tomando los datos presentados por [8] específicamente causados por los cilindros; además de los datos recolectados durante la observación en campo.

Tabla 3. Posibles problemas presentes en los cilindros hidráulicos. [8]

PROBLEMA	CAUSA PROBABLE	SOLUCIÓN POSIBLE
El cilindro no se mueve	Fuga en los sellos del pistón	Desensamblar y cambiar los sellos.
	Fugas en el control direccional.	Revisar el control direccional por separado.
	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.
	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	Descuadre el acople del vástago a la carga	Verificar si el acople está alineado.
	Vástago del cilindro doblado o roto	Desensamblar y reemplazar el vástago.
		Verificar la alineación del montaje del cilindro.
	Fuga en los sellos del pistón	Desensamblar y reemplazar los sellos.
	Presión muy baja	Verificar y ajustar la presión de los sellos.
	Cilindro muy pequeño	Recalcular el cilindro en conjunto con la carga.
	Contaminación	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	Sellos duros o cristalizados	Verificar si hay excesiva temperatura.
		Remover y reemplazar con sellos para alta temperatura (viton).
	Presión muy alta	La presión debe ser menor, ajustar a la presión adecuada.
		Medir la presión durante la amortiguación (frenada al fin de carrera).

	Empaque cortado o extruido	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.
	Sello reblandecido	Verificar los sellos y mirar si son compatibles con el fluido.
	Tensores mal torquados	Ajustar el torque de los tensores apropiadamente si es el caso. Chequear las especificaciones del fabricante.
Desgaste del buje de un solo lado, lo mismo que la camisa en el lado opuesto	Verificar si hay carga radial u otra razón para el desgaste.	
	Reemplazar los sellos.	
Fuga por los sellos internos	Contrapresión muy alta	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.
	Sellos reblandecidos	Verificar si hay compatibilidad entre los sellos y el fluido.
		Reemplazar por sellos compatibles.
	Sellos duros o cristalizados	Verificar si la temperatura es demasiado alta.
		Remover y reemplazar los sellos por unos de alta temperatura (viton).
	Instalación inapropiada	Desensamblar y colocar los sellos en la posición adecuada.
	Excesivo desgaste	Remover y reemplazar los sellos.
		Limpiar y rellenar el sistema con aceite filtrado.
		Reemplazar con sellos más durables.
Fugas en el buje del vástago	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	El cilindro fuga internamente	Reparar o reemplazar partes y sellos.
		Chequear la viscosidad del aceite haciendo un análisis. Comparar con la recomendación del fabricante.
		Verificar si hay contaminación.
	Aireación del sistema	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.
	La válvula direccional no se actúa completamente	Desensamblar y limpiar.
		Verificar si la presión piloto es muy baja.
		Chequear si hay aire en el sistema.
		Verificar si hay contaminación o desgaste.
	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.
	El cilindro se traba	Desensamblar y verificar cual es la causa de atascamiento, reparar y limpiar.
Reajustar los empaques del vástago.		

4. 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 sí sola, siendo las restricciones o fuerzas externas las únicas fuentes capaces de generar presión [9].

4.1. 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].

1. 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.

2. 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.
7. 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.
8. 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 2*. 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.

$$\eta_{vol} = \frac{Q_{real}}{Q_{teórico}} \times 100 \quad [ec. 2]$$

4.2. 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, en este caso se mencionan las bombas de engranajes y de pistones; para lo cual se tienen las bombas de engranajes con cuerpo de aluminio generalmente 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.

4.2.1. 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.

4.2.2. 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; su construcción se puede observar en la *figura 12* y *figura 13* donde se puede ver cada parte que las componen.



Figura 12. Construcciones bombas de engranajes con cuerpo de aluminio. [10]

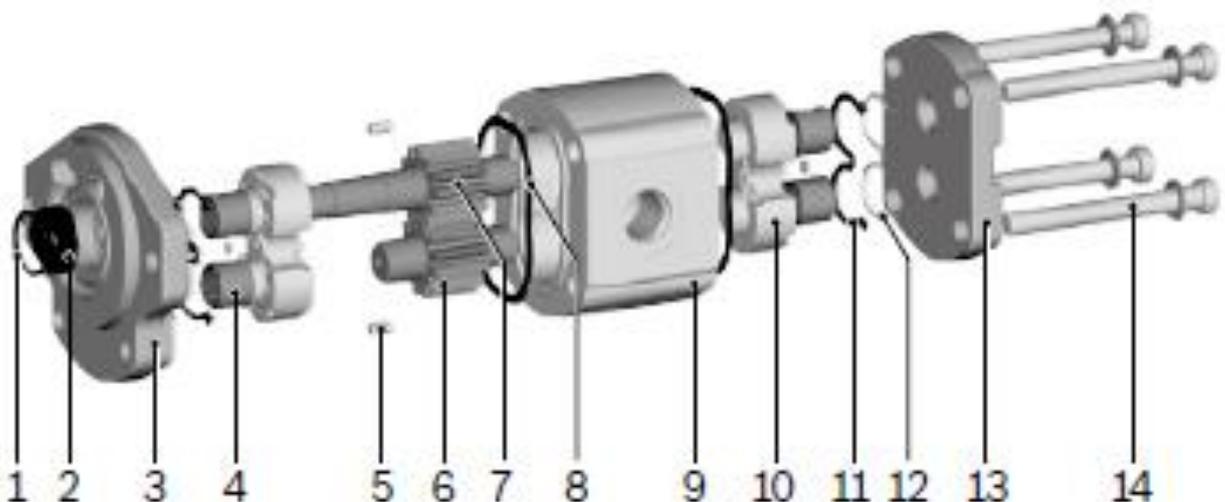


Figura 13. Componentes de bomba de engranajes con cuerpo de aluminio. [10]

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 centrado (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 14 y 15* 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 para conexiones especiales para este tipo de bombas.

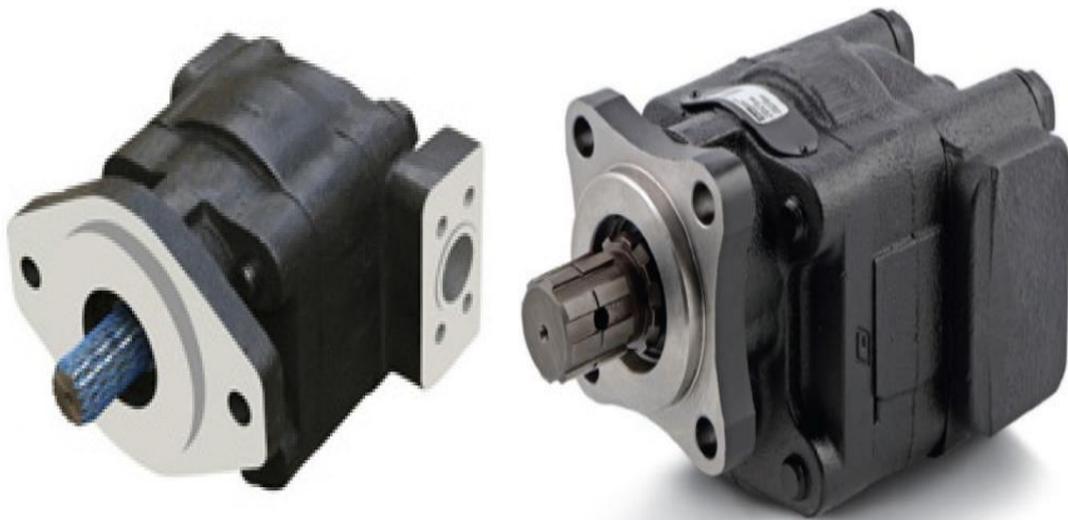
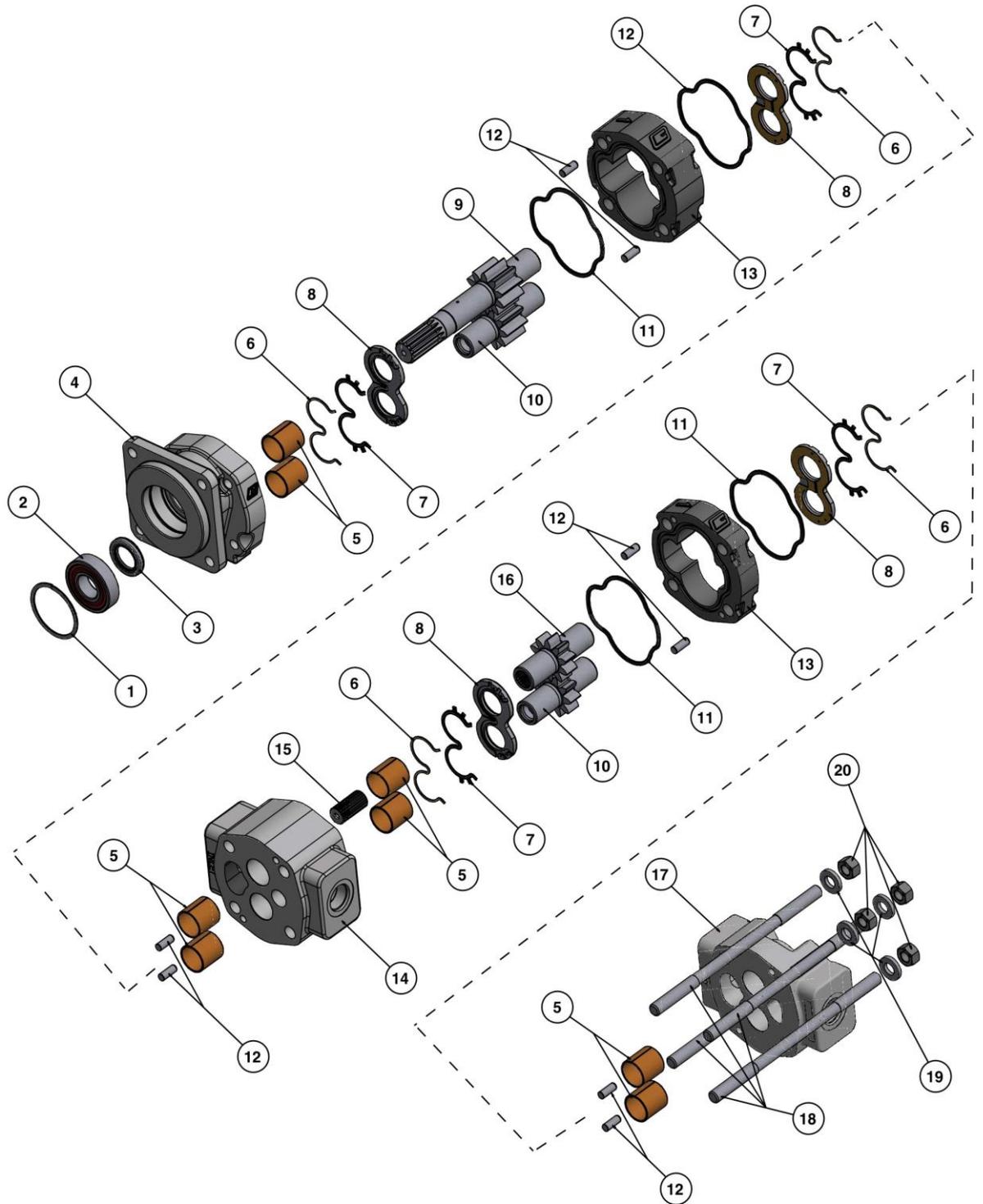


Figura 14. Bombas de hierro fundido. [11]



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 15. Componentes de bombas de engranajes Parker series PGP/PGM 300 series. [12]

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.

4.2.3. 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 16*. 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 17*; es por lo que las bombas que presentan desgaste en sus partes disminuyen su eficiencia volumétrica, generando perdidas por las holguras que se pueden ocasionar [10]

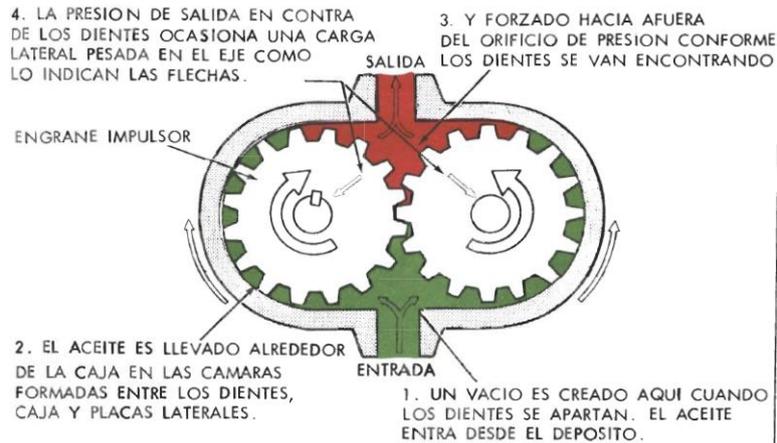


Figura 16. Funcionamiento de una bomba de engranajes [1]

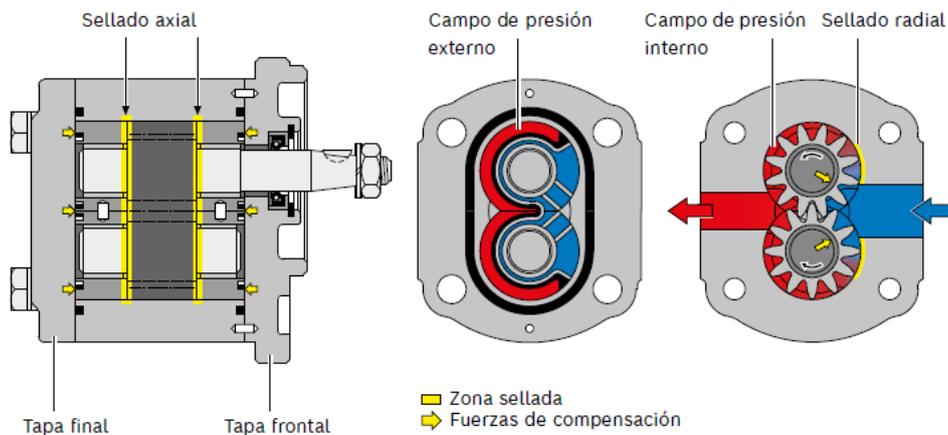


Figura 17. Compensación axial de la bomba a engranajes. [10]

4.2.4. Identificación

La correcta identificación de estos equipos se realiza al extraer los datos directamente de la placa de características suministrada por el fabricante y visible en cada equipo. La figura 18 muestra una placa típica de una bomba de engranajes con cuerpo de aluminio del proveedor REXROTH.

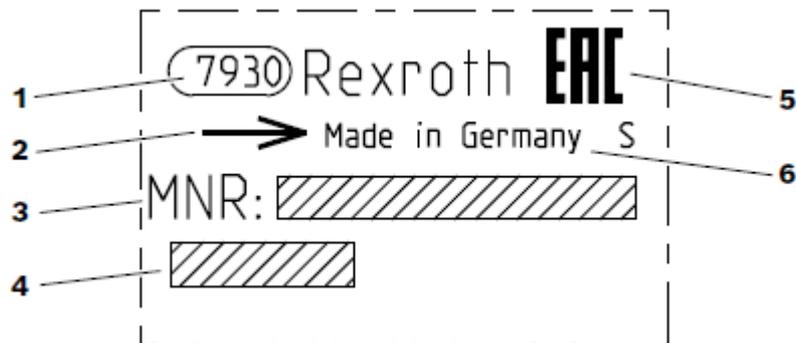


Figura 18. Placa de características bomba de engranajes con cuerpo de aluminio. [10]

En esta placa se encuentra la siguiente información [10]:

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, la caracterización ha sido determinada por la empresa y permite tener una identificación del equipo. Para ello es 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 recogen en la *tabla 5*. 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 (ϕ de registro 2"), SAE A (ϕ de registro $3\frac{1}{4}$ "), SAE B (ϕ 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 para bombas de engranajes:

$$Q = \frac{a^2 \times b \times 1800 \times 0,0017}{z} \quad [ec. 3]$$

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:

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

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 5. Identificación de bomba de engranajes de aluminio.

TAMAÑO	SUJECCIÓN	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 ubicar fácilmente con base en las tablas mostradas a continuación:

Tabla 6. Galonajes de bombas Parker según tipo y altura del piñón. [11]

P315

		GEAR WIDTH (Inches)						
		1/2"	3/4"	1"	1 1/4"	1 1/2"	1 3/4"	2"
cu in/rev		.62	.93	1.24	1.55	1.86	2.17	2.48
	cc/rev	10.20	15.20	20.30	25.40	30.50	35.60	40.60
gpm								
	lpm							
900		1.6	2.8	4.0	5.2	6.2	7.2	8.4
	6	11.5	15	19.5	23.5	27.7	32	
1200		2.4	3.9	5.4	6.9	8.6	10.1	11.7
	9	14.8	20.5	26.2	32.5	38.2	44	
1500		3.2	5.2	7.2	9.2	11.1	13	14.8
	12	19.2	27	34.8	42	48	56	
1800		4.0	6.4	8.7	11	13.4	16.7	18
	15	24	33	42	51	59.5	68	
2100		4.8	7.6	10.4	13.2	15.9	18.5	21.2
	18	29	39	50	60	70	80	
2400		5.6	8	12.0	15.2	18.2	21.2	24.2
	21	33.3	45.5	57.76	69	80.2	91.5	
3000		7.2	11.2	15.2	19.2	23.2	26.9	30.7
	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		.99	1.48	1.97	2.46	2.96	3.45	3.94
	cc/rev	16.10	24.20	32.30	40.40	48.40	56.50	64.60
gpm								
	lpm							
900		2	4	6	8	10	12	13.5
	9	16	23	30	38	45	51	
1200		3.5	6	8.5	11.5	14	16	18.5
	12	22	32	42	53	61	70	
1500		3.5	7.5	11	14.5	17.5	20.5	23.5
	20	31	42	55	66	78	89	
1800		6	10	14	18	21.5	25	29
	27	40	53	81	81	95	110	
2100		7.5	12	16.5	25	25	29.5	34
	28	45	62	79	95	112	129	
2400		9	14	19	24	29	34	39
	34	53	72	91	110	129	148	
2400		12.2	18.5	24.9	31.2	37.5	43.8	50.1
	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		1.91	2.55	3.19	3.83	4.46	5.10	5.74	5.74
	cc/rev	31.30	41.80	52.20	62.70	73.10	83.60	94.00	94.00
gpm									
	lpm								
900		6	8	10.5	13	15	17.5	20	22
	20	30	40	49	57	66	75	83	
1200		8.5	11.5	15	18	21	24	27	30
	31	44	57	68	79	91	102	114	
1500		10	14.5	19	23	27	31	35	39
	38	55	72	87	102	117	132	148	
1800		12	17.5	23	27.5	32.5	37.5	42	47
	45	66	87	104	123	142	159	178	
2100		15	21	27	32.5	38.5	44	49.5	55
	56	79	102	123	146	167	187	208	
2400		18	24.5	31	37	44	51	57	63.5
	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		2.70	3.60	4.50	5.40	6.30	7.20	8.10	9.00
	cc/rev	44.30	59.00	73.80	88.50	103.30	118.00	132.80	147.50
gpm									
	lpm								
900		7.5	10.5	13.5	17	20.5	24	27.5	31
	30	40	51	64	78	91	104	117	
1200		11	15.5	20	24.5	29	33.5	38	43
	43	59	75	93	110	127	144	163	
1500		15	20	25.5	31	37.5	43	49	55
	55	76	97	117	142	163	185	208	
1800		17.5	24.5	31.5	38	45.5	52	59	66
	67	93	119	144	172	197	223	250	
2100		20.5	29	37.5	45.5	54	62	70	78
	78	110	142	172	204	235	265	295	
2400		25	34	43	52.5	62	71	80.5	90
	95	129	163	199	235	269	305	341	

4.2.5. Ensamble y desensamblaje

Las figuras 19 y 20 muestran los pasos que se deben realizar para realizar un correcto ensamble y desensamblaje de las bombas de engranajes basado en los pasos suministrados por los fabricantes. Se recomienda que en el desensamblaje se mantenga la orientación adecuada de las piezas; por ende, se puede guiar de un dibujo de despiece.

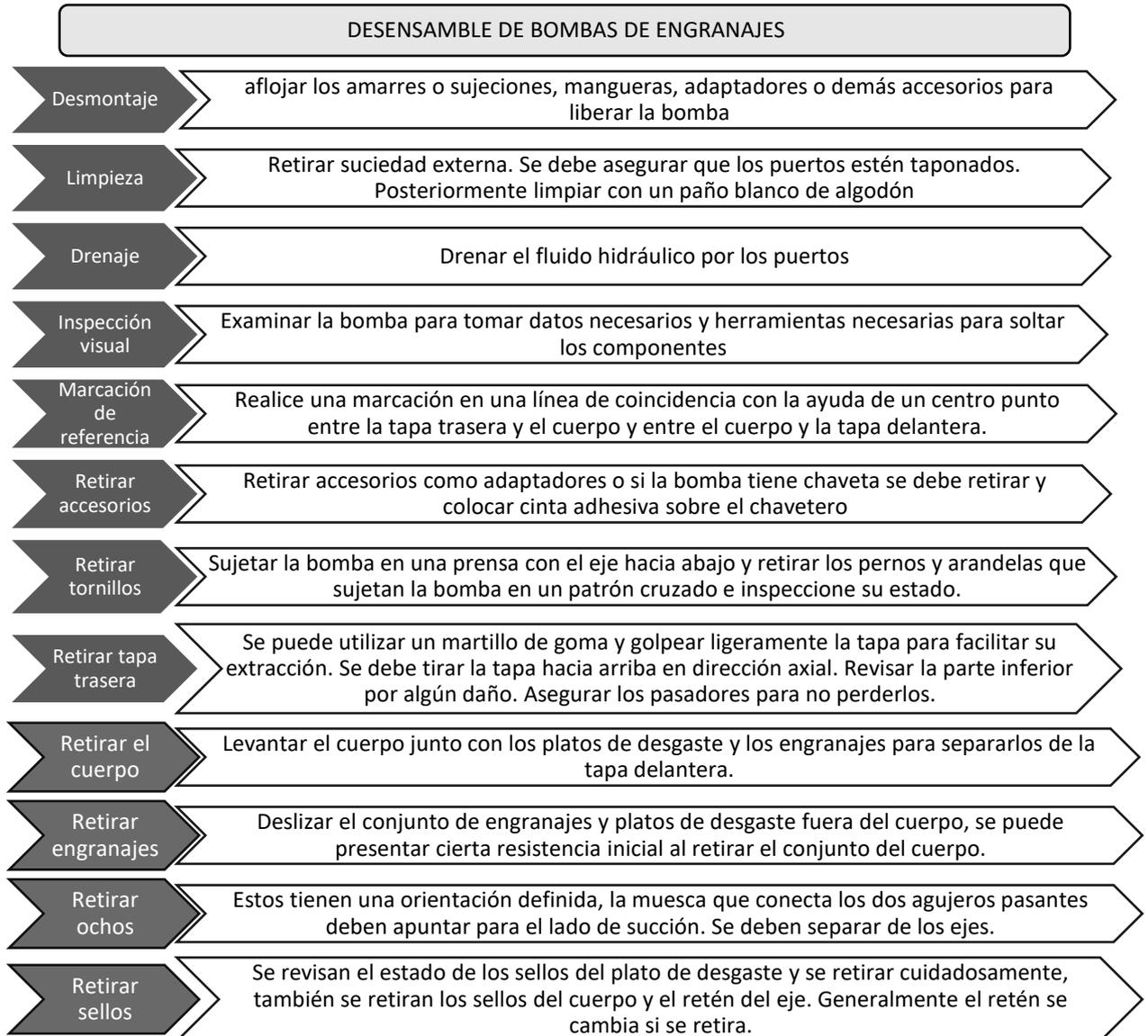


Figura 19. Pasos para desensamblar una bomba de engranajes.

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.

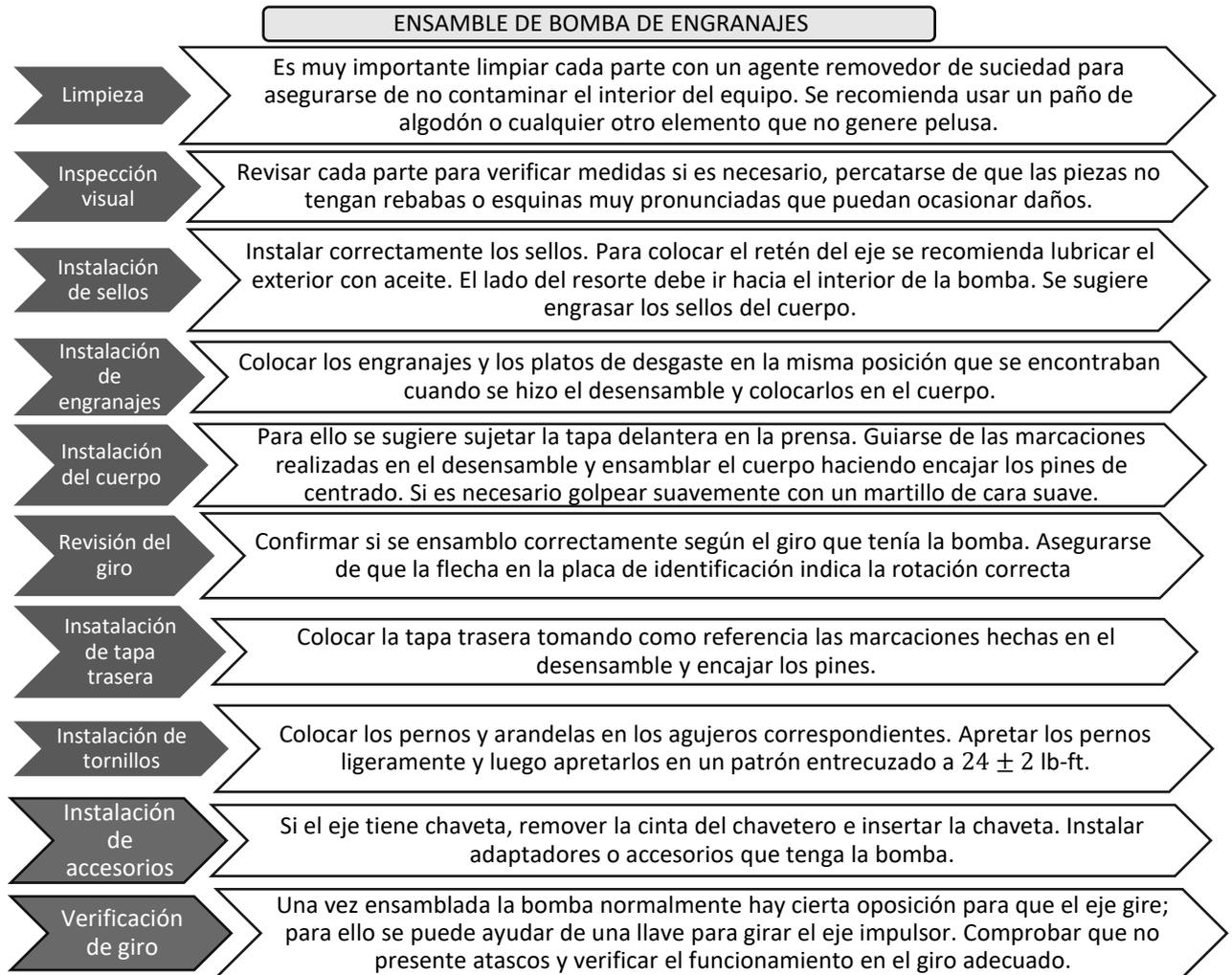


Figura 20. Pasos para Ensamblar una bomba de engranajes.

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 21*.

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

Figura 21. Torque para las bombas Parker Series PGP/PGM 300 series. [12]

4.2.6. Inspección y reparación

Luego de realizar el desensamble de la bomba, 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 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.

NOTA: 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 22*.

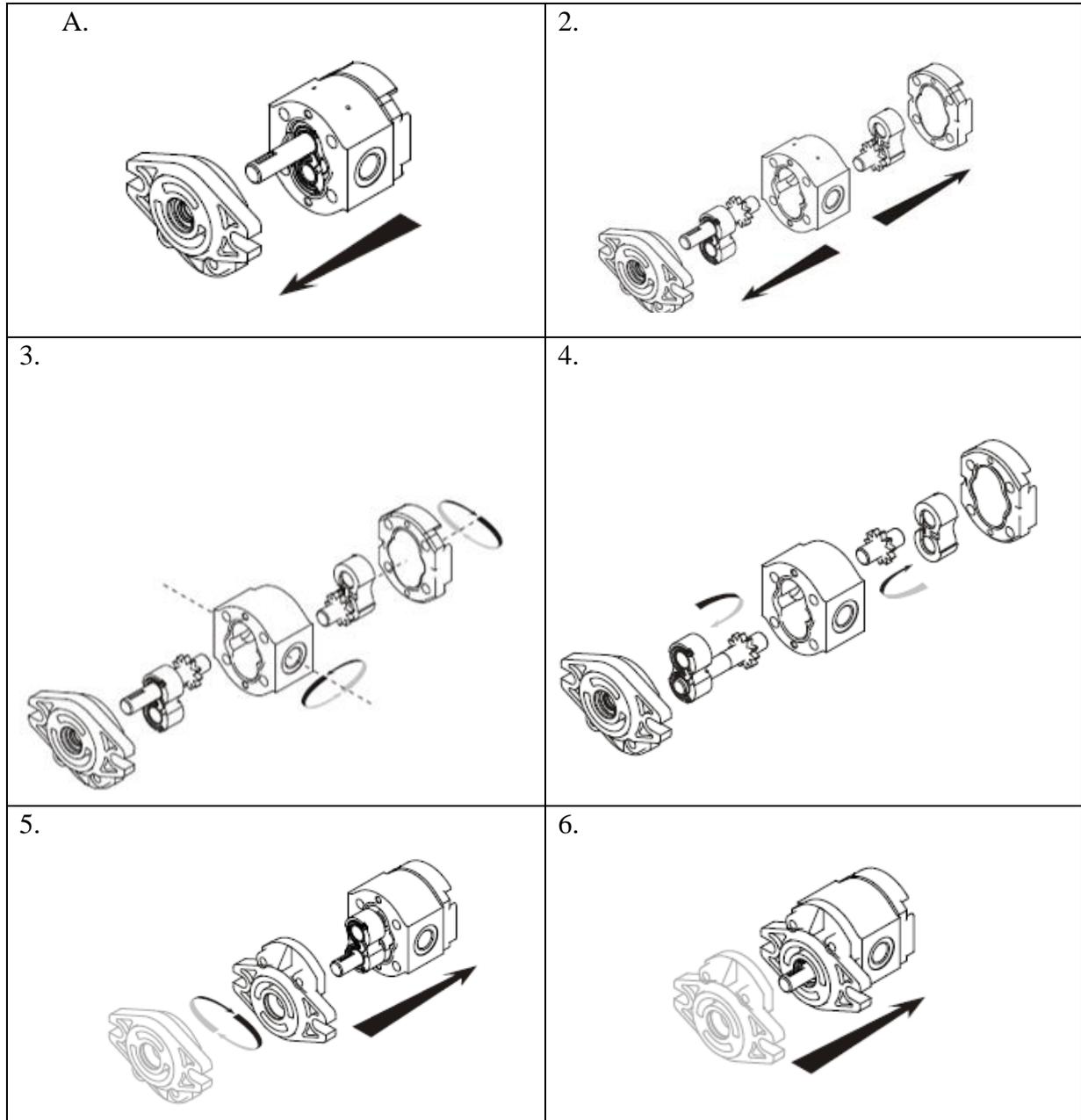


Figura 22. Cambio de giro a bombas de engranajes. [13]

4.2.7. Posibles fallas

Tabla 7. Posibles problemas presentes en los cilindros hidráulicos [10], [12]

PROBLEMA	CAUSA PROBABLE	SOLUCIÓN POSIBLE
Flujo de aceite bajo o nulo	Bajo nivel de aceite en el tanque	Agregar aceite hasta el nivel correcto
	Restricción en la línea de succión	Corregir o limpiar la restricción
	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.
	Platos de desgaste deformados, dañados o rayados	Reemplazar los platos de desgaste
	Fisuras en los puertos del cuerpo	Reemplazar la bomba
	Eje de la bomba no alineada o excéntrica	Alinear el accionamiento de la bomba
La bomba no desarrolla la presión completa	Placas de desgaste deformadas, dañadas o rayadas	Reemplazar los platos de desgaste
	Fisuras en los puertos del cuerpo	Reemplazar la bomba
	Desgaste en el cuerpo, eje	Reemplazo de partes o bomba
	Presiones excesivas	Ajustar la válvula de alivio
	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	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
	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	El sello del eje está desgastado o fue cortado por el eje durante el montaje	Reemplazar el sello del eje
	Fluido incompatible con el sello	Utilizar fluidos compatibles
	Porosidad de la fundición en la caja del sello en la tapa delantera	Cambiar la tapa delantera
	Eje de la bomba no alineada o excéntrica	Alinear el accionamiento de la bomba

4.3. 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 [14]. 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.

4.3.1. Construcción

Las *figuras 23 a 26* 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 27*.



Figura 23. Construcción de las bombas de pistones Rexroth series A10vO [15]

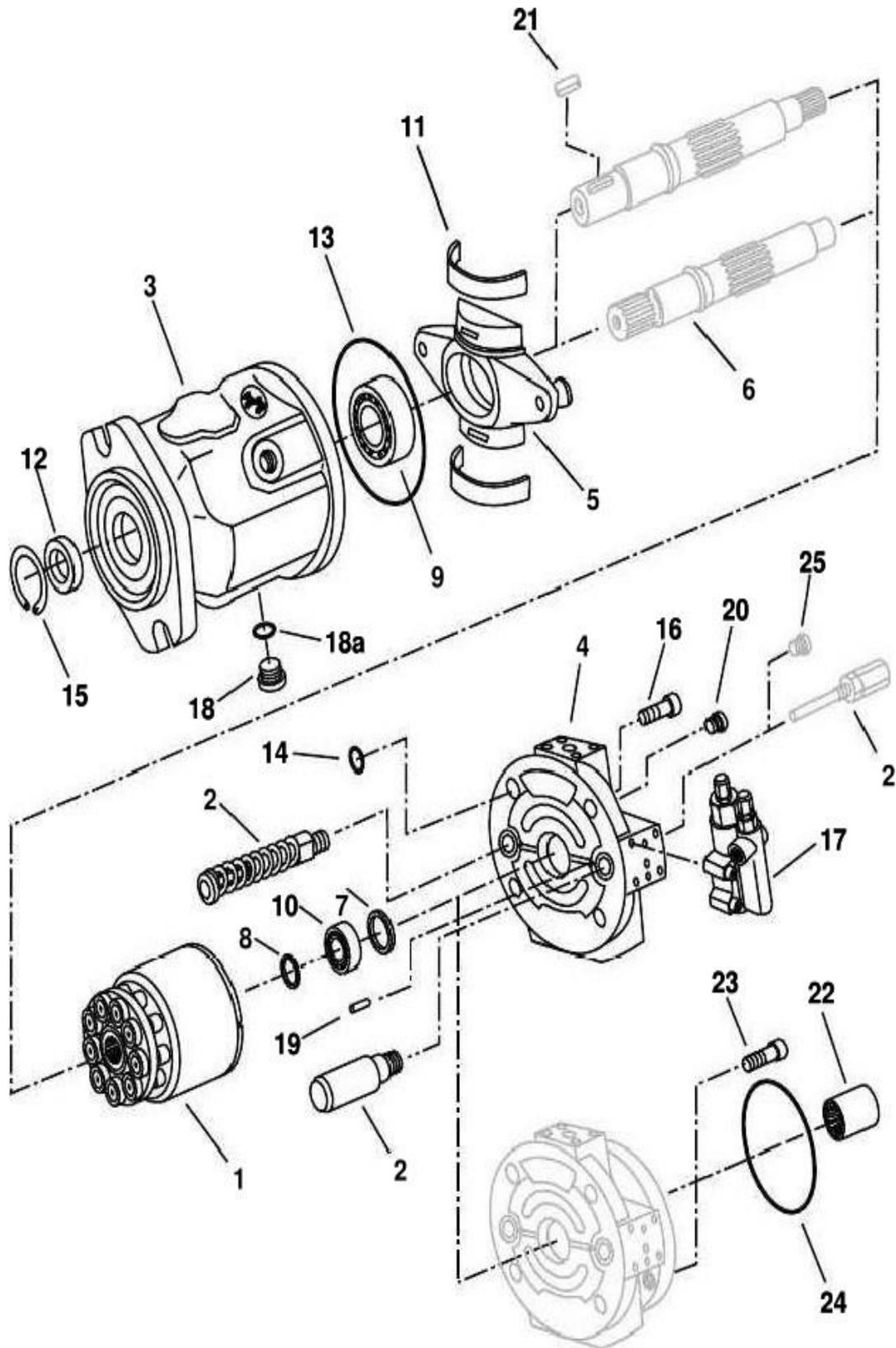


Figura 24. Componentes de la bomba de pistones Rexroth A10VO series 31. [16]

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 reciprocantes.
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 25* muestra las partes que componen el conjunto rotativo.

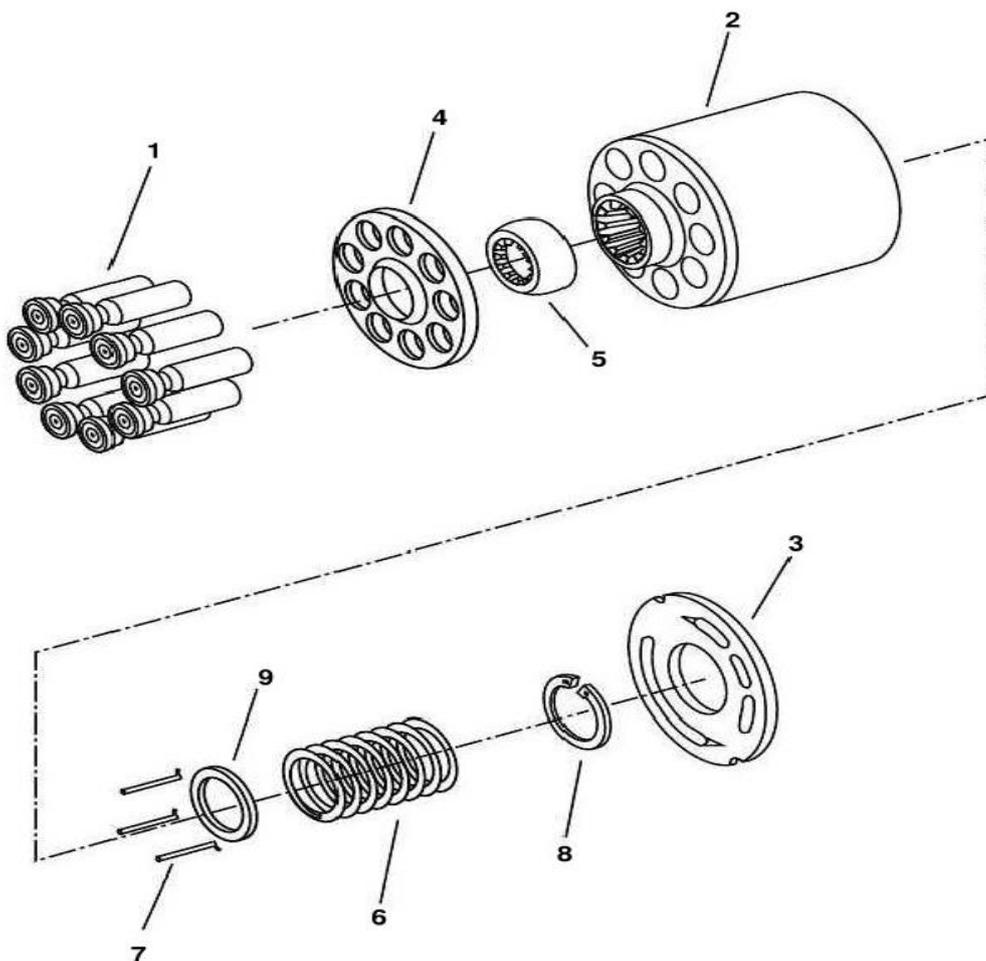


Figura 25. Componentes grupo rotativo en bombas de pistones Rexroth A10v0 series 31. [16]

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 26* muestra el ensamble del pistón de control:

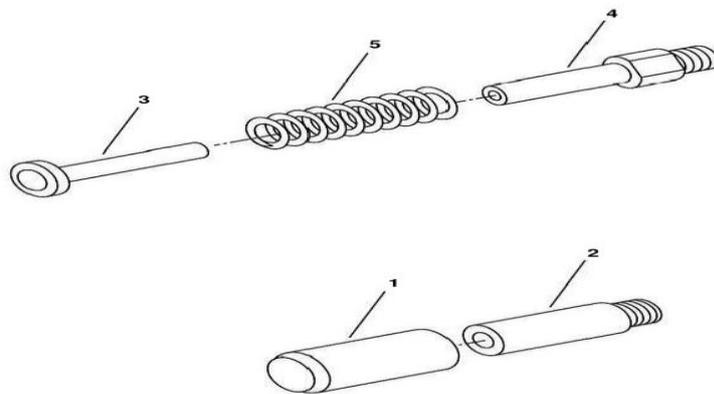


Figura 26. Componentes del pistón de control de las bombas de pistones Rexroth A10vO series 31. [16]

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 27 muestra los componentes de las válvulas de control:

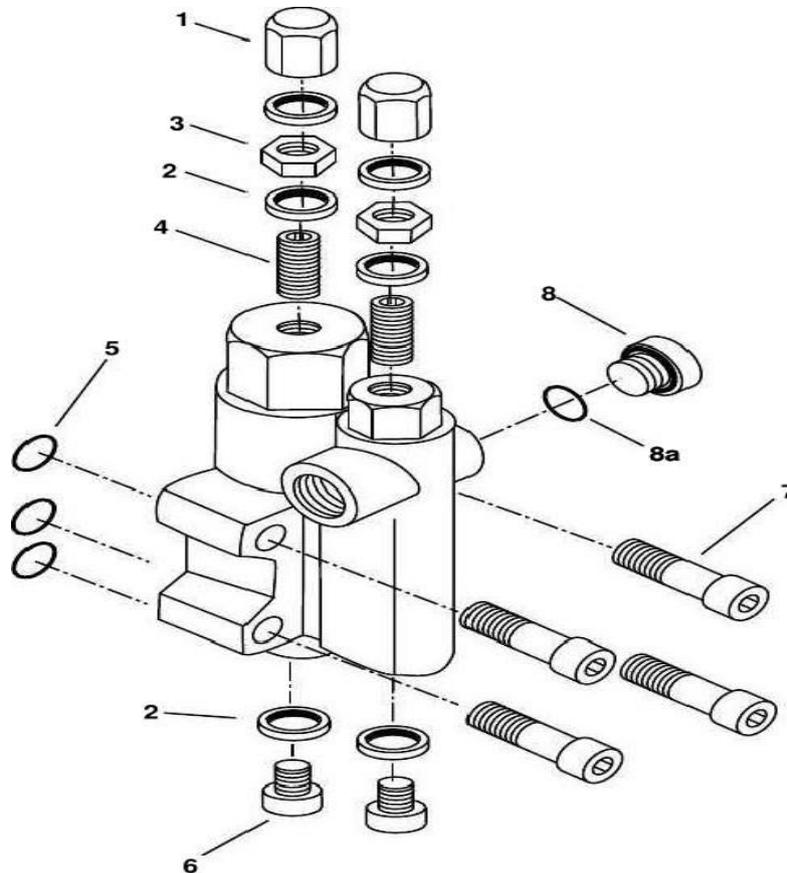


Figura 27. Componentes de válvulas de control en bomba de pistones Rexroth A10vO series 31. [16]

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 (Plung and O-ring)

4.3.2. 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. [14] como se muestra en la *figura 28*. 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.

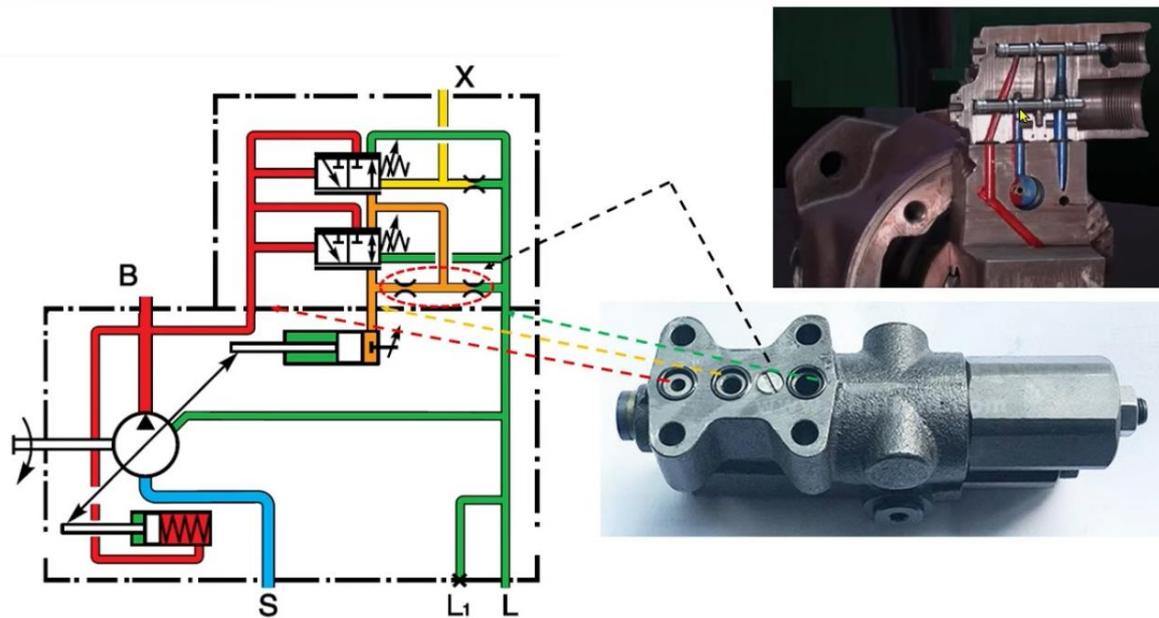


Figura 28. Válvulas de control de las bombas de pistones Rexroth A10VO series 31 [10]

- **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 29*; 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 30*; adicionalmente se muestra el esquema hidráulico para este tipo de bombas.

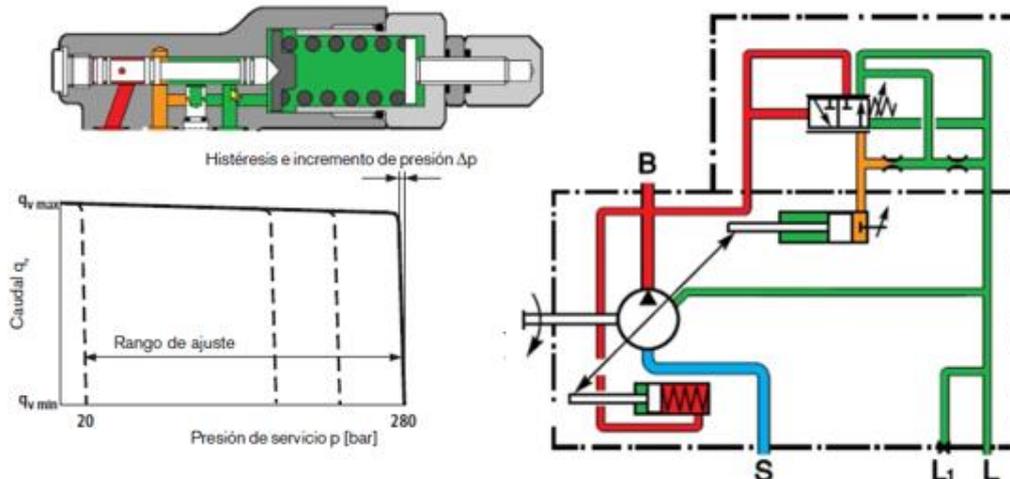


Figura 29. Circuito hidráulico de una bomba con compensador de presión DR [10]

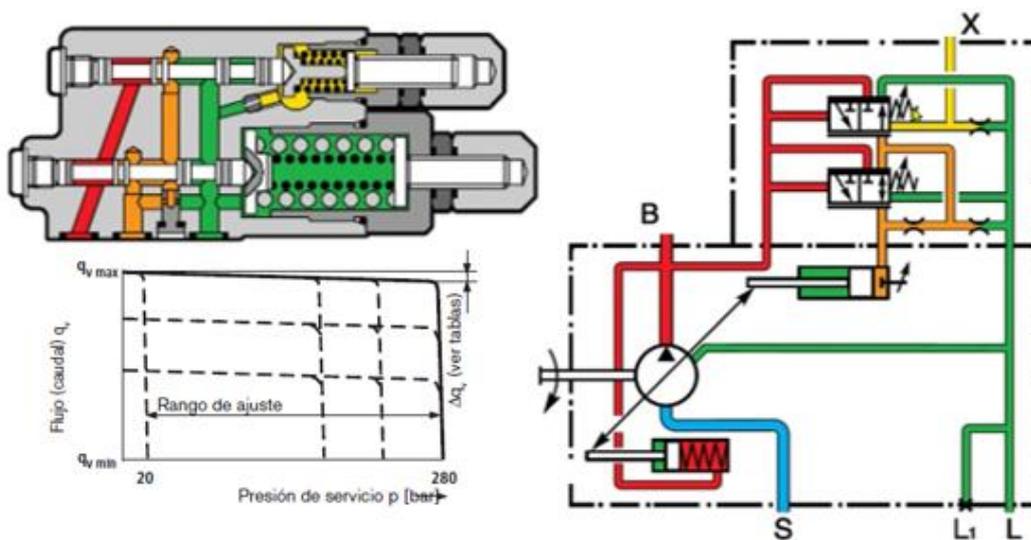


Figura 30. Funcionamiento de las válvulas de control en las bombas Rexroth A10VO series 31 [10]

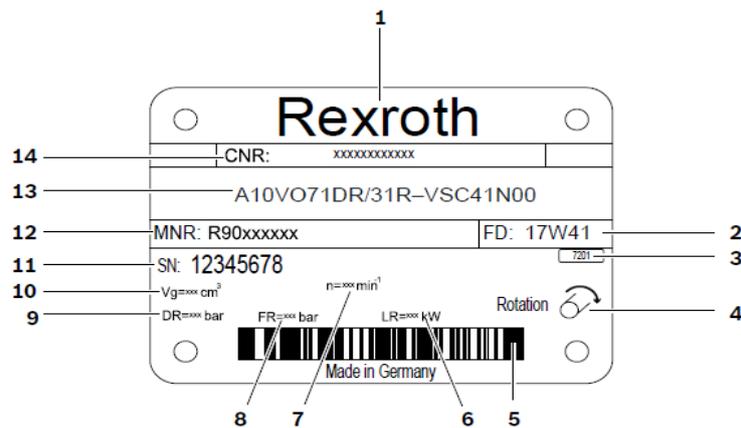
En este tipo de control se presentan tres estados:

- 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 trava 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.

4.3.3. 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 31* muestra una placa característica para este tipo de bombas donde se muestra información del código del modelo, número de serie, el numero de la unidad, sentido de rotación, año y lugar de fabricación.



Fabricante Manufacturer	8. Ajuste de flujo (opcional) Flow setting (optional)
2. Fecha de fabricación Manufacturing date	9. Configuración del control de presión (opcional) Pressure control setting (optional)
3. Designación de planta interna Internal plant designation	10. Desplazamiento Displacement
4. Sentido de giro Direction of rotation	11. Número de serie Serial number
5. Código de barras Bar code	12. Número de material de la unidad Material number of the axial piston unit
6. Configuración de potencia (opcional) Power setting	13. Código de tipo Type code
7. Velocidad de rotación Rotational speed	14. Número de material del cliente Customer material number

Figura 31. Placa identificadora de las bombas Rexroth A10VO series 31. [16]

Sin embargo, si el equipo no tiene una placa de identificación, la *tabla 9* muestra las principales características con las cuales se pueden identificar este tipo de bombas.

Tabla 9. Identificación de bombas de pistones Rexroth A10VO series 31 [15] y [17]

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

4.3.4. Ensamble y desensamble

Nota: Las *figuras 32, 33, 34 y 35* 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.

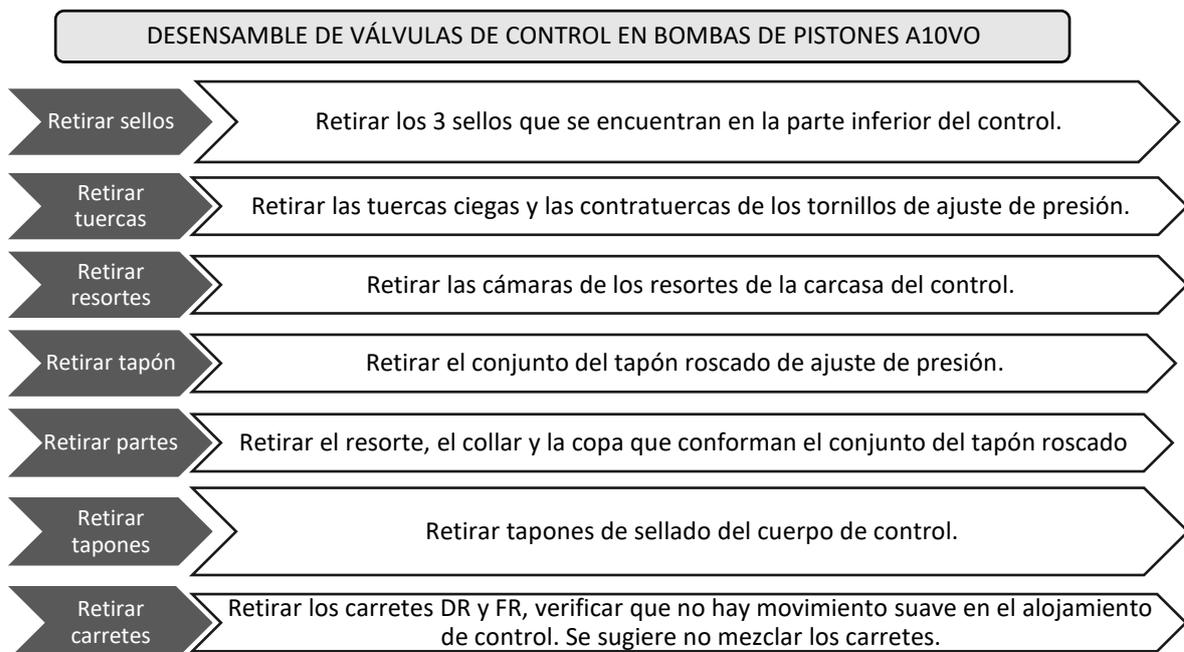


Figura 32. Desensamble de válvulas de control en bombas de pistones Rexroth A10VO series 31

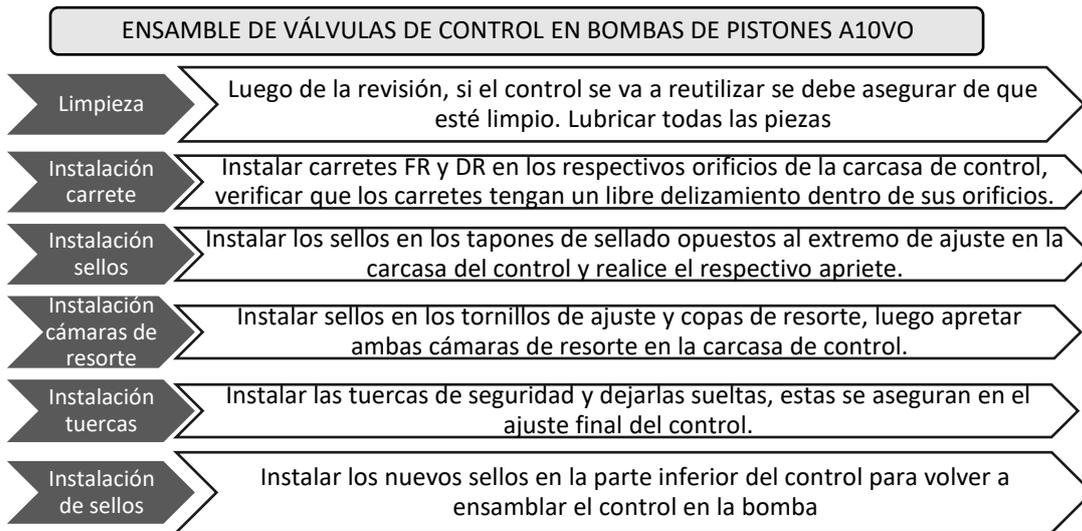


Figura 33. Ensamble de válvulas de control en bombas de pistones Rexroth A10VO series 31



Figura 34. Desensamble de las bombas de pistones Rexroth A10VO series 31.

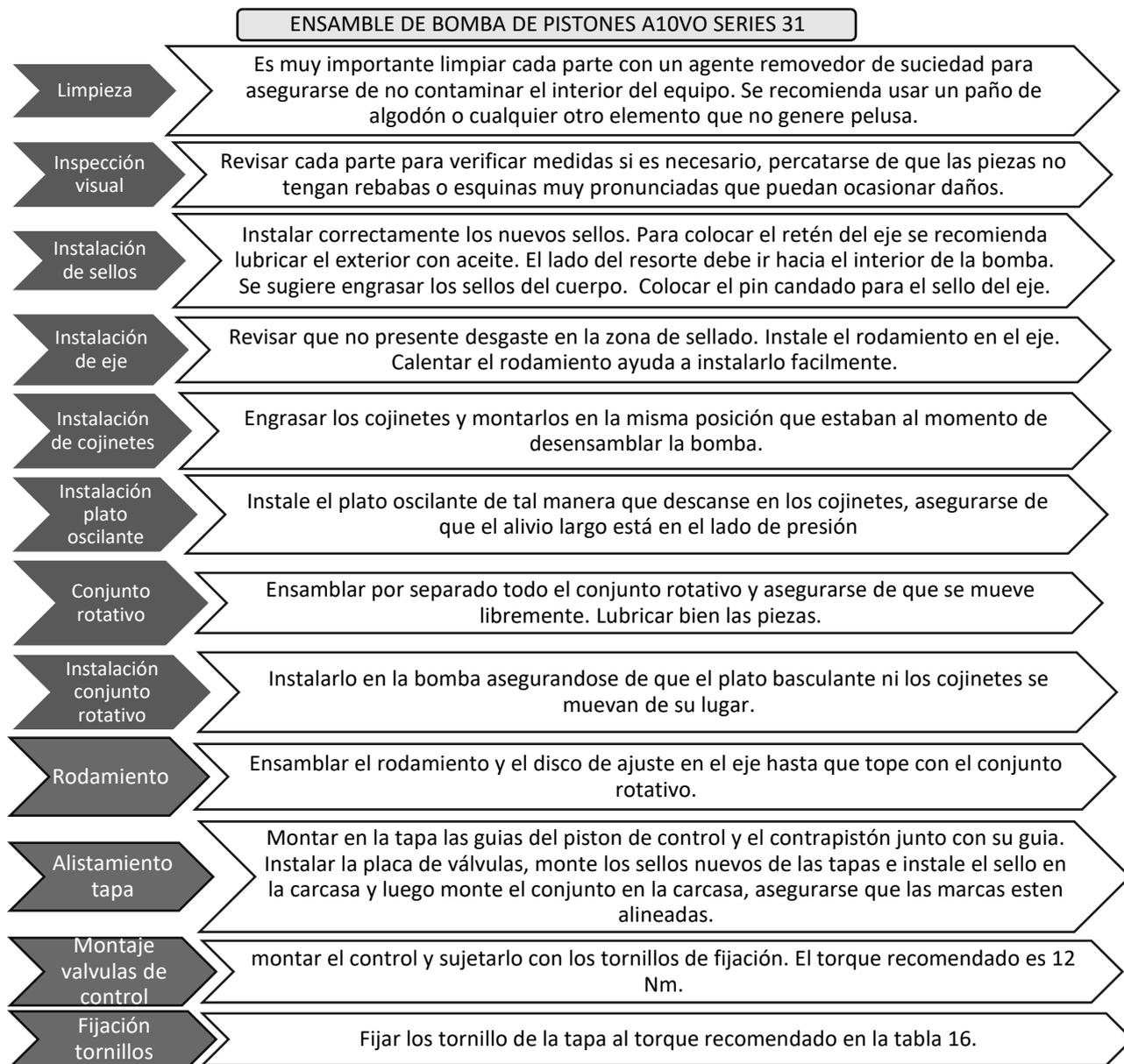


Figura 35. Ensamble de bomba de pistones Rexroth A10VO series 31

La *tabla 10* muestra los torques recomendados para la fijación de las tapas según el fabricante.

Tabla 10. Torques máximos recomendados por Rexroth [18]

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

4.3.5. Inspección y reparación

Luego de realizar el desensamble de la bomba, 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 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 contrapisón 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.

4.3.6. Posibles fallas

Tabla 11. Posibles fallas de las bombas de pistones Rexroth A10VO series 31 [19]

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 alta, presión 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	Desensamblar y revisar o cambiar	

	control de la unidad de pistones axiales	
	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	Reemplace las partes o la unidad	

	de pistones axiales	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 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
	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

4.3.7. Estándar de trabajo para bombas de pistones

Tabla 12. Estándar de trabajo para la intervención de bombas de pistones.

ESTÁNDAR DE TRABAJO PARA INTERVENCIÓN DE BOMBAS DE PISTONES										
ESPECIFICACIONES DE TRABAJO										
Responsable						Tiempo (horas - Fecha)				
ALISTAMIENTO				HOMOLOGACIÓN			MANTENIMIENTO			
Detalles:										
CARACTERÍSTICAS DEL EQUIPO										
Responsable						Tiempo (horas - Fecha)				
TIPO DE BOMBA										
A10VS018		A10V028		A10V045		A10V071		A10V100		A10V140
Simple: Múltiple:				Tamaño:			Eje:			
Sujeción:				Caudal:			Puertos:			
Detalles:										
REVISIÓN Y DIAGNÓSTICO										
PARTES DEL EQUIPO		ESTADO		CARACTERÍSTICAS GENERALES	OBSERVACIÓN					
		BUENO	MALO							
Tapa delantera										
Retenedor										
Bujes										
Rodamiento(s)										
Dowel pin										
Tapa trasera										
Válvulas de control										
Tapón dreño										
Casquetes										
Swash plate										
Eje										
Conjunto rotativo	Pistones									
	Cylinder block									
	Valve plate									
	Retaining plate									
	Ball guide									
	Resorte									
Pistón de control	Pines									
	Control piston									
	Control piston guide									
	Counter piston									
	Counter piston guide									
Resorte										
Sellos										
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 / OBSERVACIONES				Tiempo (horas - Fecha)		
Maquinado										
Limpieza										
Verificación medidas, ajustes, tolerancias										
Ensamble										
Pruebas										
Marcación y pintura										

5. 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.

5.1. 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 [2]:

- 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.

5.2. Tipos

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

5.3. 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.

5.4. 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 [20].

Su construcción está basada en el principio de un conjunto orbital, en el cual se presentan dos construcciones: geroler y gerotor tal como se muestra en la *figura 36*. 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.

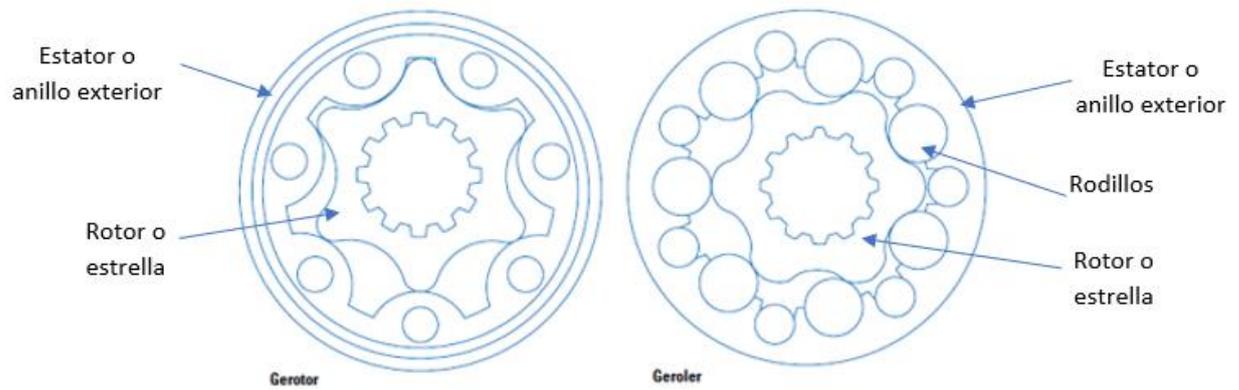


Figura 36. Construcción tipo Gerotor y Geroler [20]

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 generalmente.

- **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 37* [20].

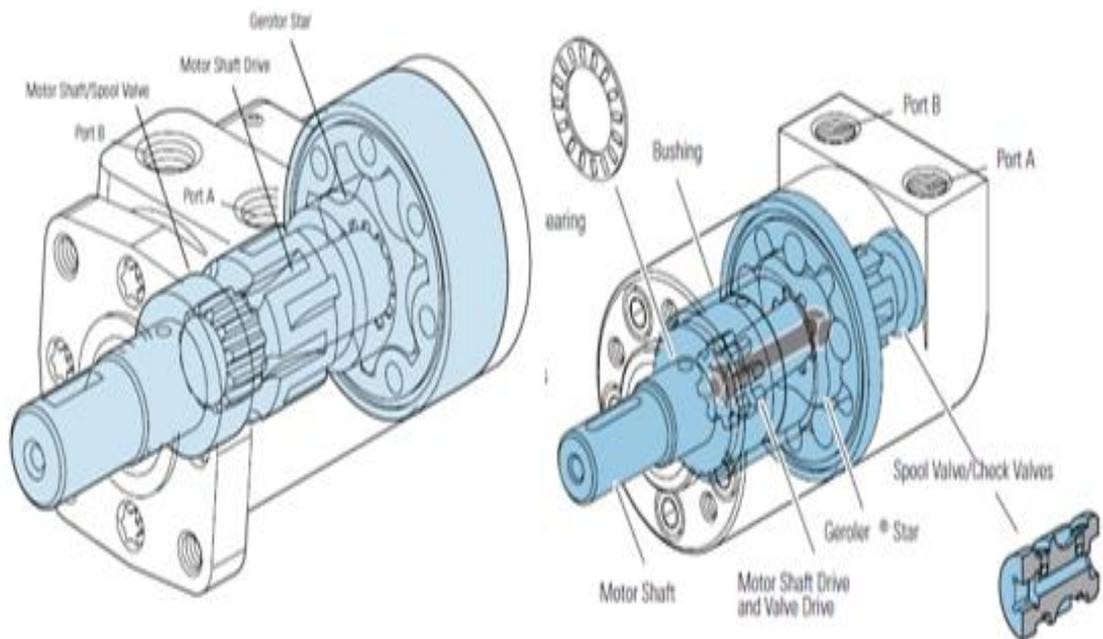


Figura 37. Construcción de motores tipo orbital con válvulas de carrete.[20]

- **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 38*.

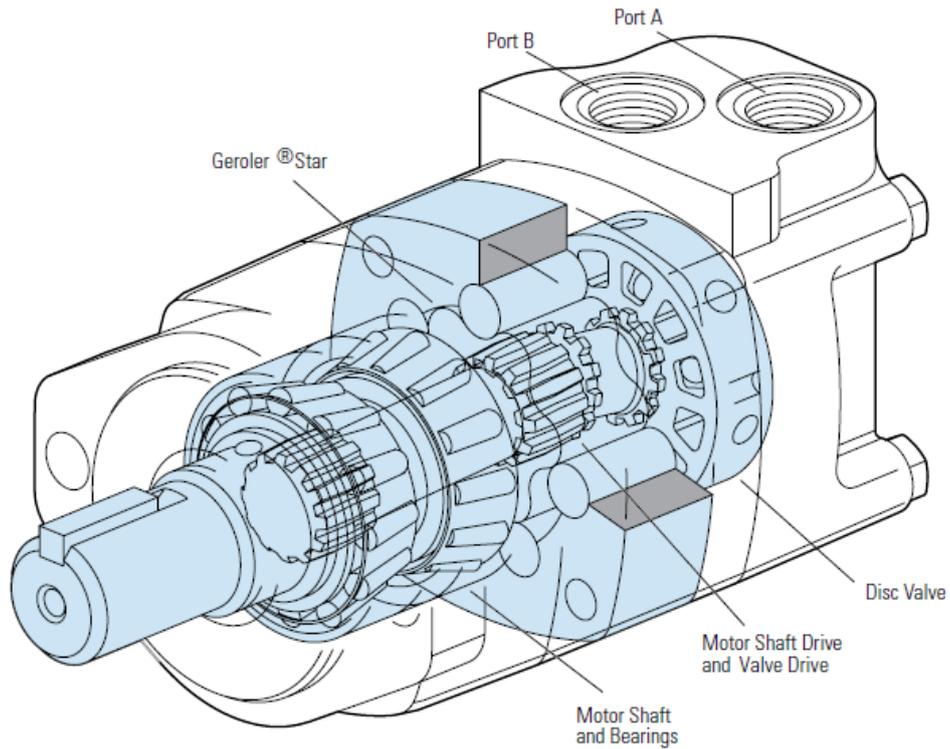


Figura 38. Construcción motores tipo orbital con válvulas de disco. [20]

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 39*, 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.

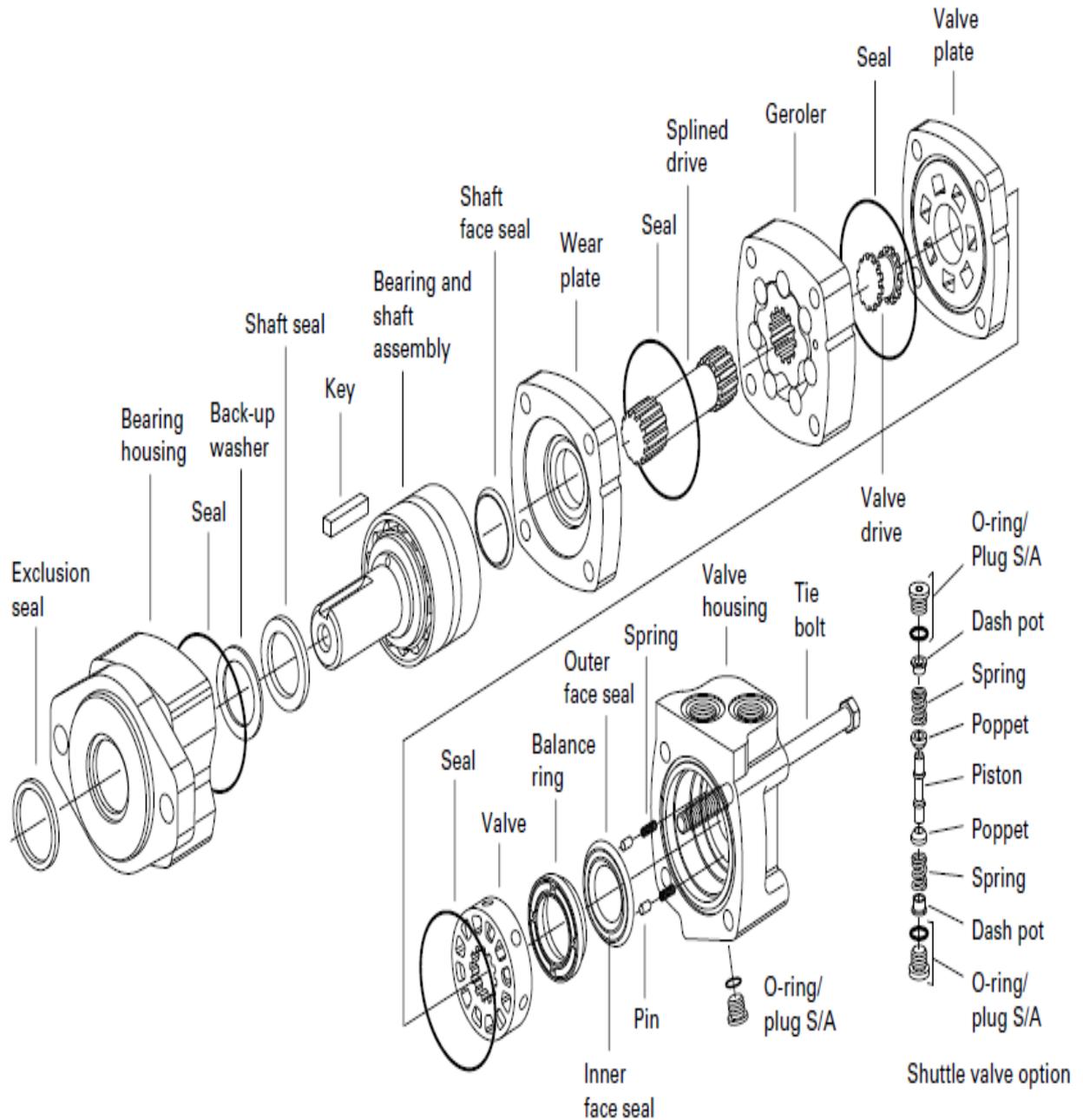


Figura 39. Componentes motores Eaton 2000 Series [20]

5.5. 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 40.

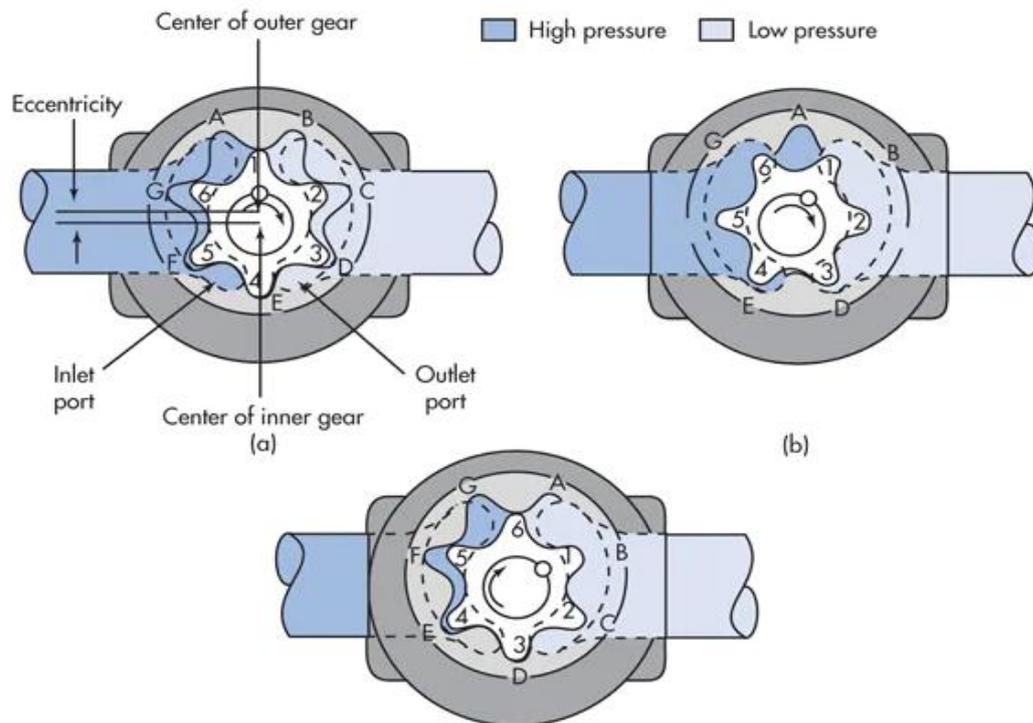


Figura 40. Excentricidad en motores tipo orbitales [21]

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 40* 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 de identificación de motores 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 [20]; 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.

5.6. Identificación

La identificación como todo componente hidráulico se debe hacer por medio de la placa de identificación tal como se muestra en la *figura 41*.

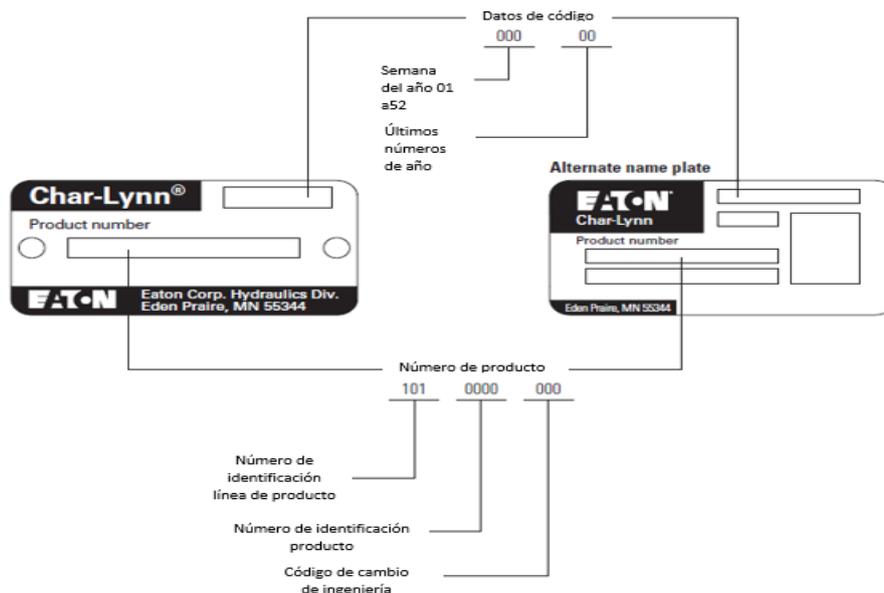


Figura 41. Placa identificación motores tipo orbital Char-Lynn Eaton. [20]

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 42* para tal fin.

MOUNTING SHAFT	PORT SIZE	DISPL. cm ³ /r [in ³ /r] / PRODUCT NUMBER											
		41*	80	90	100	130	160	195	245	305	395	490	
		[2.5]	[4.9]	[5.5]	[6.2]	[8.0]	[9.6]	[11.9]	[14.9]	[18.7]	[24.0]	[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	—	
Bearingless	7/8 -14 O-ring Staggered		106—	-1008	—	-1009	-1010	-1011	-1012	-1013	-1014	-1015	-1047
		G 1/2 (BSP)	106—	-1038	—	-1039	-1040	-1041	-1042	-1043	-1044	-1045	—

Figura 42. Identificación del tipo de producto motores Char-lynn Eaton. [20]

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 13. Características para la identificación de un motor tipo orbital. [20]

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

5.7. Ensamble y desensamblable



Figura 43. Desensamblaje de motores tipo orbital Char-Lynn Eaton

Nota: *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 44. Ensamble de motores tipo orbital Char-Lynn Eaton

5.8. Inspección y reparación

Luego de realizar el desensamble del motor 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 las carcasas en los cuerpos y tapas, pues si estas partes se encuentran 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.

5.9. Posibles fallas

Tabla 14. Posibles fallas de motores tipo orbital. [8]

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
		Precalear 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

Referencias bibliográficas

- [1] Sperry Vickers, *Manual de oleo hidráulica industrial*, 2a ed. España, 1981.
- [2] H. Exner *et al.*, *Fundamentos y componentes de la oleohidráulica*. Bruenighaus Hydromatik GmbH.
- [3] INACAP, “Manual de hidráulica y neumática”, Santiago de Chile, 2002.
- [4] “hydraulic-calculation.com”, *Cilindros hidráulicos*, 2014. hydraulic-calculation.com.
- [5] 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>.
- [6] D. Tecnico, “MANUAL DEL ESTUDIANTE INSTRUCCIÓN TÉCNICA CURSO : Hidráulica I y II TEMA : Concptos Básicos , Componentes”, 2001, [En línea]. Disponible en: <http://www.ceduc.cl/aula/lebu/materiales/IC/IC-410/MANUAL DEL ESTUDIANTE HIDRAULICO.pdf>.
- [7] K. Kowalski y T. Zloto, “Exploitation and Repair of Hydraulic Cylinders Used in Mobile Machinery”, vol. 14, núm. 4, pp. 53–58, 2014.
- [8] C. H. Rueda, “Manual de mantenimiento hidráulico”, Santafé de Bogotá, 1999.
- [9] F. Guevara, J. A. Franco, y D. Garza, *Potencia fluida*. Naucalpan de Juárez, Mexico.: Pearson Educación de Mexico, 2015.
- [10] Oleohidráulica avanzada by Ric Rach, “Funcionamiento del sistema Load Sensing”, 6 de junio, 2020. .
- [11] Parker Hannifiin Corporation, “Pump and motor division PGP/PGM 300 Series”, 2021. doi: 10.1016/s0262-1762(04)00347-5.
- [12] Parker Hannifiin Corporation, “Pump & Motor Division PGP/PGM 300 Series - Service Manual”, p. 32, 2020.
- [13] S. S.A., *Manual básico de oleohidráulica*, 2°. Cordoba - Argentina, 2005.
- [14] BOSCH REXROTH CANADA CORP., “A10VO Variable Displacement Piston Pump Technical Information Manual”, Burlington, Ontario, 1996.
- [15] B. Rexroth, “A10VO”, 2013.
- [16] B. REXROTH, “Service Parts List”.
- [17] Rexroth Bosch Group, “Bomba variable a pistones axiales A10V(S)O”, Germany, 2017.

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