

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
SEDE CONCEPCIÓN REY BALDUINO DE BÉLGICA

Puesta en servicio de un sistema de impulsión mediante la utilización de válvulas de
recirculación automática.

Trabajo de grado para optar al título de
**INGENIERO EN MANTENIMIENTO
INDUSTRIAL**

Alumno: Roberto Parra Cortés.

Profesor Guía: Víctor Valdebenito Cartes.

Dedicatoria

A Mónica, mi mujer, que me señaló el rumbo y me hizo creer en mí, además de soportarme, sacrificar su tiempo y nuestro tiempo en pareja, para que yo pudiera estudiar y cerrar un ciclo de 30 años.

Agradecimientos

A mis hijos, Javier, Juan Pablo y Anamaría, que acomodaron su vida para no interrumpir mis estudios, por sus palabras de aliento y sus abrazos mágicos.

A Rimval Ltda. por financiar mis estudios y creer en mí.

Resumen

La minería del cobre, principal producto minero de Chile, utiliza en su proceso grandes cantidades de agua en cada una de sus diferentes etapas, razón por la cual se han realizado múltiples desarrollos para el ahorro, la recirculación de aguas de proceso y la utilización de agua de mar, desalada o sin desalar, buscando dejar de utilizar el agua continental, pero aún con estos esfuerzos, el consumo promedio de agua continental durante el año 2019 fue de 12,45 m³/s, o el equivalente al agua utilizada por 7.909.412 personas durante un día.

Desde el comienzo, en la minería, se ha utilizado el agua proveniente de los acuíferos cercanos, pero el crecimiento exponencial de las faenas y el agotamiento de los acuíferos ha llevado a las compañías a realizar inversiones y proyectos innovadores para abastecer de agua sus procesos, logrando reutilizar 53,32 m³/s y producir al menos 4.06 m³/s de agua desalada.

Si se suman los tres consumos descritos anteriormente, se llega a la cifra de 69,83 m³/s, equivalente al agua que necesitan 44.365.129 personas al día, más menos 2,3 veces la población de Chile al 2021. Es importante destacar que en este punto se habla de agua industrial, no de agua potable o apta para uso humano.

Conocidas las cifras, los esfuerzos de la minería están puestos en dejar de utilizar agua continental, aumentando el uso de agua de mar desalada y mejorar las tecnologías de reutilización del agua de proceso. Pareciera ser el camino de la desalación la respuesta lógica para dejar de usar el agua de origen continental y que esta solo se utilice para consumo humano, más, cambiar el uso de aguas, implicó grandes costos económicos que la minería debió asumir, entre ellos, los que se enumerarán a continuación.

Primero, la implementación de tecnologías que puedan, entre otras situaciones, sortear la geografía existente en el país, implementando sistemas de bombeo e impulsión a gran escala, para impulsar el agua salada o desalada desde la costa hasta la alta cordillera. Segundo, el aumento en el precio del metro cúbico del agua impulsada versus el precio del metro cúbico del agua continental. Tercero, el costo del precio de desalar agua continental, versus el precio de utilizar agua continental. Cuarto, el aumento del precio de la energía eléctrica. Quinto, capacitación de

personal idóneo para la operación y mantenimiento de los nuevos sistemas de impulsión. Sexto, durante la puesta en marcha del sistema, se deben seguir varios pasos críticos, uno de ellos, es el llenado de la línea principal de impulsión, cuyos pasos claves son: llenado del sistema de cañerías mediante movimiento de caudal a baja presión; limpieza de la cañería principal, utilizando PIG de limpieza y de medición de espesores; purga del aire presente en las cañerías, utilizando válvulas de venteo instaladas en puntos estratégicos del recorrido de la cañería. Este proceso, dependiendo del diámetro y recorrido de la cañería, toma bastante tiempo, en algunos casos días, pues por diseño se debe hacer muy lentamente.

Uno de los objetivos de esta tesis es demostrar matemáticamente, la disminución efectiva de los tiempos de llenado de los ductos de impulsión, utilizando, a modo de ejemplo, tres sistemas de impulsión de cuatro bombas, uno con llenado tradicional con variador de frecuencia, uno con línea de llenado y uno con una válvula de recirculación provista de arranque manual para llenado rápido de línea.

Palabras clave: minería del cobre – agua – desalación – reutilización - impulsión

ÍNDICE DE MATERIAS

Dedicatoria II

Agradecimientos III

Resumen IV

Simbología..... XIII

Introducción..... 1

 Objetivo General. 2

 Objetivos Específicos 2

 Justificación del tema 3

 Estructura del informe..... 3

Capítulo 1: Marco teórico..... 4

 1.1 Descripción de los procesos estudiados 4

 1.2 Uso de agua de mar en minería..... 7

 1.2.1 El desafío en el uso de agua de mar 7

 1.3 Propuesta de sistema de control..... 8

 1.4 Componentes de una línea de impulsión y recirculación tradicional..... 9

 1.4.1 Válvula Check. 9

 1.4.2 Sensor De Flujo. 10

 1.4.3 Válvula de Compuerta 11

 1.4.4 PLC. 12

 1.4.5 Válvula Check..... 12

 1.4.6 Placa orificio..... 12

 1.5 Bombas de Impulsión de Flujo. 13

 1.5.1 ¿Qué es una Bomba de impulsión de flujo? 13

 1.5.2 Protección de una bomba centrífuga. 14

 1.5.3 Partidas con bombas de alta y baja velocidad disponible (Ns). 14

 1.5.4 Detención de una bomba. 18

1.5.5 Método de impulsión actual o tradicional (Automatizado).....	19
 Capítulo 2: Comparación matemática de componentes en los sistemas de impulsión	
propuestos como ejemplos.....	21
 2.1 Descripción de un Sistema de impulsión de agua a gran presión	21
2.1.1 Sistema de impulsión de agua de mar desalada, fundo escondido.	21
2.1.2 Datos de instalación de un sistema tradicional por cada unidad de bombeo.	22
2.1.3 Especificaciones de los accesorios en la succión.	22
2.1.4 Especificaciones de los accesorios en la impulsión.....	22
2.1.5 Especificaciones de los accesorios en la recirculación.....	23
2.1.6 Datos de operación en la impulsión.	23
2.1.7 Datos en la descarga de la bomba.	23
2.1.8 Datos después de la válvula check de impulsión.	23
2.1.9 Datos del fluido en la línea de impulsión.....	23
2.1.10 Resumen del cuadro de válvulas y accesorios en línea tradicional.	24
 Capítulo 3: Posibles fallas y recomendaciones de mantenimiento de los componentes de	
líneas de impulsión propuestas.	25
 3.1 Posibles escenarios en caso de falla o interrupción del proceso	25
3.1.1 Falla de la bomba o pérdida de eficiencia en la impulsión.	25
3.1.2 Blackout.	25
3.1.3 Estrangulamiento o falla en la línea.....	26
 3.2 Posibles fallas en los accesorios de la impulsión.....	27
3.2.1 Falla en la válvula de corte en la línea de impulsión.....	27
3.2.2 Falla en la válvula de recirculación.	28
 3.3 Descripción de los componentes a utilizar en la línea de impulsión propuesta	29
3.3.1 Válvula de Recirculación Automática.....	29
 3.4 Puesta en servicio de la bomba utilizando una válvula ARV	31
 3.5 Datos de instalación propuesta para cada unidad de bombeo.....	33
3.5.1 Especificaciones de la bomba.	33
3.5.2 Especificaciones de los accesorios en la succión.	33

3.5.3 Especificaciones de los accesorios en la impulsión.....	33
3.5.4 Especificaciones de los accesorios en la recirculación.....	34
3.6 Datos de operación en la impulsión	34
3.6.1 Datos en la succión de la bomba.	34
3.6.2 Datos en la descarga de la bomba.	34
3.6.3 Datos después de la instalación de la válvula de recirculación automática.	34
3.6.4 Datos del fluido en la línea de impulsión.....	35
3.7 Resumen del cuadro de válvulas y accesorios en línea propuesta.....	35
3.8 Posibles escenarios en caso de falla o interrupción del proceso	35
3.8.1 Falla de la bomba o pérdida de eficiencia en la impulsión.	35
3.8.2 Blackout.	36
3.8.3 Estrangulamiento o falla en la línea.....	37
3.9 Posibles fallas de una válvula ARV	37
<i>Capítulo 4: Mantenimiento de válvulas presentes en un circuito tradicional.....</i>	<i>39</i>
4.1 Válvulas de compuerta.	39
4.1.1. Desmontaje de la válvula.....	40
4.1.2. Procedimiento para la reparación de la superficie del asiento y cuña.	41
4.1.3. Procedimiento de dureza.....	41
4.1.4. Operación de lapeado y acabado.	42
4.1.5. Reparación del vástago.....	42
4.1.6. Instalación de válvulas socket weld.	42
4.1.7. Limpieza y lubricación del vástago.....	44
4.1.8. Cuidados generales.....	44
4.1.9. Mantenimiento.....	44
4.1.10. Instrucciones de operación para válvulas motorizadas.	45
4.1.11. Válvulas de accionamiento neumático (válvulas de compuerta).	46
4.1.12. Precauciones.....	48
4.2 Pressure Seal valves (Válvulas cierre a presión).....	49
4.2.1 Desmontaje de una válvula de compuerta con sello a presión.	50
4.2.2 Montaje.	50

4.3 Válvula de retención	51
4.3.1 Amortiguador válvula de retención.	52
4.4 Válvula de retención Pressure seal.....	53
4.4.1 Desmontaje.....	53
4.4.2 Montaje.	54
4.5 Mantenimiento de una válvula ARV del tipo TDM.....	54
4.5.1 Mantenimiento.	55
4.5.2 Desmontaje e inspección de la válvula TDM.	55
4.5.3 Montaje del inserto del bypass.....	56
4.5.4 Puesta en servicio.	57
4.5.5 Mantenimiento recomendado para una válvula de recirculación con control neumático.....	58
 Capítulo 5: Comparaciones matemáticas de tiempo de llenado de línea y gasto	
<i>energético.....</i>	60
5.1 Cálculo de la velocidad del fluido en la línea de succión	60
5.1 Línea de impulsión a la bomba.	60
5.2 Cálculos de velocidad, flujo y caudal en la línea propuesta.....	64
5.2.1 Comparaciones matemáticas entre los tramos de impulsión antes y después de la válvula de recirculación automática instalada en la impulsión propuesta.	64
5.3 Comparación entre líneas de impulsión	67
5.3.1 Línea de impulsión tradicional.....	67
5.3.2 Línea de impulsión utilizando una válvula de recirculación automática.	67
5.4 Cálculo de la fuerza necesaria para que una bomba entre al proceso	68
5.4.1 Datos en circuito de impulsión tradicional.	69
5.4.2 Datos en el circuito propuesto, utilizando una válvula de recirculación automática.	69
5.4.3 Realizando las comparaciones.	69
5.5 Cálculo de potencia hidráulica requerida y consumo en kW.....	70
5.5.1 Circuito tradicional.....	70
5.5.2 Circuito de recirculación, al utilizar una válvula de recirculación automática.....	71
5.6 Circuito tradicional	71

5.7 Circuito de Recirculación automática 72

5.8 Comparación del tiempo de llenado de la línea principal 73

5.9 Cálculo velocidad propuesto 75

5.10 Llenado del Manifold de distribución 75

 5.10.1 Demostración matemática. 78

5.11 Aplicación de la herramienta FODA en la selección final. 79

Conclusiones 82

Bibliografía 83

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - 1: Sistema de Impulsión con bombas en paralelo. Planta Sierra Gorda..... 5

Figura 1- 2: Croquis del nuevo sistema de impulsión de Codelco. Proyecto en construcción. 6

Figura 1 - 3: Válvula de retención Pressure Seal. 9

Figura 1 - 4: Válvula de Compuerta de Cuña Flexible..... 11

Figura 1 - 5: PLC Siemens Simatic..... 12

Figura 1 - 6: Placas Orificio 12

Figura 1 - 7: Clasificación de Equipos de Bombeo 13

Figura 1 - 8: Curva de Bomba Centrífuga Modelo 3420..... 15

Figura 1 - 9: Curva de Bomba Centrífuga Modelo VIT/VTC 15

Figura 1 - 10: Sistema de impulsión con Recirculación Tradicional..... 20

Figura 2- 1: Bomba Multietapa Flowserve, modelo DMX 21

Figura 3- 1: Válvula ARV Schroedahl..... 30

Figura 3- 2: Sistema con Válvula de Recirculación Automática..... 32

Figura 3- 3: Válvula ARV Schroedahl. Modelo TDM..... 37

Figura 4- 1: Válvula de Compuerta de cuña Flexible..... 39

Figura 4- 2: Caja Reductora para Válvulas de Husillo pasante. 45

Figura 4- 3: Despiece de una válvula de Compuerta con sello a presión. 49

Figura 4- 4: Válvula de retención Swing Check 52

Figura 4- 5: Despiece de una válvula de Retención con sello a presión..... 53

Figura 4- 6: Corte de una Válvula de Recirculación Automática..... 54

Figura 4- 7: Corte de By-pass 56

Figura 4- 8: Válvula de control neumática..... 58

Figura 4- 9: Comparativo de partes y costos de mantenimiento entre una línea de recirculación y una válvula de recirculación..... 59

Figura 5- 1: Planta de impulsión de agua en minera. 68

Figura 5- 2: Gráfico de comparación de Fuerzas. 70

Figura 5- 3: Gráfico comparativo de Eficiencia Energética. 73

Figura 5- 4: Bosquejo de línea de impulsión llenada por VDF. 74

Figura 5- 5: Planta de impulsión desaladora Caitan. 74

Figura 5- 6: Bosquejo de sistema de impulsión con válvula y arranque manual.....78

Figura 5- 7: Corte de válvula de recirculación Schroedahl, con arranque manual. 78

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2- 1: Resumen de válvulas y accesorios. 24

Tabla 3- 1: Cuadro de válvulas y accesorios.....35

Tabla 4- 1: Calendario de mantenimiento de una válvula de control neumática. 58

Tabla 5- 1: FODA Sistema de impulsión con válvulas de recirculación Automática Schroedahl....79

Simbología

cm: Centímetro

km: Kilómetro

L: Litro

m: Metro

m3: Metro Cúbico

N: Newton

seg: Segundo

lbs: Libras

k: kilos

kW: Kilowatt

kgf: Kilogramo fuerza

kgf: Kilogramo libras

ρ : Gravedad específica

g: Aceleración de Gravedad

Q: Caudal

H: Altura geográfica.

F: Fuerza

P: Presión

A: Área

D: Diámetro

V: Volumen

v: Velocidad

ASME: American Society of Mechanical Engineers (Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos).

ARV: Automatic Recirculation Valve (Válvula de Recirculación Automática)

MPaG: Mega Pascales

ANSI: Instituto Nacional Estadounidense de Estándares, más conocido como ANSI (por sus siglas en inglés: American National Standards Institute).

Introducción

Una válvula es un dispositivo automático que permite controlar, retener, regular o dar paso a cualquier fluido que se encuentre en una bomba. Existen válvulas de funcionamiento manual y otras de operación automática. Las válvulas de recirculación automática ARV, (por sus siglas en inglés) tiene casi el doble del Cv que una válvula Check normal de mercado, para la misma presión y fluido. Esto significa que el diámetro de la línea de impulsión al manifold principal es menor y el peso en la línea de impulsión, por tanto, también es menor.

Una válvula ARV solo utiliza la energía mecánica que aporta el fluido para su operación. Por tanto, no se necesitan lazos de control; no se necesitan válvulas automatizadas para abrir/cerrar la línea de recirculación; una válvula ARV protege la bomba; disminuye el consumo eléctrico debido a las pérdidas de eficiencia en la impulsión; y utiliza un tercio de la energía total requerida por la bomba cuando está en periodo de recirculación o de llenado manual de línea.

En este informe se analizarán las principales características de un sistema en el que se utilice válvulas de recirculación automática, teniendo en cuenta que existe una gran variedad de válvulas en el mercado, es fundamental seleccionar una válvula que permita la fiabilidad en la continuidad del proceso de producción industrial, sin convertirse en paros de planta no planificados, ser un riesgo para el personal que operan los procesos o incurrir en costos no considerados.

Objetivo General.

Analizar una alternativa funcional al diseño y operación de líneas de impulsión de agua y agua de mar para la industria minera.

Objetivos Específicos

1. Identificar los distintos componentes de un sistema de impulsión tradicional y realizar comparaciones entre tiempos de mantenimiento y costos, con un sistema de impulsión que utilice válvulas ARV.
2. Demostrar matemáticamente los coeficientes de caudal, consumo eléctrico y velocidad de llenado de un sistema de impulsión, al utilizar válvulas ARV.
4. No se presenta evaluación económica en este análisis, ya que solo se realizó una comparación técnica de los componentes utilizados en un sistema de impulsión tradicional y de uno con válvulas ARV.

Justificación del tema

Se espera que los resultados y conclusiones de este trabajo sirvan a los profesionales encargados de la toma de decisiones en procesos industriales para:

- Considerar la instalación de válvulas de recirculación automática como una opción para reducir costos operacionales.
- Tomar medidas correctivas en los procesos industriales que apunten a la mantención preventiva de los equipos instalados.
- Considerar la instalación de válvulas de recirculación automática como una opción para reducir costos de materiales durante la construcción del sistema de impulsión.
- Considerar la instalación de válvulas de recirculación automática como una opción para mantener la eficiencia energética del sistema de impulsión.

Estructura del informe

Esta tesis está organizada de la siguiente manera: en primera instancia, se describen el Marco teórico, los procesos estudiados y las comparaciones matemáticas de los procesos.

Capítulo 1: Marco teórico

La minería es considerada la actividad económica que impulsa Chile, por tanto, todos los avances tecnológicos y sistemas que apunten a la eficiencia son primordiales a la hora de llevar a cabo sus procesos. En este sentido, los sistemas de impulsión son fundamentales, debido a la necesidad de abastecer hídricamente faenas distantes de la costa y a alturas que pueden superar los 3.000 msnm. A través de la construcción de plantas desalinizadoras, las empresas mineras buscan satisfacer la demanda hídrica necesaria para su actividad, considerando la complejidad de uso de aguas continentales que existe. En este sentido, los equipos de impulsión se han convertido en herramientas cada vez más resistentes para realizar operaciones mineras exigentes, que exigen equipos confiables, resistentes y eficientes.

En los circuitos de impulsión se utilizan sistemas de bombeo de alta presión y caudal. La mayoría de los proyectos se han realizado instalando varias bombas en serie, conectadas a un manifold de distribución, logrando así un flujo principal de impulsión significativo.

1.1 Descripción de los procesos estudiados

- a) Circuito de succión: es el encargado de alimentar la bomba de agua. Generalmente, el agua proviene de un estanque de almacenamiento y se distribuye a través de un manifold.
- b) Circuito de impulsión: su función es mantener la carga de la columna a vencer, soportar las vibraciones producidas por el fluido al romper la inercia y conducir el agua a alta presión que sale de la bomba.
- c) Circuito de llenado de línea a baja presión: se utiliza este sistema para llenar lentamente la línea principal. Se utiliza una bomba de baja velocidad operada mediante un variador de frecuencia. Una vez que la línea alcanza una carga aceptable, se encienden una a una las otras bombas hasta que el sistema de tuberías está completamente cargado o lleno.

d) Circuito de recirculación: en las instalaciones estudiadas, se utiliza para lograr un arranque suave y no exigir demasiado a los motores al salir de la inercia o al ponerse en funcionamiento después de un mantenimiento. Generalmente, el flujo de recirculación vuelve al tanque de almacenamiento. Además, este circuito debe asegurar el flujo mínimo necesario para garantizar la continuidad operativa de la bomba.

Figura 1 - 1: Sistema de Impulsión con bombas en paralelo. Planta Sierra Gorda.



Fuente: <https://www.mineriachilena.cl>

El objetivo del uso de las Válvulas ARV en una instalación de bombeo con bombas centrífugas de gran caudal y presión es lograr ahorro energético. Esto puede ser comprobado mediante las siguientes alternativas: comparaciones técnicas de componentes; utilización de fórmulas matemáticas de flujo, presión y coeficiente volumétrico de caudal; y comparación final entre el consumo de energía eléctrica en un sistema tradicional y el sistema propuesto. De esta manera, se puede comprobar el ahorro energético no solo en el consumo de electricidad de las bombas, sino también en todos los aspectos relacionados con la fabricación de cañerías, válvulas, suministros de control, aire, electricidad y otros elementos presentes en el proceso de fabricación de estos productos.

La tecnología de las Válvulas ARV se ha utilizado durante más de 60 años como protección para las bombas centrífugas, principalmente en plataformas petroleras y centrales térmicas, donde se requieren altas presiones y caudales, con una respuesta rápida y confiable. De hecho, estas válvulas pueden soportar una presión máxima de 4500 psi, lo cual equivale a aproximadamente 3164 metros de columna de agua. Para impulsar agua a esta altura, una bomba debe estar protegida ante cualquier eventualidad, desde un corte de energía hasta una reducción en la línea principal.

Figura 1- 2: Croquis del nuevo sistema de impulsión de Codelco. Proyecto en construcción.



Fuente: <https://www.mineriachilena.cl>

1.2 Uso de agua de mar en minería

En los últimos años, el cambio climático, la sequía y el agotamiento de napas continentales, han impulsado a la gran minería a utilizar agua de mar cruda o desalada para sus procesos productivos, tales como lixiviación, flotación y sedimentación de relaves, entre otros. Esta innovación ha permitido el desarrollo de tecnologías para implementar acueductos de gran diámetro y extensión con el fin de responder al desafío que significa la utilización de agua de mar.

1.2.1 El desafío en el uso de agua de mar

Llevar agua desde el mar hasta la faena minera, atravesando todas las barreras geográficas presentes en el camino, además de las barreras tecnológicas y operativas asociadas, tiene una serie de desafíos operativos asociados como son: estabilidad del sistema; aumento del consumo eléctrico; mantenimiento programado; implementación y, en algunos casos, creación de componentes; formación de personal idóneo para el manejo y operación de estos componentes; y desgaste de componentes.

Sumado a los retos anteriores, se deben agregar la creación de protocolos de puesta en marcha y de operación de los nuevos sistemas de impulsión. De este modo, se podría establecer, por ejemplo, que para que comience la operación y el funcionamiento de todas las bombas del sistema, se debe llenar primero completamente la línea de impulsión, realizar esto en una línea de 36" de diámetro, equivale a mover 653 m³ de agua por cada kilómetro de extensión del acueducto. En esta etapa, es donde se ha encontrado posibilidades de mejora, disminuyendo los tiempos de llenado de las líneas de impulsión, bajando de 60 a 23 horas.

Esta tesis propone, mediante el cambio de uno de los componentes del sistema de impulsión, disminuir los tiempos de llenado al menos en un 60% por cada kilómetro de cañería, desde la estación de bombeo hasta la piscina de almacenamiento de la faena minera.

Actualmente, el sistema de control utilizado comienza con una sola bomba que opera a baja velocidad para llenar la cañería principal. Esta medida se toma para proteger la

infraestructura y ahorrar energía eléctrica. Una vez que la cañería principal está completamente llena, las demás bombas se ponen en marcha de manera secuencial. Sin embargo, este proceso secuencial genera un alto estrés en el sistema, especialmente en las válvulas de control.

Cuando las bombas operan a plena carga, las válvulas de control se abren para permitir el paso del caudal generado. Esto resulta en altas velocidades de flujo en los asientos y discos de sello de las válvulas, debido al diferencial de presión. Estas altas velocidades pueden sobrecargar el actuador en las partidas y paradas del sistema, mientras se encarga de controlar y estabilizar todo el caudal que ingresa a la línea de impulsión.

1.3 Propuesta de sistema de control

Frente a los procesos descritos en el apartado anterior, se propone cambiar el sistema de control completo de cada bomba por una válvula ARV.

Una válvula ARV es un dispositivo multi-funcional, cuyo objetivo es asegurar el flujo mínimo permitido en bombas centrífugas. De este modo, a medida que el consumo de fluidos disminuye, la válvula cierra gradualmente la línea principal mientras que abre un by-pass para lograr la recirculación. Así, esta válvula modulará el flujo de la bomba hacia la cañería de impulsión principal, permitiendo el paso del flujo según la demanda inmediata que reciba desde la válvula de control. Es importante destacar que, al encontrarse presurizada, la velocidad del flujo en el asiento de la válvula de control disminuye, por consiguiente, el torque necesario para abrir o cerrar también, reduciendo el consumo eléctrico del actuador y del motor de la bomba.

El uso de válvulas ARV tiene otros beneficios adicionales, tales como: (a) bajas en la utilización de horas hombre; (b) menor desgaste de materiales; (c) menor consumo de energía eléctrica; (d) mayor tiempo de producción en la planta; (e) menores tiempos de limpieza de los acueductos con la utilización de PIGs.

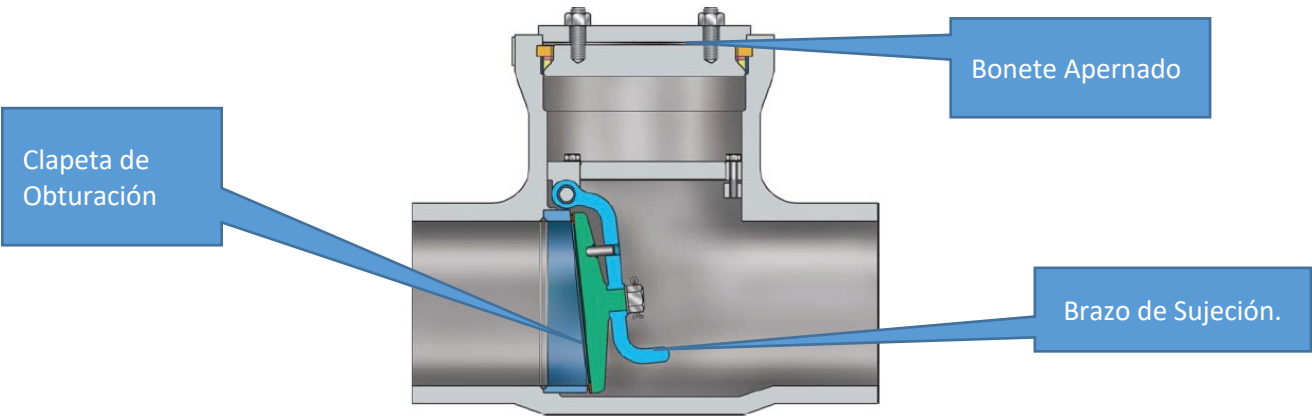
1.4 Componentes de una línea de impulsión y recirculación tradicional

Antes de entrar en materia, es necesario definir algunos conceptos clave. Por un lado, existe la zona de aspiración, que corresponde a la distancia comprendida entre el tanque o reserva desde donde se bombeará el líquido y la bomba. Por otra parte, el tramo situado a la salida de la bomba es lo que se conoce como línea o zona de impulsión. En esta zona, se utilizan las válvulas ARV, donde los principales componentes en una línea de piping de impulsión y de recirculación son: (a) Válvula Check de la línea Principal; (b) Sensor de Flujo; (c) Válvula de corte de Flujo de la línea de Principal; (d) Válvula de corte de Flujo de la línea de Recirculación; (e) Lazos de Control; (f) PLC; (g) Válvula Check de la línea de Recirculación; (h) Placa Orificio. A continuación, se detallará cada uno de ellos.

1.4.1 Válvula Check.

Una Válvula Check es un dispositivo que permite el paso completo del fluido y su función principal es retener el flujo inverso en un circuito de impulsión. Esta válvula debe ser capaz de resistir la presión ejercida por la columna en reposo y los golpes hidráulicos o de ariete que puedan ocurrir debido a fallas en el sistema de impulsión. Además, debe garantizar un flujo adecuado y suficiente para evitar problemas de circulación en la succión de la bomba. Es por esta razón que, en impulsiones con alta presión y caudal, las Válvulas Check tienen un diámetro doble al de la salida de la bomba, y a menudo se requiere ampliar la línea de impulsión.

Figura 1 - 3: Válvula de retención Pressure Seal.



Fuente: Catálogo Velan Pressure Seal Valves.

1.4.2 Sensor De Flujo.

Es un dispositivo que, instalado en la tubería, permite determinar cuándo está circulando un líquido o un gas. Estos sensores de flujo son del tipo apagado/encendido; determinan cuándo está o no circulando un fluido, sin medir el caudal.

Figura 1-7: Switch de Flujo



Fuente: <https://www.veto.cl/instrumentacion>

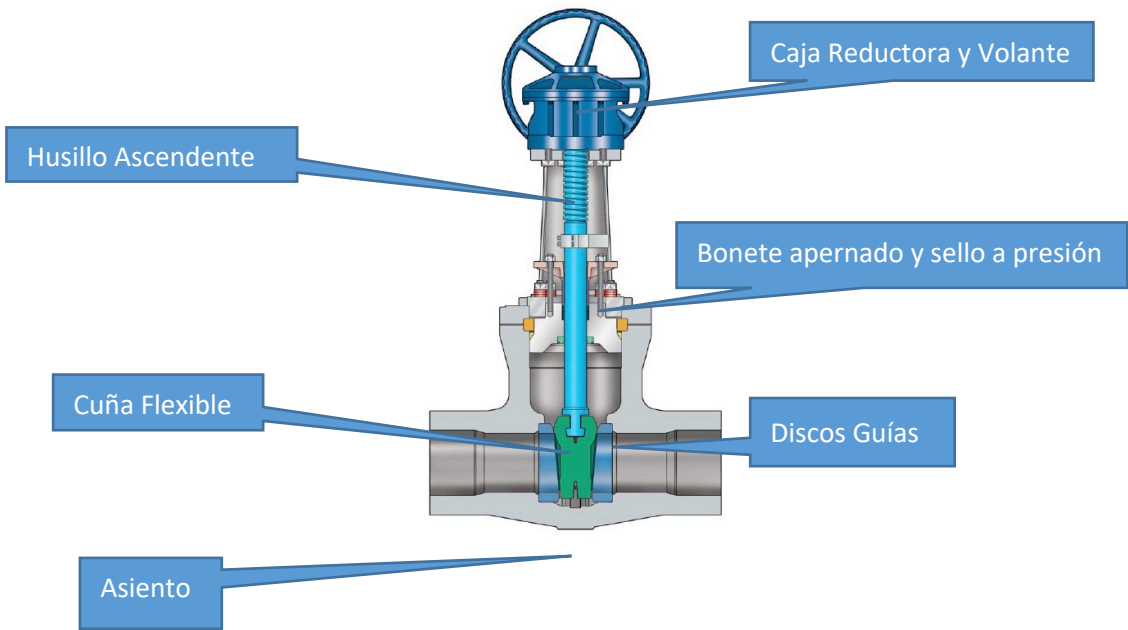
1.4.3 Válvula de Compuerta

Es un dispositivo que se abre o cierra mediante un husillo multivueeltas, el cual desliza una compuerta perpendicular al asiento de la válvula.

No pueden ser utilizadas para la regulación de un fluido y deben ser operadas siempre completamente abiertas o cerradas.

Necesitan un alto torque para su accionamiento.

Figura 1 - 4: Válvula de Compuerta de Cuña Flexible.



Fuente: <https://www.velan.com>

1.4.4 PLC.

Un controlador lógico programable, más conocido por sus siglas en inglés PLC (Programmable Lógica Controller) o por autómatas programables, es una computadora utilizada en la ingeniería automática o automatización industrial para automatizar procesos electromecánicos. Necesita un respaldo eléctrico en caso de falla.

Figura 1 - 5: PLC Siemens Simatic



Fuente <https://www.siemens.com>

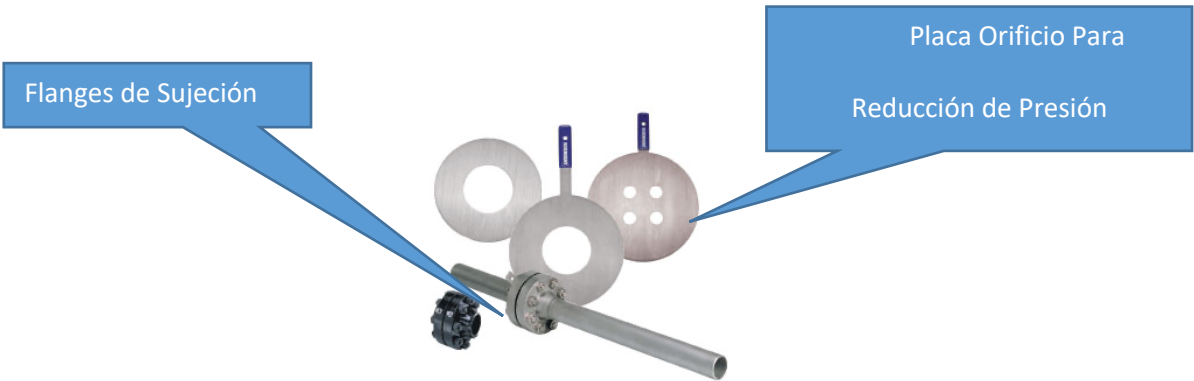
1.4.5 Válvula Check.

Ídem letra (a)

1.4.6 Placa orificio.

Una placa orificio es una restricción con una abertura más pequeña que el diámetro de la cañería en la que está inserta. La placa orificio típica presenta un orificio concéntrico, de bordes agudos. Debido a la menor sección, la velocidad del fluido aumenta, causando la correspondiente disminución de la presión.

Figura 1 - 6: Placas Orificio



Fuente: <https://www.veto.cl>

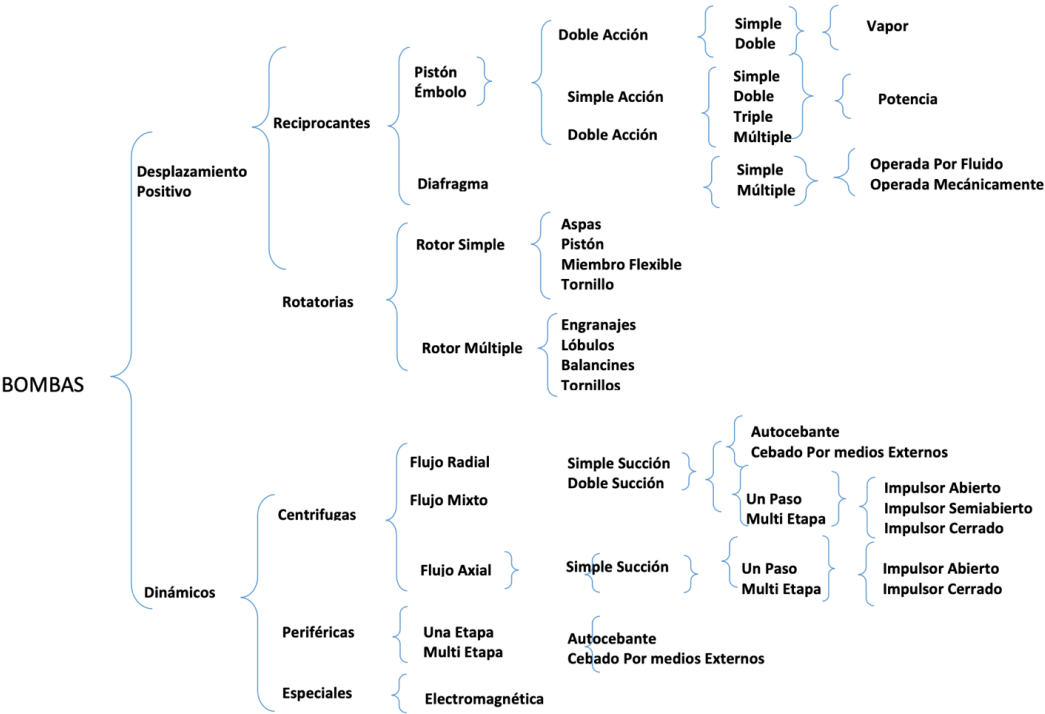
1.5 Bombas de Impulsión de Flujo.

1.5.1 ¿Qué es una Bomba de impulsión de flujo?

Una bomba de impulsión de flujo, o comúnmente llamada “Bomba”, es un equipo utilizado para cambiar la posición de un fluido, desde un punto a otro. Para obtener este efecto, la bomba transforma la energía mecánica, proveniente de algún tipo de motor (eléctrico, de combustión, hidráulico, etc.) y la aplica al fluido cambiando su presión, velocidad o ambas.

Es conveniente realizar una clasificación adecuada de los variados tipos de bombas, pues para cada tipo de fluido, existe un equipo de bombeo que cumple los requisitos necesarios para operar según las condiciones exigidas por el proceso.

Figura 1 - 7: Clasificación de Equipos de Bombeo



Fuente: Hydraulic Institute

1.5.2 Protección de una bomba centrífuga.

Una bomba centrífuga debe estar siempre protegida, esto es, en las partidas, en servicio y en las paradas, sin embargo, los momentos más críticos de la operación, por lejos, son las partidas y las paradas, para lo cual se deben seguir varios pasos rigurosamente establecidos y estudiados y, algunas veces, aprendidos mediante la técnica del ensayo y error.

Dado el alto peligro en el que se encuentran los equipos en esta fase, los fabricantes de bombas han adicionado múltiples defensas para protegerlas, utilizando tecnología de punta en términos de sensores: de presión, de temperatura, de vibraciones, de control de flujo, de impulsión, de succión, de recirculación y de caudal mínimo operativo, además de los sensores propios del motor.

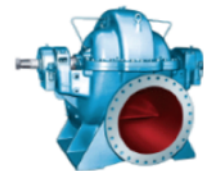
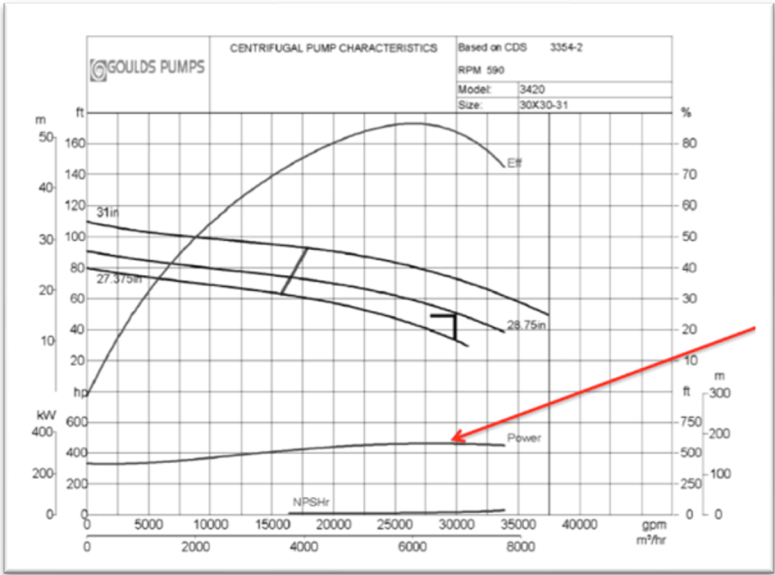
Las bombas, en su conjunto, trabajan con una lógica de control, la cual se va validando de acuerdo a cómo responden los sensores y permite el siguiente paso. De este modo, en caso de que no se cumpla algún parámetro de este protocolo, el equipo se desactiva y se deben revisar todos los parámetros para comenzar nuevamente con la puesta en marcha del equipo.

Adicionalmente, la lógica de control de la bomba va de la mano con la lógica de control de las válvulas, indicando mediante órdenes al PLC las diferentes posiciones que deben tomar estas al momento de comenzar o de detener el funcionamiento de la bomba. Todo esto con el fin de proteger a tan valioso y vital equipo de un descuido, de accidentes o malas prácticas que pueden ocurrir durante la puesta en servicio o su detención.

1.5.3 Partidas con bombas de alta y baja velocidad disponible (N_s).

Las bombas con baja velocidad disponible ($N_s < 5.000$), (con impeller del tipo flujo radial, Francis) tienen una curva de potencia que es mínima en las partidas o en el shutoff y máxima en la medida que la bomba alcanza su caudal de operación.

Figura 1 - 8: Curva de Bomba Centrífuga Modelo 3420.



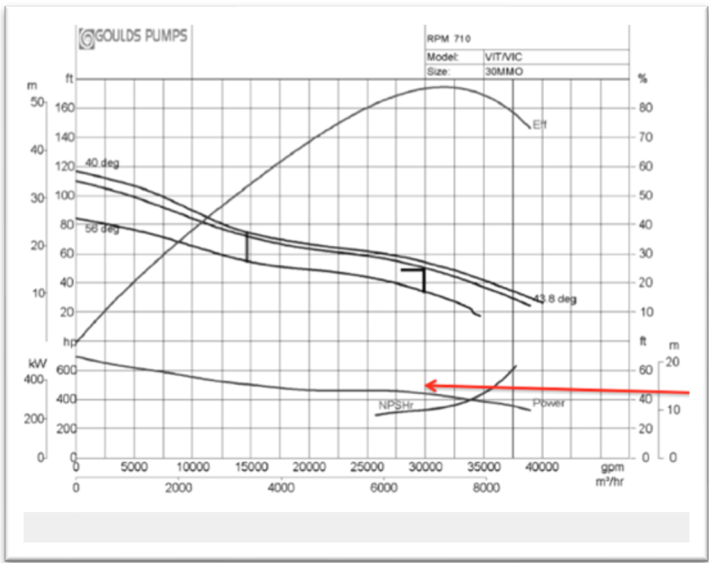
Q: 30,000 GPM & TDH: 50 pies

Fuente: <https://www.goulds.com>

En la figura 1-8, se muestra cómo con una bomba de flujo radial, la curva de potencia va en ascenso en la medida que aumenta el caudal, con una NS de 2800. La potencia a descarga cerrada es mínima.

En cambio, las bombas con alta velocidad disponible ($N_s > 6,000$), (flujo Mixto, Axiales) tienen una curva de potencia máxima en las partidas y va disminuyendo a medida que la bomba alcanza su caudal de operación.

Figura 1 - 9: Curva de Bomba Centrífuga Modelo VIT/VTC



Q: 30,000 GPM & TDH: 50 pies

Fuente: <https://www.goulds.com>

La figura 1-9 muestra el funcionamiento con una bomba de flujo mixto, la curva de potencia va en descenso en la medida que aumenta el caudal, con una NS de 7000. La potencia a descarga cerrada es Máxima.

Los diferentes fabricantes de bombas centrífugas recomiendan que las bombas con Ns menores a 5,000 se deben poner en marcha con la válvula de descarga completamente cerrada o con una apertura del 5%, de esta manera el consumo de potencia será mínimo.

La puesta en marcha con la descarga cerrada provoca una alta presurización de la línea y dificulta que la válvula principal de la impulsión pueda abrirse correctamente debido al gran diferencial de presión a la que estará sometida, por ello, se recomienda al menos un 5% de apertura al momento de las partidas.

Al arrancar la bomba, la válvula principal se debe abrir completamente para que la bomba encuentre su punto operativo. Una bomba no puede operar nunca por debajo del mínimo flujo continuo, por lo tanto, esta operación a descarga cerrada no debe ser mayor a 20 segundos, con mayor resguardo en bombas multietapas y de grandes potencias.

En el caso de las bombas con alta velocidad disponible, Ns mayores a 6000, no es recomendable arrancar con la descarga cerrada, porque el consumo de potencia se eleva al máximo, llegando a duplicar, incluso más, la potencia requerida en el punto de operación para el que fue seleccionada, es por esto que este tipo de bombas se deben poner en marcha con la descarga abierta al 50% o más. Un buen de diseño en la línea de piping consideraría una recirculación de flujo mínimo o Bypass, la cual debe permanecer 100% abierta mientras la bomba entra en operación y la válvula principal debe estar 100% cerrada, de esta manera no se corre el riesgo de sobrecargar el motor durante las partidas.

La puesta en marcha manual de una bomba debe realizarse del siguiente modo: a) cebar la bomba; b) abrir lentamente la válvula de corte de succión; c) abrir las ventilaciones de aire en las tuberías de aspiración y descarga, la carcasa, la cámara de sellado y las tuberías de sellado -si aplica- hasta que se ventile todo el aire y solo fluya el fluido bombeado; y d) cerrar los respiraderos.

La puesta en marcha de una bomba es como se describe a continuación: abrir la válvula de aspiración; abrir todas las tuberías de recirculación y de enfriamiento; cerrar por completo o abrir en parte la válvula de descarga, según el estado del sistema; encender el motor; abrir lentamente la válvula de descarga hasta que la bomba alcance el flujo deseado; revisar de inmediato el manómetro para asegurarse de que la bomba alcance rápidamente la presión de descarga adecuada.

En el proceso anterior hay que tener ciertas consideraciones si la bomba no alcanza la presión correcta para realizar los siguientes pasos: (a) detener el impulsor; (b) volver a cebar la bomba; (d) volver a arrancar el elemento conductor; (e) supervisar la bomba mientras esté funcionando; (f) controlar la temperatura de los rodamientos y cualquier vibración o ruidos excesivos. Si la bomba supera los niveles normales, se debe apagar de inmediato y solucionar el problema. Repetir los pasos (e) y (f) hasta que la bomba funcione correctamente.

En todos los pasos mencionados, es importante tomar precauciones y, si es necesario, regular la capacidad utilizando una válvula reguladora en la tubería de descarga. Nunca se debe regular el flujo desde el lado de succión, porque esto puede disminuir el rendimiento, generar calor y causar daños en el equipo.

Además, es crucial no hacer funcionar la bomba por debajo del caudal hidráulico o térmico mínimo. Es importante asegurarse de que la bomba funcione en las condiciones nominales, ya sea exactamente o de forma aproximada. Si no se cumplen estas condiciones, pueden producirse daños en el equipo, como cavitación o recirculación.

Es fundamental tener en cuenta que nunca se debe operar un sistema de bombas con las líneas de succión y descarga bloqueadas. Incluso durante un breve período de tiempo puede causar el sobrecalentamiento del fluido confinado, lo que puede resultar en una explosión violenta. Se deben tomar todas las medidas necesarias para evitar esta situación. Si la bomba se obstruye, debe apagarse y eliminar la obstrucción antes de encenderla nuevamente. Es esencial seguir estas recomendaciones de seguridad para garantizar un funcionamiento adecuado y seguro del sistema de bombeo.

1.5.4 Detención de una bomba.

Si la velocidad disponible o N_s es menor a 5000, se recomienda cerrar la válvula de descarga lentamente hasta alcanzar el 95% de cierre y luego cerrarla completamente al 100%. Es importante tener en cuenta que la velocidad de cierre de una válvula está relacionada con los golpes de ariete, por lo tanto, el tiempo de cierre debe ser muy lento: cuanto más tiempo tome para que la onda de sobrepresión recorra la tubería de ida y vuelta, menor será la fuerza del golpe de ariete.

La fuerza del golpe de ariete está directamente relacionada con la longitud de la tubería y es inversamente proporcional al tiempo de cierre de la válvula. En resumen, cuanto más corto sea el tiempo de cierre, más fuerte será el golpe de ariete.

Además, si la velocidad disponible o N_s es mayor a 5000, se recomienda cerrar la válvula de descarga lentamente hasta alcanzar el 50% de cierre. Durante este proceso, se debe monitorear la corriente consumida por el motor para asegurarse de que no se esté sobrecargando. Estas medidas ayudan a controlar adecuadamente el flujo y evitar daños en el sistema, especialmente los relacionados con los golpes de ariete y la sobrecarga del motor.

Durante el proceso de apagado de la bomba, se debe verificar que no se produzcan ruidos asociados al golpe de ariete. Si se detecta algún ruido de este tipo, se recomienda incrementar el tiempo de cierre de la válvula de descarga, lo que ayudará a prevenir daños causados por los golpes de ariete al sistema.

Otro aspecto a considerar, además de los golpes de ariete, es el giro de una bomba, la que nunca debe girar en sentido contrario, lo que se evita con la instalación de una válvula check en la línea de descarga, ubicada antes de la válvula de compuerta. La válvula check garantiza que el flujo se dirija en una sola dirección y evita el retroceso de la corriente hacia la bomba.

Finalmente, es importante mantener cerradas tanto la válvula de descarga como la de succión cuando la bomba no está en operación, lo que asegura que la bomba esté aislada y protegida de los demás equipos o sistemas conectados. Estas precauciones contribuyen a un

funcionamiento seguro y eficiente de la bomba, evitando problemas relacionados con golpes de ariete, retroceso del flujo y daños en la bomba misma.

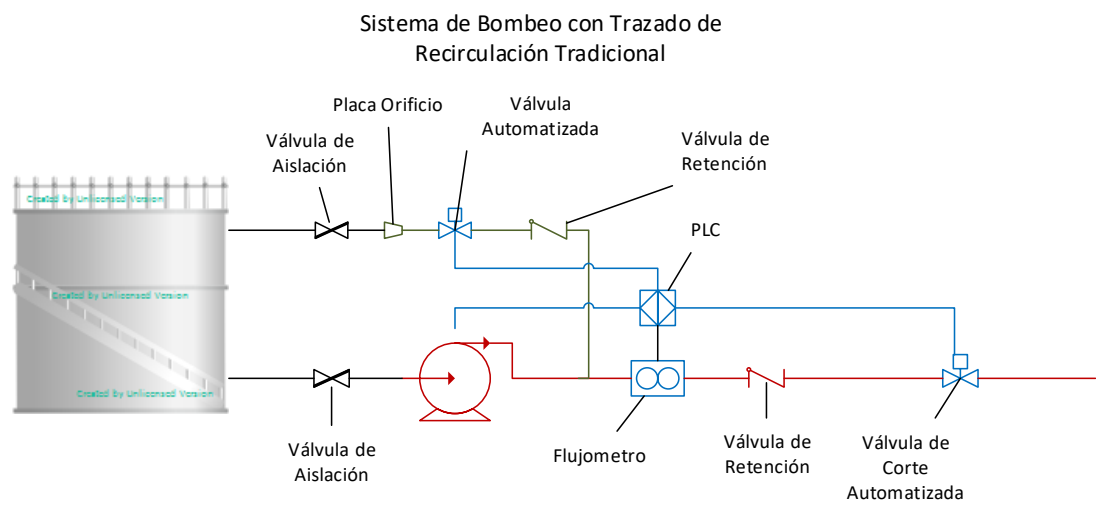
1.5.5 Método de impulsión actual o tradicional (Automatizado).

En un sistema tradicional, la bomba succiona el agua desde un estanque o manifold de distribución con succión positiva y lo descarga a una línea principal de impulsión presurizada por las bombas o por la columna de agua existente.

Para que la bomba descargue en la línea principal de impulsión, primero debe romper su inercia y luego equilibrar la presión de descarga con la presión existente en la línea de impulsión, lo que se logra mediante el circuito de recirculación de la siguiente manera: (a) comienza la operación de la bomba; (b) el Flujómetro detecta movimiento en las cañerías y activa la lógica de control; (c) la válvula de corte principal del circuito de impulsión a proceso se mantiene cerrada (su condición debiera ser de falla cerrada o normalmente cerrada); (d) la válvula de control de la recirculación debiera permanecer abierta (su condición debiera ser de falla abierta o normalmente abierta); (e) al aumentar la presión en la descarga de la bomba, se abre la válvula de corte principal del circuito de impulsión; (f) la presión en la línea de recirculación es controlada mediante placas orificios, que disminuyen la presión del flujo evitando el daño del tanque de acumulación ni se produzca cavitación en la válvula de control; (g) la válvula de control de la recirculación se cierra; (h) la bomba entra en el proceso.

En caso de que alguno de pasos descritos falle o si alguna válvula no cumple con la lógica para la cual está programada, los sensores de la bomba y su lógica impedirán que esta entre en funcionamiento o se desconectará automáticamente, a la espera de la revisión de todos los parámetros.

Figura 1 - 10: Sistema de impulsión con Recirculación Tradicional



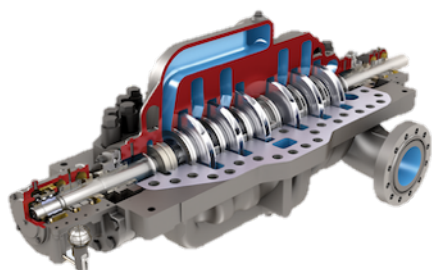
Fuente: Elaboración propia.

**Capítulo 2: Comparación matemática de componentes en los sistemas de impulsión
propuestos como ejemplos**

2.1 Descripción de un Sistema de impulsión de agua a gran presión

Dentro de los sistemas de bombeo existen variados tipos, para este caso específico se abordarán las bombas Multietapas, utilizadas para el movimiento de caudales y presiones a gran altura manométrica o geográfica.

Figura 2- 1: Bomba Multietapa Flowserve, modelo DMX



Fuente: <https://www.flowserve.com>

Para demostrar la importancia de las válvulas en un sistema de impulsión de gran presión, se utilizan datos reales de bombas y procesos. Se comienza con una bomba, para luego completar la batería de bombeo.

2.1.1 Sistema de impulsión de agua de mar desalada, fundo escondido.

- Altura Geográfica 1.000 m.s.n.m.
- Longitud de línea 100 k.
- Diámetro de la línea principal o manifold de descarga 24"
- Caudal Requerido 1000 m3/h
- Bombas Torishima, flujo Axial
- 4 Bombas en serie.

2.1.2 Datos de instalación de un sistema tradicional por cada unidad de bombeo.

Bomba Torishima, modelo MGH

- Diámetro de succión 8”, flange ASME clase 150 lbs
- Diámetro de descarga 6”, flange ASME clase 2500 lbs.
- Altura Máxima de Impulsión 2240 m.
- Altura de Impulsión Requerida 2093 m
- Flujo de Descarga requerido 296.8 m3/h
- Flujo de Succión requerido 311.5 m3/h
- Flujo Mínimo requerido 100 m3/h
- Presión de Descarga 19.3 MPaG
- Presión de Succión 0.627 MPaG
- Motor Requerido 2060 kW, 600 Volt, 3 fases, 50 Hz.

2.1.3 Especificaciones de los accesorios en la succión.

- Válvula de Mariposa de 8”, conexión Lug, Norma ANSI, clase 150 lbs.
- Cuerpo, eje y disco en acero dúplex 2205, asiento en PTFE.
- Accionada por caja reductora y volante.
- Velocidad de succión requerida 3 m/s para cumplir con el caudal.

2.1.4 Especificaciones de los accesorios en la impulsión.

- Válvula Pressure Seal #2500 lbs, conexión flange RTJ, Sch 160, Cv 1650 gpm,
Swing Check 12” Marca Velan, modelo 4114P. Cuerpo Acero Dúplex 2205
- Flujómetro
- Válvula de Compuerta Pressure Seal, cuña flexible, 12”, #2500 lbs, conexión
Flange RTJ, Sch160, Cv 3650 gpm, Marca Velan, modelo
4144P, cuerpo acero dúplex 2205. Accionada por actuador
eléctrico.

- Diámetro de la Tubería 24”

2.1.10 Resumen del cuadro de válvulas y accesorios en línea tradicional.

Tabla 2- 1: Resumen de válvulas y accesorios.

Ubicación	Tipo de válvula	Clase lbs.	Cv (gpm)	Largo (mm)	Peso (Kg)
Impulsión	Check 12”	2500	1650	1041	1497
Impulsión	Compuerta 12”	2500	3650	1040	1587
Recirculación	Check 6”	2500	700	610	281
Recirculación	Compuerta 6”	2500	1300	610	386
Recirculación	Placa Orificio				
Impulsión	Flujómetro				
Control	PLC				

Fuente: Elaboración propia

Capítulo 3: Posibles fallas y recomendaciones de mantenimiento de los componentes de líneas de impulsión propuestas.

3.1 Posibles escenarios en caso de falla o interrupción del proceso

En caso de una falla de la bomba, blackout o problemas línea principal, la válvula de retención cierra el paso al flujo reverso o retiene un posible golpe de ariete ocasionado por la discontinuidad en la impulsión. En estos casos, la lógica debiera actuar cerrando la válvula de corte de la línea principal y abriendo la válvula de control de la recirculación, pero las condiciones de operación ya son diferentes.

3.1.1 Falla de la bomba o pérdida de eficiencia en la impulsión.

Al bajar su eficiencia, la presión en la línea de impulsión comienza a bajar, lo que se traduce en un problema para la válvula Check, si el flujo existente en la línea principal es mayor al que la bomba genera, tendera a cerrarse, provocando inestabilidad en el flujo y vibraciones en la clapeta de la válvula.

El aumento de velocidad al disminuir el paso dentro de la válvula Check, contribuye a una caída mayor de presión, lo que puede incidir en el cierre abrupto de esta, provocando un golpe hidráulico dentro de la línea y de la bomba, generando un desbalance en su operación.

Como la lógica no está programada para una pérdida de eficiencia de la bomba, la línea de recirculación permanece cerrada y la válvula de corte de la línea principal permanece abierta. En este caso, el motor es sobre exigido, por cuanto requiere mayor esfuerzo para realizar su trabajo, esto se ve reflejado por un aumento en la temperatura de operación y un aumento considerable en el gasto energético.

3.1.2 Blackout.

Cuando ocurre un corte en el suministro de energía eléctrica, la bomba pierde su fuerza motriz y solo queda la energía del fluido dentro de ella y el que se encuentra en camino hacia la impulsión. Esto causa que la columna de fluido con desplazamiento positivo descienda debido a la gravedad, generando un golpe de ariete en la línea que es soportado por la válvula Check. Por

lo tanto, es fundamental que la construcción de la válvula Check sea altamente confiable, ya que su función es proteger a la bomba y al sistema de impulsión en esta situación de riesgo.

La magnitud del daño en el sistema de impulsión será proporcional a la velocidad de cierre de la clapeta de la válvula Check y a la calidad de su construcción. Por lo tanto, es crucial seleccionar y dimensionar adecuadamente la válvula para que pueda soportar estos problemas.

La energía de impulsión que entrega la bomba al flujo se encuentra con el golpe de onda generado por el cierre de la válvula Check, lo que resulta en un golpe hidráulico dentro de la bomba. Este golpe hidráulico puede desalinear o dañar los componentes internos de la bomba. Es importante tener en cuenta que, en caso de producirse un blackout, la válvula de corte permanecerá abierta y la válvula de recirculación estará cerrada, a menos que se disponga de un equipo auxiliar de energía que permita cambiar esta condición.

3.1.3 Estrangulamiento o falla en la línea.

La bomba de impulsión es un equipo de trabajo continuo y estable, y cuyo caudal de trabajo requerido se mantiene constante, a menos que haya interrupciones en la línea de impulsión, como estrangulamientos o cambios en el requerimiento de proceso.

Es importante destacar que la bomba está diseñada para funcionar de manera constante y su lógica de control no está diseñada para regular el flujo. Por lo tanto, si la cantidad de flujo requerido cambia, la bomba continuará trabajando con la recirculación cerrada y forzando la impulsión. En este escenario, es posible que se presenten síntomas como cavitación, vibraciones y aumento de la temperatura en el motor de la bomba. Además, es probable que se observe un incremento significativo en el consumo de energía. Estos síntomas son indicativos de que la bomba está trabajando en condiciones subóptimas debido a cambios en el flujo requerido o restricciones en la línea de impulsión. Es fundamental realizar un monitoreo constante de la bomba y tomar medidas correctivas adecuadas para evitar daños en el equipo y optimizar su rendimiento.

3.2 Posibles fallas en los accesorios de la impulsión

3.2.1 *Falla en la válvula de corte en la línea de impulsión.*

En caso de que ocurra una falla en la válvula de corte ubicada en la línea de impulsión, pueden presentarse los siguientes escenarios:

- a) La válvula no se abre: esto significa que la válvula permanece cerrada y no permite el flujo adecuado de líquido. En esta situación, la bomba experimentará una demanda excesiva de potencia y se sobrecalentará el motor. Además, se generará un aumento de presión en la bomba, lo cual puede resultar en la ruptura del cabezal y daños en los componentes internos de la bomba. Es fundamental que la válvula funcione correctamente para asegurar un flujo adecuado y evitar daños en la bomba.
- b) La válvula abre muy lentamente: en esta situación, la válvula se abre de manera gradual, lo que provoca un mayor esfuerzo en el motor y un aumento en el consumo de energía. Además, la apertura lenta de la válvula puede ocasionar cavitación en el asiento de la válvula y en los componentes internos de la bomba. El incremento en la diferencia de presión dificulta el funcionamiento adecuado de la válvula y puede causar daños en el actuador y en su mecanismo de accionamiento.
- c) La válvula abre muy rápidamente: en esta situación, la válvula se abre de forma brusca y rápida. Esta apertura rápida puede generar golpes de ariete en el líquido contenido en la línea, lo cual puede provocar impactos y fluctuaciones de presión que pueden dañar los componentes del sistema y afectar su funcionamiento normal.

En resumen, es crucial que la válvula de corte en la línea de impulsión funcione correctamente para evitar situaciones que puedan sobrecargar el motor, dañar la bomba y afectar el flujo de líquido en el sistema.

3.2.2 Falla en la válvula de recirculación.

La falla en la válvula de recirculación puede ocasionar diversos problemas que afectan el funcionamiento de la bomba. A continuación, se describen las posibles consecuencias de dicha falla:

- a) No apertura de la válvula: si la válvula de recirculación no se abre, la bomba se queda sin el flujo mínimo hidráulico necesario para su correcto funcionamiento. Esto puede resultar en graves daños en el equipo, ya que la bomba no recibirá el caudal requerido y podría operar en condiciones de baja presión o incluso sin flujo, lo que puede provocar sobrecalentamiento, desgaste prematuro de componentes y fallas mecánicas.
- b) Falta de regulación de flujo: cuando la válvula de recirculación no logra regular adecuadamente el flujo, se pueden generar fenómenos de cavitación en los componentes internos de la válvula y la bomba. La cavitación ocurre cuando se forman burbujas de vapor en el fluido debido a la baja presión en ciertas zonas de la bomba. Estas burbujas colapsan violentamente al pasar a zonas de alta presión, generando impactos que pueden dañar los componentes y reducir la eficiencia del sistema.
- c) Pérdida de hermeticidad: si la válvula de recirculación presenta fugas o pierde hermeticidad, la bomba pierde eficiencia, pues continuará recirculando el fluido, incluso cuando la lógica de control indique que la válvula está cerrada. Esta situación puede provocar un desperdicio de energía y un funcionamiento ineficiente del sistema, además de aumentar el riesgo de daños en la bomba debido a la circulación no deseada del fluido.

Es esencial identificar y solucionar rápidamente las fallas en la válvula de recirculación para evitar daños mayores en la bomba y garantizar un rendimiento óptimo del sistema.

Otras fallas pueden presentarse en:

- a) La placa orificio: cuando esta pieza presenta una falla, pueden ocurrir las siguientes situaciones: no se logra reducir la presión deseada, lo que puede resultar en flasheo en la línea de recirculación. Esto puede provocar daños en el estanque de acumulación, así como la posibilidad de cavitación tanto en la válvula como en la bomba.

b) El PLC: especialmente debido a un corte de energía, pueden ocurrir las siguientes consecuencias: el PLC deja de funcionar y las válvulas quedan en operación manual, lo que implica que no se puede realizar una regulación automática del sistema, y se requerirá una intervención manual para ajustar y controlar las válvulas.

c) El Flujoímetro: en caso de presentarse una falla por descalibración o falta de energía pueden surgir los siguientes problemas: el flujoímetro puede enviar lecturas incorrectas al PLC, lo que afectará la lógica de control del sistema y puede ocasionar alteraciones en el funcionamiento y la regulación del flujo.

Es importante identificar y solucionar rápidamente las fallas en la placa orificio, el PLC y el flujoímetro para evitar problemas en el sistema de control y asegurar un funcionamiento adecuado del equipo.

3.3 Descripción de los componentes a utilizar en la línea de impulsión propuesta

- a) Válvula de recirculación automática en la línea principal.
- b) Válvula de Corte en la línea principal.
- c) Válvula de Retención en la línea de recirculación
- d) Válvula de Corte en la línea de recirculación.

3.3.1 Válvula de Recirculación Automática.

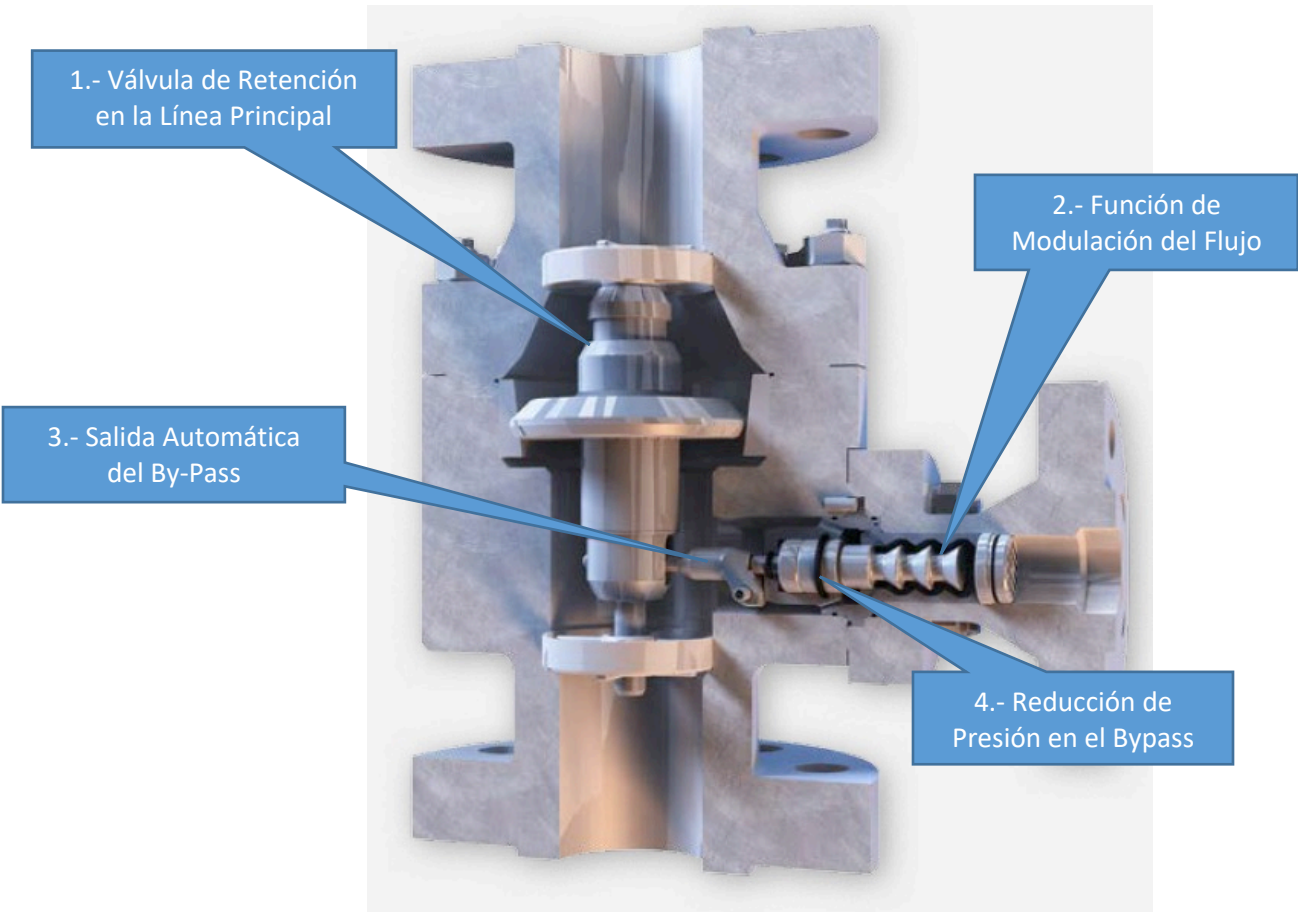
La válvula ARV se compone de una válvula de retención de alta calidad ubicada en la línea principal y un dispositivo de control de modulación especial para la recirculación de un flujo mínimo a través del sistema de derivación. El funcionamiento de esta válvula está directamente relacionado con la cantidad de flujo presente en el proceso, por cuanto todas las válvulas ARV de Schroedahl son sensibles al flujo. Se trata, entonces, de un dispositivo que combina cuatro características en un solo elemento:

- a) Válvula de retención sensible al flujo: el resorte de la válvula de retención se ajusta según el caudal que impulsa la bomba en la línea principal. Esto permite regular el flujo de manera efectiva y garantizar un funcionamiento óptimo.

- b) Función de modulación de flujo: la válvula de recirculación automática tiene la capacidad de modular el flujo en respuesta a las condiciones de operación. Esto significa que puede ajustarse para adaptarse a los cambios en el caudal y mantener un flujo constante y controlado.
- c) Salida automática de bypass: el sistema de derivación de la válvula permite que se recircule un flujo mínimo automáticamente cuando las condiciones lo requieren. Esto ayuda a mantener el equilibrio en el sistema y garantizar una operación fluida.
- d) Reducción de presión en la salida del bypass sin cavitación: la válvula ARV está diseñada para reducir la presión en la salida del bypass de manera controlada, evitando la formación de cavitación. Esto asegura un funcionamiento eficiente y evita posibles daños en el sistema.

En síntesis, la válvula ARV combina múltiples funciones en un solo dispositivo, lo que la hace una opción eficiente para controlar el flujo en sistemas de bombeo.

Figura 3- 1: Válvula ARV Schroedahl



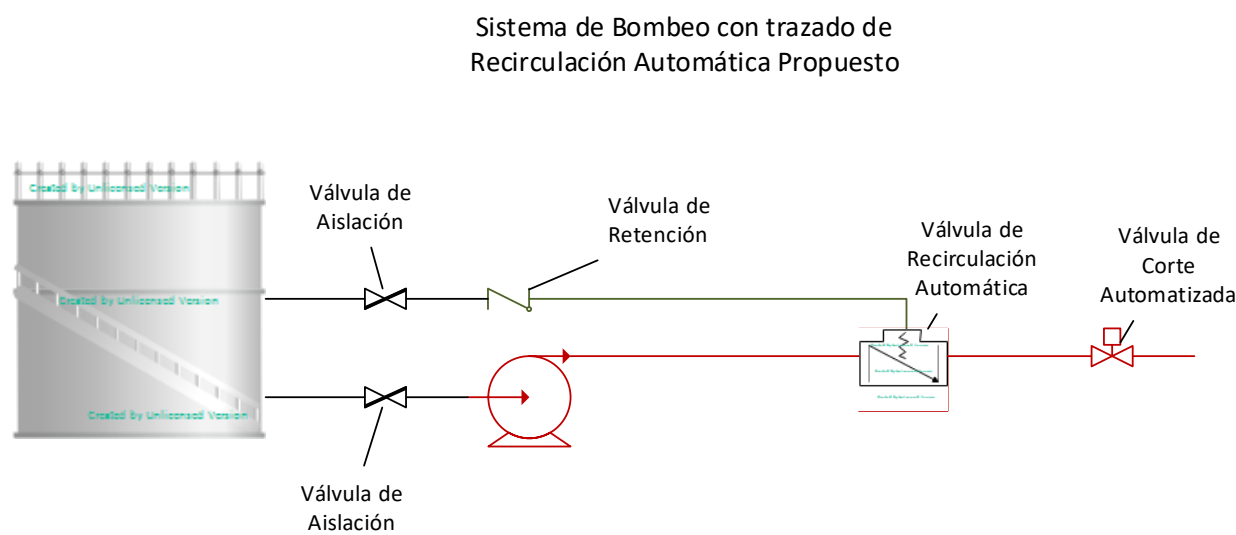
Fuente: Elaboración propia.

3.4 Puesta en servicio de la bomba utilizando una válvula ARV

- a) Se inicia la operación de la bomba.
- b) La válvula de corte de la recirculación debe permanecer abierta, solo se cerrará en caso de mantenimiento de la línea.
- c) El bypass de la válvula se encuentra normalmente abierto, lo que permite que el flujo se desvíe automáticamente hacia el estanque de recirculación.
- d) La válvula de corte principal del circuito de impulsión hacia el proceso se mantiene abierta (normalmente abierta).
- e) A medida que el caudal en la descarga de la bomba aumenta, el resorte de la válvula de retención cede y permite que el fluido fluya hacia la línea principal.
- f) Mientras el flujo principal se equilibra con la presurización de la línea, la válvula de recirculación continúa recirculando flujo.
- g) El sistema de bypass controla y regula el flujo, logrando reducir la presión en la salida de la recirculación.
- h) La placa de orificio instalada en la salida del bypass contribuye a ordenar y reducir aún más la presión del flujo, logrando una caída de presión estable y sin cavitación.
- i) La presión en la línea de recirculación se reduce mediante el uso de un inserto multietapa de reducción de presión, el cual disminuye la presión del flujo para evitar daños al tanque de acumulación.
- j) Cuando la bomba alcanza su capacidad máxima de caudal, la válvula de retención se abre completamente y cierra automáticamente el paso del flujo que se desviaba por el bypass, sellándolo herméticamente.
- k) La bomba entra en el proceso y continúa operando según las condiciones requeridas.

De este modo, la puesta en servicio de la bomba utilizando una válvula ARV implica una secuencia de acciones y ajustes que permiten un control adecuado del flujo y la presión en el sistema, asegurando un funcionamiento eficiente y seguro de la bomba.

Figura 3- 2: Sistema con Válvula de Recirculación Automática.



Fuente: Elaboración propia.

3.5 Datos de instalación propuesta para cada unidad de bombeo

3.5.1 Especificaciones de la bomba.

Bomba Torishima, modelo MGH

- Diámetro de succión 8”, flange ASME clase 150 lbs.
- Diámetro de descarga 6”, flange ASME clase 2500 lbs.
- Altura Máxima de 2240 m.

Impulsión

- Altura de Impulsión 2093 m.

Requerida

- Flujo de Descarga 296.8 m3/h
requerido
- Flujo de Succión 311.5 m3/h
requerido
- Flujo Mínimo requerido 100 m3/h
- Presión de Descarga 19.3 MPaG
- Presión de Succión 0.627 MPaG

3.5.2 Especificaciones de los accesorios en la succión.

- Válvula de Mariposa de 8”, conexión Lug, Norma ANSI, clase 150 lbs.
- Cuerpo, eje y disco en acero dúplex 2205, asiento en PTFE.
- Accionada por caja reductora y volante.
- Velocidad de succión requerida 3 m/s para cumplir con el caudal.

3.5.3 Especificaciones de los accesorios en la impulsión.

- Válvula de Recirculación Automática Schroedahl de 6”, #2500 lbs, conexión flange RTJ, Sch 160, Cv 2333 gpm, modelo TDM. Cuerpo Acero Dúplex 2205

- Válvula de Compuerta, Pressure Seal, cuña flexible, 6”, #2500 lbs, conexión Flange RTJ, Sch160, Cv 850 gpm, Marca Velan, modelo 4144P, cuerpo acero dúplex 2205.

Accionada por actuador eléctrico.

3.5.4 Especificaciones de los accesorios en la recirculación.

- Válvula de Compuerta, 3”, #150 lbs, conexión flange.

3.6 Datos de operación en la impulsión

3.6.1 Datos en la succión de la bomba.

- | | |
|--------------------------|---------|
| • Presión de succión | 6 bares |
| • Diámetro de la tubería | 8” |
| • Velocidad del agua | 2.93/s |

3.6.2 Datos en la descarga de la bomba.

- | | |
|--------------------------|----------|
| • Presión de descarga | 193 bar |
| • Diámetro de la tubería | 6” |
| • Velocidad del agua | 4.52 m/s |
| • Longitud de la tubería | 10 m |

3.6.3 Datos después de la instalación de la válvula de recirculación automática.

Datos en la descarga de la bomba

- | | |
|--------------------------|------------|
| • Presión de descarga | 191.85 bar |
| • Diámetro de la tubería | 6” |
| • Velocidad del agua | 4.52 m/s |
| • Pérdida de carga | 1.15 bar |
| • Longitud de la tubería | 50 m |

3.6.4 Datos del fluido en la línea de impulsión.

- Caudal 1000 m3/h
- Diámetro de la Tubería 24”
- Velocidad del Agua 1.125 m/s
- Caída de presión 46.43 bar
- Longitud de la tubería 100 km

3.7 Resumen del cuadro de válvulas y accesorios en línea propuesta

Tabla 3- 1: Cuadro de válvulas y accesorios

Ubicación	Tipo de válvula	Clase lbs.	Cv (gpm)	Largo (mm)	Peso (Kg)
Impulsión	ARV 6”	2500	2333	850	900
Impulsión	Compuerta 6”	2500	1300	610	386
Recirculación	Bypass 2-1/2”	2500	510		
Recirculación	Compuerta 3”	150 lbs	625	241	67

Fuente: Elaboración propia.

3.8 Posibles escenarios en caso de falla o interrupción del proceso

En caso de una falla de la bomba, blackout o problemas línea principal, la válvula de retención cierra el paso al flujo reverso o retiene un posible golpe de ariete ocasionado por la discontinuidad en la impulsión.

3.8.1 Falla de la bomba o pérdida de eficiencia en la impulsión.

Al bajar su eficiencia, la presión en la línea de impulsión comienza a bajar, la válvula ARV, al ser sensible al flujo, abre parcialmente la salida del bypass, recirculando el flujo que no alcanza a salir.

En caso de que la eficiencia de la bomba se vea muy comprometida, la válvula de retención se cerrará totalmente, lo que hará que el bypass se abra completamente, derivando el

flujo por la línea de recirculación. Esto se realiza gradual y lentamente, por lo que no crea golpes o subidas drásticas de presión en la línea.

La presión es disminuida en el bypass, por lo que no afecta el piping de la línea de recirculación, además, al trabajar en esta condición, baja el requerimiento hidráulico de la bomba y disminuye el consumo energético.

El aumento de la velocidad en el bypass de la válvula es reducido por el modulador de flujo, al igual que el incremento en la presión, finalmente, la placa orificio a la salida del bypass, reordena el fluido para que la salida no sea turbulenta. La línea de recirculación permanecerá abierta hasta que se normalice la condición de la bomba.

3.8.2 Blackout.

Durante un blackout o corte en el suministro de energía eléctrica, la bomba pierde su fuerza motriz y deja de generar flujo. En este momento, la energía restante se encuentra en el fluido contenido dentro de la bomba y en el flujo que se encuentra en camino hacia la línea de impulsión. La columna de fluido, que anteriormente estaba siendo desplazada positivamente por la bomba, comienza a descender debido a la fuerza de la gravedad, lo que genera un golpe de ariete en la línea. En este escenario, la válvula de retención y su resorte interno juegan un papel importante, pues a medida que se pierde flujo en la línea debido a la falta de energía de la bomba, el resorte en conjunto con la válvula de retención comienza a cerrarse de manera controlada. A diferencia de otras válvulas que pueden cerrar bruscamente, la válvula de retención cierra gradualmente a medida que el flujo disminuye. La energía de impulsión generada previamente por la bomba sigue su curso en la línea principal.

Cuando encuentra el bypass abierto, sale a través de él hasta que se agota por completo. Esta salida de energía a través del bypass es una forma de descarga controlada para evitar daños o impactos bruscos en el sistema debido al golpe de ariete.

En síntesis, durante un blackout, la bomba deja de funcionar y el flujo se reduce gradualmente. La válvula de retención y el bypass abierto permiten un cierre controlado y una salida segura de la energía restante en el sistema.

3.8.3 Estrangulamiento o falla en la línea.

La bomba de impulsión es un equipo de trabajo continuo y estable, al llegar a su caudal de trabajo requerido, no cambia, salvo que se registren interrupciones en la línea de impulsión, como estrangulamientos o cambios en el requerimiento de proceso.

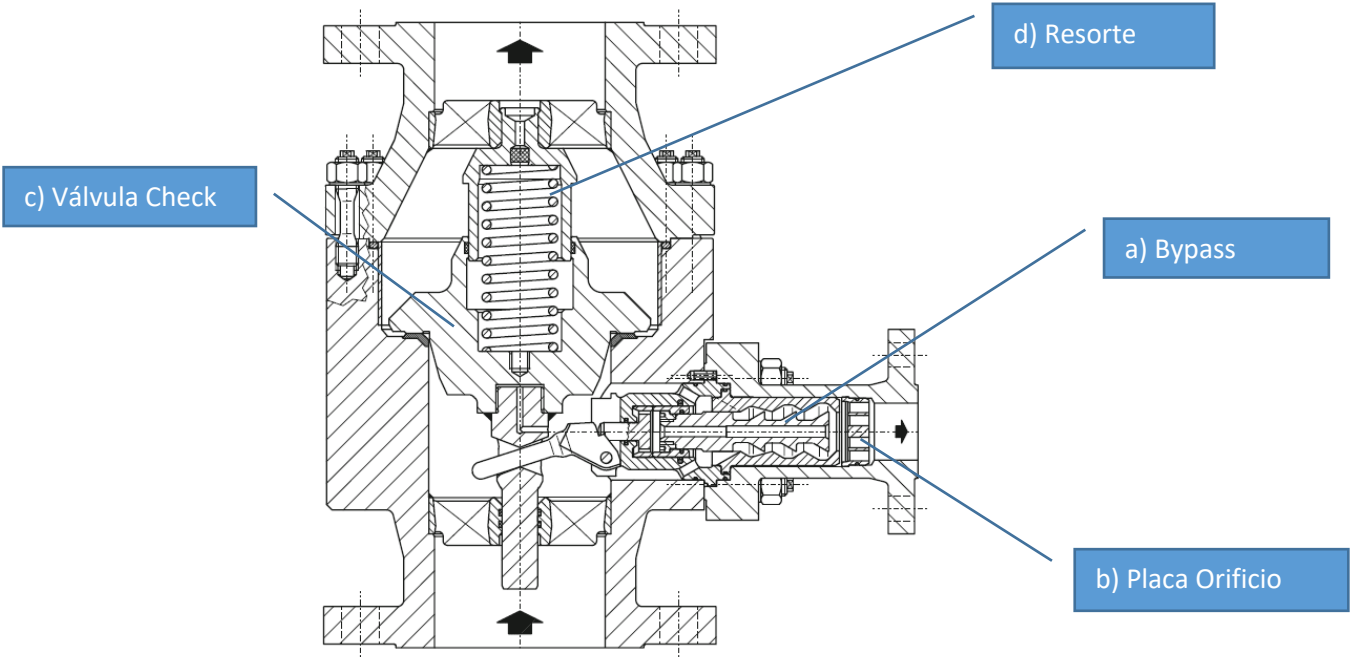
El bypass está diseñado para recircular al menos un 30% del flujo total que impulsa la bomba.

Al presentarse este escenario, la válvula automáticamente liberará el flujo restante por la línea de bypass, sin que esto presente un mayor problema para la bomba, debido a que seguirá realizando su trabajo con total normalidad. Este sistema evita problemas de cavitación, vibraciones y aumento de temperatura en el motor, además del incremento en el consumo de energía.

3.9 Posibles fallas de una válvula ARV

- a) Desgaste del bypass, la bomba pierde eficiencia, posibilidad de cavitación dentro de la válvula.
- b) Falla en la placa orificio de la válvula, se puede producir flasheo en la línea y cavitación dentro de la válvula.
- c) Falla en la válvula check.
- d) Pérdida de elasticidad del resorte.

Figura 3- 3: Válvula ARV Schroedahl. Modelo TDM.



Fuente: <https://www.schroedahl.com>

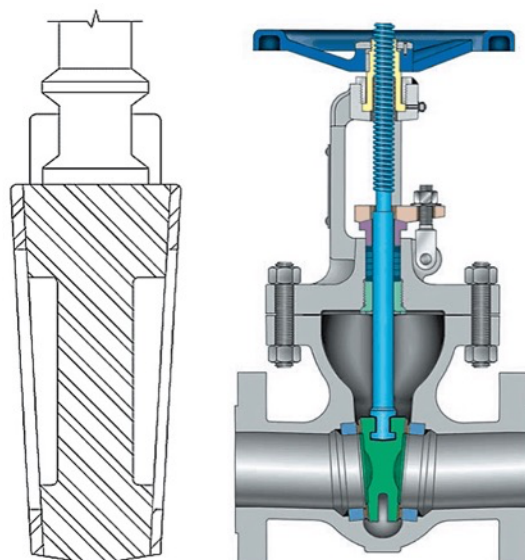
Capítulo 4: Mantenimiento de válvulas presentes en un circuito tradicional

4.1 Válvulas de compuerta.

Las válvulas de compuerta están formadas por una cuña (obturador) cónica situada en el cuerpo entre dos anillos de asiento con un ángulo de 8 a 10°. Las guías del cuerpo proporcionan un buen deslizamiento de la cuña durante la maniobra de apertura/cierre de la válvula. El vástago está acoplado a la cuña en forma de 'T' autoalineable. El vástago está roscado al puente. La rotación del volante en dirección de las agujas del reloj hace que el puente rote y que el vástago se mueva hacia abajo junto con la cuña para cerrar la válvula.

Las válvulas de compuerta se utilizan para el servicio on-off donde se desea obtener el máximo caudal con un mínimo de pérdida de carga en condición completamente abierta. Las válvulas de compuerta son recomendables para ser utilizadas en posición completamente cerrada o completamente abierta, no para la regulación del fluido.

Figura 4- 1: Válvula de Compuerta de cuña Flexible.



Fuente: <https://www.valveseal.es>

4.1.1. Desmontaje de la válvula.

Para realizar el desmontaje de las válvulas de compuerta, se deben seguir en orden los pasos que se detallan a continuación: aflojar los espárragos/tuercas cuerpo/tapa, y extraerlos/las del cuerpo, aflojar las tuercas de la prensa, girar el volante según las agujas del reloj. La cuña bajará a posición cerrada. Se debe girar el volante en la misma dirección, el montaje de la tapa se elevará en dirección ascendente. Continuar hasta que el vástago salga de la parte roscada de la tuerca vástago. Levantar la tapa para separarla del cuerpo. Sostener el vástago con la mano izquierda y tirar de él hacia arriba golpeando suavemente en la superficie del cuerpo. El vástago junto con la cuña saldrá del cuerpo. Aquí se debe observar el estado de los asientos y el interior del cuerpo.

Se debe realizar la limpieza del interior del cuerpo y de las superficies de los asientos con líquido de limpieza adecuado. Comprobar si hay rayas en las superficies de los anillos del asiento. Para quitar los pequeños rasguños se puede lapear con pasta esmeril, pero si las rayas son profundas habrá que hacer un mecanizado. Los anillos de asiento roscado se mecanizan con rosca derecha y pueden ser retirados del cuerpo con la ayuda de las pestañas/ranuras. Si los anillos de asiento están soldados al cuerpo, entonces el cuerpo completo deberá ser colocado en la máquina de rectificación. Del mismo modo, lapear las pequeñas rayas en la superficie de la cuña con pasta esmeril. Eliminar las rayas profundas con mecanizado y lapeado. En el caso de que la superficie de la cuña esté muy dañada, toda la superficie del asiento deberá ser mecanizada.

Posteriormente, se debe quitar la empaquetadura de la tapa, lo que significa limpiar la superficie interna de la tapa, lapear la superficie del asiento posterior con la ayuda de accesorios adecuados; limpiar la zona roscada del husillo; pulir la parte no roscada del husillo en el torno o lapeadora, si es posible. Limpiar la parte roscada de la tuerca vástago y aplicar grasa con la pistola de grasa por el orificio de la parte superior de la tapa.

Luego se debe cambiar la junta de la tapa del cuerpo y montar la válvula, lo que se traduce en poner la nueva empaquetadura del tamaño y calidad requerido en la caja de empaquetadura girando cada anillo 180° con respecto al anterior. Apretar las tuercas en ambos lados de la

prensa. Y, finalmente, se debe lubricar la parte roscada del vástago y operar la válvula 2 / 3 veces.

4.1.2. Procedimiento para la reparación de la superficie del asiento y cuña.

En el caso de que la fuga persista, se debe aflojar la tornillería tapa/cuerpo y comprobar la existencia de daños en la superficie de la cuña. En el caso de que los hubiera, se debe seguir un procedimiento para cada caso.

Para reparaciones de depósito del 13% de cromo en soldadura, el espesor de la capa requerida es de 1,6 Mm mínimo. La varilla de soldadura utilizada: AWS A5.9 E410, la deposición de aleaciones de cobalto para “estellitar” la superficie o asiento / cuña.

Cuando la superficie del anillo del asiento está hecha de otras aleaciones aparte de 13% de Cromo, se debe llevar a cabo el procedimiento para “estellitar”.

4.1.3. Procedimiento de dureza.

Entre 38 a 42 Rc por asiento. El asiento se precalienta a temperatura de 350 a 400°C a través de la sección de la pieza de trabajo y son depositados en aleaciones de stellite en el área específica del asiento utilizando el proceso de arco de plasma sumergido en gas inerte sin varillas de entrada (tungsteno) consumibles.

El arco está siempre dirigido hacia las aleaciones depositadas para minimizar la dilución. La dilución observada está en el rango de 5-8% para depósitos de 2,50 Mm de grosor utilizando el rango de 75-125 amperios. Tiene que garantizarse que toda la superficie esté cubierta uniformemente y que hay completa unión metalúrgica entre la superficie que se deposita y la aleación. Tras la deposición, se debe poner en un cubo de cal seca para un enfriamiento lento y aliviar el estrés. El flujo de la pantalla del gas inerte debe ser el adecuado para evitar cualquier formación de óxido y también para restaurar todos los agentes endurecidos y los componentes metálicos en la aleación que proporcionan mayor temperatura y resistencia al desgaste.

Especificación del material: de acuerdo con aws a5.13 ercocr-a.

4.1.4. Operación de lapeado y acabado.

Para llevar a cabo la operación de lapeado y acabado, se debe utilizar solo el carburo de silicio (extra gruesa) de la marca Valvegrind para el lapeado. Antes de iniciar la operación de lapeado en la superficie del asiento/cuña, debe asegurarse de que la superficie está correctamente mecanizada (acabado $\nabla \nabla \nabla$). Posteriormente, limpiar la superficie y observar la correcta adecuación entre la zona de contacto. Antes de volver a montar, se debe comprobar que la zona de contacto se ajusta correctamente.

4.1.5. Reparación del vástago.

Todos los vástagos de las válvulas deben ser reparados si presentan rigidez, daño en la cabeza o rosca, corrosión y/o marcas en la parte que se desliza a través de la empaquetadura. En cuanto a la rigidez, la dimensión en la longitud del vástago que se mide sobre el diámetro del vástago mientras es rotado 360°. El vástago debería ser enderezado si es necesario o rectificado. En rosca y cabeza, el dimensionado y rugosidad de la rosca deben garantizar un buen funcionamiento con la tuerca del vástago. La cabeza del vástago debe acoplarse adecuadamente en la cuña.

En el caso de que se evidencien daños en el área de deslizamiento de la empaquetadura, parte debe estar libre de marcas y tener un acabado liso, se puede realizar un pulido o giro de la superficie de deslizamiento dentro de unos límites fijados. La conicidad del vástago debe ser eliminada. Si hay desgaste, conicidad o un mecanizado previo provoca reducción del vástago fuera de diámetro más allá del límite aceptable del tamaño original, el vástago debe ser remplazado por uno nuevo.

4.1.6. Instalación de válvulas socket weld.

Se recomienda que la tubería se mantenga aproximadamente a una distancia de contacto de 0.06" (1.6mm) con el fondo de la cavidad antes de empezar la soldadura con el fin de evitar grietas en la soldadura de montaje cuando la tubería se asienta en la parte inferior de la cavidad. La válvula debe ser soldada con el disco ligeramente abierto utilizando material de soldadura con un diámetro adecuado, que corresponda a la dimensión y forma del área a soldar para prevenir el sobrecalentamiento de las válvulas.

Cuando se realiza la re-empaquetadura de los prensaestopas, se debe tener en cuenta, al quitar la vieja empaquetadura, evitar los ganchos que pueden arañar la superficie de acabado del vástago y de la caja de empaquetadura (materiales suaves tales como latón o clavijas de madera son mejores instrumentos); limpiar el vástago y la empaquetadura al colocar los nuevos anillos; utilizar guantes limpios para la manipulación de las piezas y embalaje nuevo con el fin de evitar que entre sal y cause corrosión posteriormente.

Los dos anillos de la parte superior de la empaquetadura son más eficaces en el sellado del vástago. Por lo tanto, si dos anillos pueden ser añadidos a una válvula de servicio en el asiento de atrás entonces hay una excelente oportunidad de contención de fugas.

Es necesario tener presente que la simple operación de maniobrar la válvula puede dar lugar a fugas a través de la empaquetadura. Por esta razón, es importante apretar las tuercas de la prensa en ambos lados para evitar la fuga. Repetir esta secuencia unas cuantas veces. Después de un período de tiempo, es posible que se tenga que agregar una o dos estopadas en la caja de la empaquetadura. Para añadir la estopada, hay que girar el volante en dirección contraria a las agujas del reloj en posición completamente abierta. Todas las válvulas de compuerta y globo llevan disposición de asiento trasero en posición abierta. Se debe retirar las tuercas de perno, levantar la prensa y la brida de la prensa y agregar el número requerido de estopadas.

Se debe tener en cuenta además que, si la válvula ha estado en servicio o en bodega por un largo tiempo, la empaquetadura está en posición comprimida por un largo tiempo, por tanto, pierde su compresibilidad, se vuelve dura y ya no aguanta la presión, incluso después de un mayor ajuste. En este momento no hay otra alternativa que sustituir la empaquetadura por una nueva.

El método de sustitución de la empaquetadura es similar al descrito en el anteriormente.

La empaquetadura vieja debe ser quitada mediante el uso de un punzón angular y reemplazada con una nueva empaquetadura del tamaño correcto con extremos abiertos a 180° entre sí.

Si la válvula está instalada en una tubería en funcionamiento, se deben tomar precauciones durante el reemplazo de la empaquetadura bajo presión. No debería haber ninguna fuga a través del casquillo cuando la válvula está en posición de asiento trasero. Si en esta posición se observa fuga en la empaquetadura, la válvula debe ser desmontada y el asiento trasero reparado.

4.1.7. Limpieza y lubricación del vástago.

El vástago por encima del área de la empaquetadura está siempre expuesto al aire libre donde hay gran cantidad de polvo y las inclemencias del tiempo pueden dañar su superficie. Para el funcionamiento correcto de la válvula, la parte roscada del vástago debe ser protegida del polvo y debe recibir la lubricación adecuada de forma periódica. La grasa debería ser aplicada por pistola de engrase a través de las boquillas de engrase previstas para la lubricación del manguito.

4.1.8. Cuidados generales.

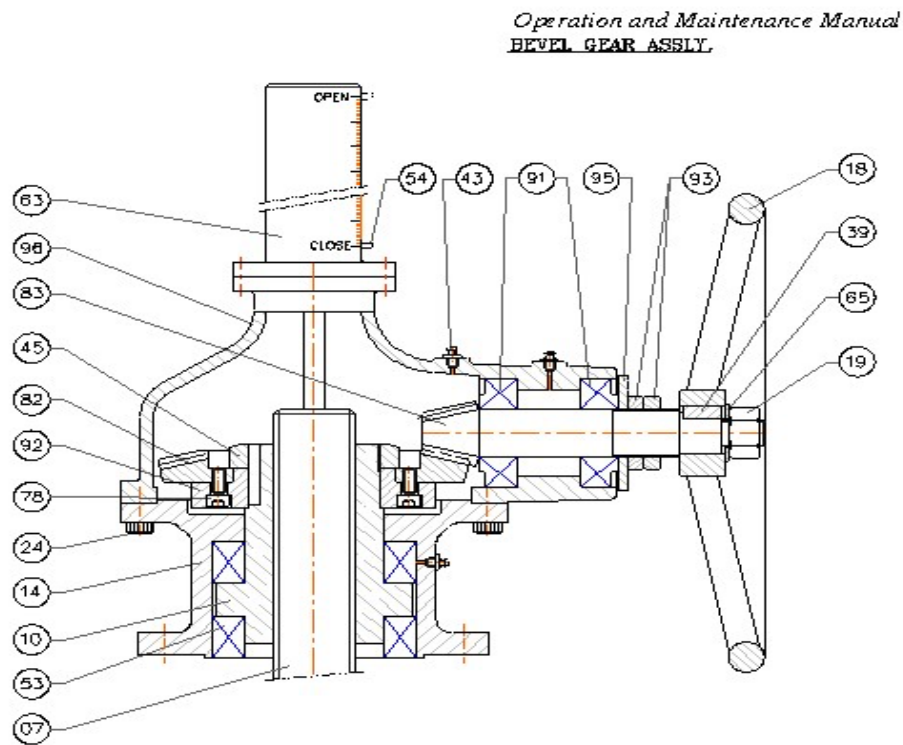
La vida normal de la válvula está diseñada para años, pero hay algunos factores que reducen la vida de la válvula de forma considerable, por ejemplo, el almacenamiento inadecuado, la contaminación de partículas duras en la tubería y la falta de un mantenimiento periódico.

Se hace necesario precisar algunas notas generales acerca del reductor. El reductor consta de un piñón y una rueda cónica perfectamente alineados. El reductor se coloca en la tuerca del puente de la válvula. Cuando el volante gira, el movimiento se transmite a través del piñón/rueda cónica a la tuerca del puente.

4.1.9. Mantenimiento.

Por lo general, los dientes del piñón, rueda cónica y los cojinetes de rodillos cónicos están debidamente engrasados antes del montaje final. Una limpieza periódica y lubricación es necesaria para todos los componentes en movimiento.

Figura 4- 2: Caja Reductora para Válvulas de Husillo pasante.



Fuente: <https://www.velan.com>

4.1.10. Instrucciones de operación para válvulas motorizadas.

Cuando se trata de conexión eléctrica, conexión de potencia al motor, los interruptores de fin de carrera abrir/cerrar deben estar en la fase correcta para que la rotación de actuador para el cierre y la apertura esté como lo indicado en la flecha del indicador. Para conseguir esta rotación y mantener la válvula medio abierta, se debe poner en marcha el actuador en modo de cierre del interruptor de fin de carrera y comprobar si la válvula se cierra en la dirección de la flecha requerida. Si gira en sentido inverso, se debe cambiar una fase de conexión del motor para obtener la rotación deseada en la dirección de cierre / flecha abierta.

Otra consideración importante es nunca arrancar el motor en la posición final de cierre / apertura sin verificar la conexión de fase, pues puede causar daños al motor debido a una sobrecarga. El diagrama de cableado está en el alojamiento de la caja de terminales, por lo que una conexión errónea de motor e interruptores de fin de carrera pueden ocasionar daños importantes al actuador.

Se debe recordar que el volante se proporciona para la operación manual de la válvula, para lo cual hay que colocar la palanca en modo manual y girar el volante en la dirección de las agujas del reloj para cerrar la válvula y girarlo en dirección contraria a las agujas del reloj para abrir la válvula.

El mantenimiento del reductor (si es proporcionado), debe considerar la limpieza periódica y engrase necesaria para el engranaje, dientes del piñón, rodamientos y otras piezas en movimiento dentro del reductor, por lo que se debe abrir la tapa del reductor y aplicar grasa a intervalos regulares en función de la frecuencia de las operaciones.

El mantenimiento de los actuadores no debe hacerse en planta. En caso de algún problema en el actuador, se debe contactar con el fabricante del actuador o con JC para saber cómo hay que proceder. Cualquier alteración del actuador puede dar lugar a importantes problemas, incluso, se pierde la garantía. El ajuste de los interruptores de final de carrera puede cambiarse ligeramente si es necesario.

El manual de instrucciones para los actuadores K se adjunta como anexo para más información.

4.1.11. Válvulas de accionamiento neumático (válvulas de compuerta).

La válvula de accionamiento neumático consta de un cilindro neumático con movimiento alternativo del pistón, montado en la válvula y acoplado con el eje de la válvula. Dos interruptores de final de carrera están situados en posición final de cierre / apertura de la válvula. La válvula de solenoide y montaje F.R.L está sujeto a la válvula. La caja de terminales comunes está prevista para el cableado interno de los interruptores de final de carrera y la válvula solenoide. En caso de fallo de alimentación en la planta se puede operar manualmente.

En cuanto a las instrucciones de operación para las válvulas de accionamiento neumático, de Conexión eléctrica, debe tenerse en cuenta que la caja de terminales está equipada con el número necesario de terminales. El cableado interno de la válvula de solenoide y los dos interruptores de final de carrera ya están conectados a la caja de terminales. El terminal de salida es proporcionado para las señales de salida de los interruptores de final de carrera y el suministro

de entrada a la válvula solenoide y al interruptor de final de carrera. La conexión debe ser realizada según el diagrama de cableado.

Para los cilindros neumáticos accionados por muelle de simple efecto, se requiere el suministro de aire a través de la válvula de solenoide para cerrar la válvula. En caso de fallo de energía o sin suministro de aire, la válvula se abre debido al accionamiento del muelle.

El volante está en la parte superior del cilindro de la válvula para efectuar el cierre manual de la válvula. Para un funcionamiento normal de la válvula con suministro de aire, el volante debe estar en posición abierta.

Es importante tener en cuenta que, si el volante se acciona para cerrar la válvula manualmente, entonces debe llevarse a posición abierta para el trabajo normal de la válvula con suministro de aire. La dirección de la flecha en el volante muestra, en sentido horario, el cierre de la válvula.

Para el mantenimiento normal de la válvula con cilindro de aire, se debe saber que el filtro regulador y lubricador se encuentra en la entrada del suministro de aire. Se debe tener cuidado al comprobar la condición de filtro de aire, nivel de aceite en el engrasador y cantidad necesaria de mezcla de aceite en el suministro de aire. El pistón del cilindro de aire no funcionará correctamente si no se proporciona el lubricado y suministro de aire limpio. El aceite lubricante adecuado debe ser proporcionado en la parte roscada del vástago equipado con el volante para el accionamiento manual.

En relación a la reparación de las válvulas, dependiendo del tipo y de la válvula, esta puede ser reparada a una nueva condición varias veces por remodelación o sustitución de piezas dañadas. Para reparar una válvula utilizada se deben seguir los siguientes pasos: desmontar la válvula y limpiar las piezas a fondo; inspeccionar las piezas y decidir si reparar o reemplazar las piezas defectuosas; mecanizar y soldar las piezas que han sido reparadas o fabricar nuevas piezas con materiales adecuados; y montar las piezas y probarlas de acuerdo con la especificación original.

El objetivo es realizar un mantenimiento regular antes de que se requiera una reparación importante, reduciendo así la probabilidad de fallos de las válvulas y garantizando su disponibilidad durante su vida útil.

El programa de mantenimiento preventivo de la válvula puede contener los siguientes puntos y las acciones necesarias deben ser tomadas en consecuencia: (a) inspección periódica estática para defectos visibles o fallos tales como embalaje o fuga por la tapa y condiciones del vástago; (b) maniobras periódicas de la válvula y lubricación cada seis meses de las roscas de los vástagos y engranes para evitar encasquillamiento y corrosión (lubricante a utilizar Castrol AP3 o similar); (c) cambio periódico de la empaquetadura para garantizar una empaquetadura sin fugas; (d) inspección periódica de la válvula y actuador para averiguar si hay degradación de los componentes (esto puede hacerse cuando la línea esté fuera de servicio o en modo de espera); (e) ensayos periódicos de par e interruptores de fin de carrera para asegurar su funcionamiento en válvulas de accionamiento motor.

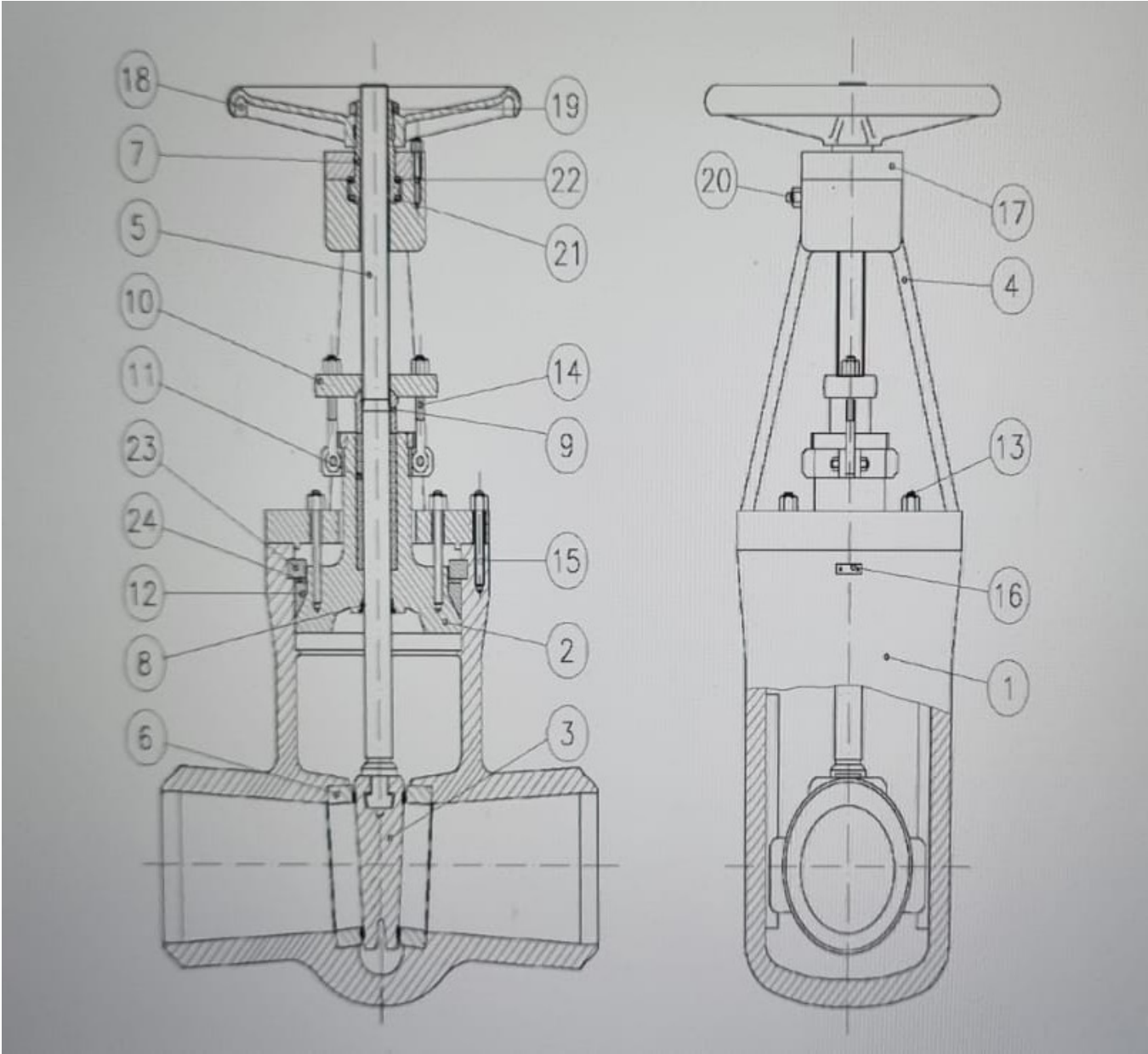
4.1.12. Precauciones.

Luego de todo lo anterior, hay ciertas precauciones que se deben tener en cuenta. Por ejemplo, si hay que reemplazar la empaquetadura en plena presión de trabajo, hay que asegurarse de que dispone de backseat y funciona correctamente.

Se debe verificar la dirección del giro al abrir y cerrar la válvula para la operación de apertura y cierre (operación en sentido contrario puede dañar la tuerca vástago). Cuando las válvulas son desmontadas, se debe poner una junta nueva al montarlas nuevamente.

4.2 Pressure Seal valves (Válvulas cierre a presión)

Figura 4- 3: Despiece de una válvula de Compuerta con sello a presión.



Fuente: <https://www.velan.com>

4.2.1 Desmontaje de una válvula de compuerta con sello a presión.

- a) Quitar la tuerca pos.19
- b) Quitar el volante pos.18 o reductor extrayendo los tornillos del puente pos. 4 y brida pos.17
- c) Quitar la brida pos.17
- d) Quitar los casquillos pos.21
- e) Desenroscar la tuerca del vástago pos.7 del vástago pos.5
- f) Desenroscar los tornillos pos.14, pos.15 & pos.13
- g) Elevar el puente pos.4, por encima del vástago pos.5
- h) Quitar los anillos seccionados pos.23 del cuerpo pos.1
- i) Quitar la arandela pos.24
- j) Quitar la tapa pos.2, junto con la junta pos.12 y sus componentes
- k) Quitar el vástago pos.5 junto con la cuña pos.3

4.2.2 Montaje.

- l) Antes de comenzar a montar, limpiar el interior del cuerpo, pos.1 y lubricar la superficie de apoyo, la junta pos.10, para prevenir el gripado durante el montaje.
- m) Insertar en el cuerpo pos.1, el subconjunto cuña, pos.3 & el vástago pos.5
- n) A través del vástago pos.5, introducir la tapa pos.2 hasta que se aloje dentro del cuerpo pos.1
- o) Introducir la junta pos.12 y la arandela pos.24 hasta que se aloje entre la tapa pos.2 y el cuerpo pos.1
- p) Colocar dentro del cuerpo pos.1, los anillos seccionados pos.23
- q) Reemplazar en la tapa pos.2, la empaquetadura pos.11, si ha sido extraída.
- r) Colocar la prensa pos.9 y el platillo prensa pos.10
- s) Colocar el puente, pos. 4 en el cuerpo, pos.1
- t) Elevar la tapa pos.2, y apretar ligeramente los tornillos, pos.13
- u) Apretar las tuercas de los tornillos pos.15

- v) Roscar las tuercas de los tornillos pos.14
- w) Colocar los casquillos pos.21 sobre la tuerca del vástago pos.7 y roscarla al vástago pos.5
- x) Colocar la brida pos.17 y roscar las tuercas de los tornillos pos.22
- y) Colocar el volante pos.18 o reductor.
- z) Roscar en la tuerca vástago, la tuerca pos.19

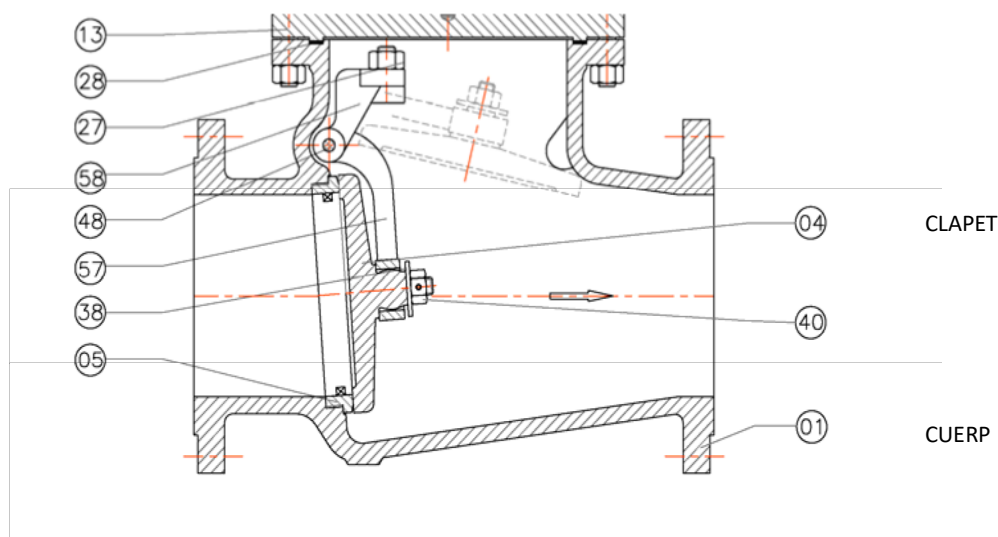
4.3 Válvula de retención

Las válvulas de retención son válvulas de auto-operación. El disco se abre en la dirección del flujo y vuelve de nuevo al asiento cuando el flujo se detiene y se sella con el anillo de asiento a contrapresión. El disco está sujeto por la biela, puente y eje está auto alineado y se mueve dentro de la cavidad del cuerpo. En tamaños grandes, el pasador de la biela puede salir del cuerpo para equilibrar la amortiguación.

Para desmontar una válvula de retención se debe, en primer lugar, retirar la tapa del cuerpo quitando los espárragos/tuercas de la tapa-cuerpo. Sacar el conjunto biela, puente y disco. Separar el disco quitando el pasador y la tuerca del disco. Limpiar el interior del cuerpo con líquido limpiador. Verificar el estado de la superficie del anillo del asiento. La rectificación de la superficie del asiento es la misma según se especifica en la válvula de Compuerta y Globo.

Después de lapear el disco y el anillo del asiento, debe montar el conjunto biela/puente disco y cambiar la junta vieja. Montar la tapa en el cuerpo y asegurarse que el montaje del disco está correctamente colocado sobre el anillo del asiento y que puede moverse libremente dentro del cuerpo.

Figura 4- 4: Válvula de retención Swing Check



Fuente: <https://www.velan.com>

4.3.1 Amortiguador válvula de retención.

El amortiguador en la válvula de retención tiene la función de evitar que el disco golpee directamente el asiento durante el proceso de cierre de la válvula. Su objetivo es proporcionar un cierre suave y controlado, evitando daños en el asiento y el propio disco.

El diseño del amortiguador es similar al de un cilindro hidráulico con pistón y vástago. El pistón tiene un orificio de tamaño específico y una pequeña válvula antirretorno accionada por un resorte. El cilindro se llena de aceite. Durante la apertura del disco, tanto los orificios como la válvula antirretorno se abren para permitir una apertura rápida del disco. Mientras tanto, durante el proceso de cierre del disco, la válvula antirretorno se cierra y el aceite fluye internamente a través del orificio directo. Esta configuración permite abrir el disco de forma rápida y cerrarlo lentamente, evitando daños en el asiento debido al peso del disco.

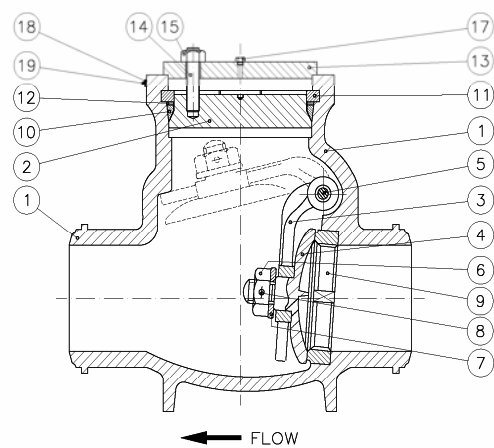
En cuanto al mantenimiento del amortiguador, es importante aplicar aceite lubricante en las diferentes articulaciones de movimiento del amortiguador. La parte abierta de la barra del pistón debe mantenerse limpia. El sello de lubricación de la barra del pistón y las juntas tóricas del pistón pueden reemplazarse con el tiempo, dependiendo de la frecuencia de uso.

Para desmontar el amortiguador, se debe desembragar el eje del pistón que está conectado al pasador del disco y al ensamblaje de la palanca de la válvula principal. Luego, se retira el

amortiguador quitando la tuerca del pasador del pivote. A continuación, se retiran los pernos de la estructura superior y se extrae el conjunto del pistón del cilindro. Por último, se vacía el aceite del cilindro y se desenrosca el eje del pistón del pistón. Si es necesario, se puede reemplazar el sello de aceite y las juntas tóricas. Estos pasos y recomendaciones son importantes para el mantenimiento adecuado del amortiguador y asegurar su correcto funcionamiento.

4.4 Válvula de retención Pressure seal

Figura 4- 5: Despiece de una válvula de Retención con sello a presión.



Fuente: <https://www.velan.com>

4.4.1 Desmontaje.

- a) Desenroscar la tuerca pos.15
- b) Quitar la brida pos.13
- c) Quitar los anillos seccionados pos.11
- d) Quitar la arandela pos.12 y la junta pos.10 junto con la tapa pos.2
- e) Desenroscar el tapón (en caso de eje externo) y quitar el pos.5
- f) Quitar el cuerpo pos.1 y el subconjunto pos. 3, 4, 6 & 7

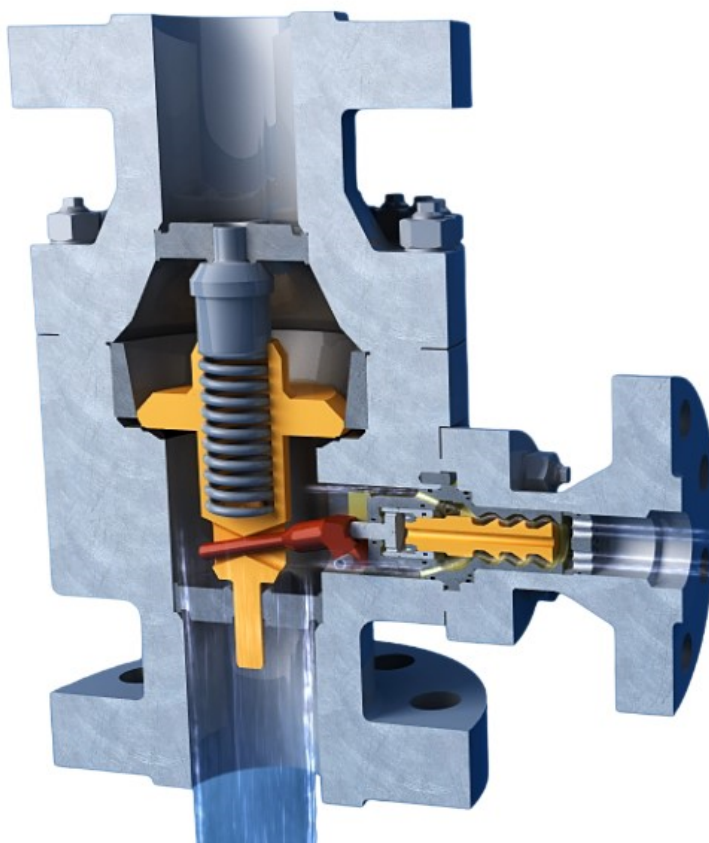
4.4.2 Montaje.

Antes de comenzar a montar, limpiar el interior del cuerpo pos.1 y lubricar la superficie de apoyo, la junta pos.10, para prevenir el gripado durante el montaje.

- a) Insertar en el cuerpo pos.1 el subconjunto pos.3, 4, 6 y 7
- b) Colocar el eje pos.5 a través de la biela pos.3 y roscar el tapón si hay eje externo.
- c) Introducir la tapa pos.2 en el cuerpo pos.1
- d) Colocar entre el cuerpo pos.1 y la tapa pos.2, la junta pos.10 y la arandela pos.12
- e) Colocar los anillos seccionados pos.11 en el cuerpo pos.1
- f) Colocar la brida pos.13 sobre el cuerpo pos.1
- g) Roscar las tuercas pos.15.

4.5 Mantenimiento de una válvula ARV del tipo TDM

Figura 4- 6: Corte de una Válvula de Recirculación Automática.



Fuente: <https://www.schroedahl.com>

4.5.1 Mantenimiento.

La válvula del tipo TDM ha sido concebida de modo que no requiera mantenimiento especial, por cuanto se limita a una limpieza de las piezas internas durante el mantenimiento periódico de la bomba o los componentes similares de la planta, y un cambio periódico de juntas, por lo menos cada dos años. En caso de desmontaje de la válvula, hay que emplear nuevos juegos de juntas.

Es recomendable un mantenimiento después de la puesta en marcha y un cambio periódico de juntas, por lo menos cada dos años. Además, debe contar con un stock un juego de derivación (bypass).

4.5.2 Desmontaje e inspección de la válvula TDM.

El procedimiento de desmontaje de las válvulas TDM es el que sigue: a) Primero, despresurizar el sistema de manera adecuada para garantizar la seguridad durante el desmontaje. b) Desmontar la válvula del sistema, desconectando las tuberías de la bomba. c) Aflojar las tuercas hexagonales (pos. 29) y desmonta el bypass (pos. 09). d) Con cuidado, utilizando un destornillador o una palanca de montaje, palanquear el inserto del bypass para retirarlo. Se puede aplicar la palanca entre el collar del cabezal de mando (pos. 11) y la parte inferior (pos. 01) para facilitar la extracción. e) Retirar la parte superior de la carcasa (pos. 02) de la parte inferior (pos. 01) una vez que haya aflojado las tuercas hexagonales (pos. 28). f) Por último, puede extraer el cono de la válvula de retención (pos. 07) y el resorte de tornillo (pos. 06) de la parte inferior de la carcasa (pos. 01).

La inspección, por su parte, requiere de: a) Limpiar todas las piezas y comprobar en cuanto a eventuales daños. b) Si existen daños en las superficies de asiento, los componentes deben sustituirse por otros nuevos. c) Renovar la junta tórica (pos. 30). d) La superficie de rodadura del cono vortex (pos. 12) y la superficie de asiento del casquillo vortex (pos. 10) deben controlarse en cuanto a daños. En caso de daños, deben cambiarse en principio el cono vortex (pos. 12) y el casquillo vortex (pos. 10) como unidad. e) El disco perforado o la boquilla (pos. 23) deben controlarse en cuanto a daños.

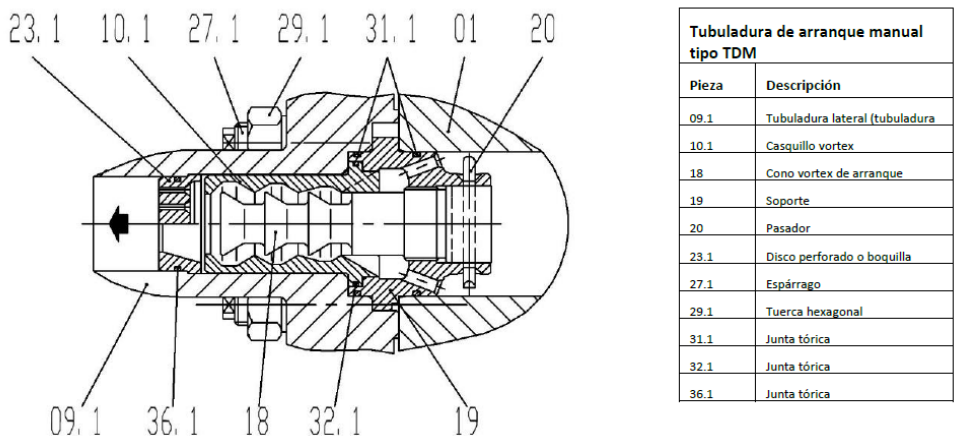
4.5.3 Montaje del inserto del bypass.

El montaje del bypass se lleva a cabo en el orden inverso, como se describió anteriormente.

El montaje de la válvula lleva a cabo los siguientes pasos: (a) Insertar el cono de retención (pos. 07) junto con el resorte de tornillo (pos. 06) en la parte inferior de la carcasa (pos. 01). (b) Ensamblar las piezas de la rueda libre (pos. 10, 23, 32 y 36) en la carcasa del bypass lateral (pos. 09). (c) Colocar cuidadosamente las piezas del bypass (pos. 11-16, 21, 25, 31, 33-35) en la parte inferior de la carcasa (pos. 01), asegurándose de que la palanca de mando (pos. 13) entre en el agujero oblongo del eje del cono (pos. 07.2). (d) Colocar la carcasa lateral (pos. 09) con las piezas pre ensambladas del bypass en la parte inferior de la carcasa (pos. 01) y fijarla con los tornillos hexagonales (pos. 27) y tuercas hexagonales (pos. 29). (e) Aplicar un apriete uniforme en cruz a los tornillos hexagonales (pos. 27) y tuercas hexagonales (pos. 29) utilizando el par de apriete especificado (consultar el capítulo 9.8). (f) Colocar la parte superior de la carcasa (pos. 02) sobre la parte inferior (pos. 01) y fijarla mediante los tornillos hexagonales (pos. 26) y las tuercas hexagonales (pos. 28). (g) Aplicar un apriete uniforme en cruz a los tornillos hexagonales (pos. 26) y tuercas hexagonales (pos. 28) utilizando el par de apriete especificado (consultar el capítulo 9.8).

Es importante seguir el procedimiento de montaje paso a paso, asegurándose de apretar los tornillos y tuercas de manera uniforme y utilizando el par de apriete especificado. Esto garantizará un ensamblaje adecuado de la válvula y su correcto funcionamiento.

Figura 4- 7: Corte de By-pass



El procedimiento de desmontaje del bypass es el que se describe a continuación: (a) Aflojar las tuercas hexagonales (pos. 29.1). (b) Extraer la carcasa lateral (pos. 09.1). (c) Extraer el pasador (pos. 20) y desenroscar el cono vortex de arranque (pos. 18). (d) Inspección: Si existen daños en el cono vortex de arranque (pos. 18) o el casquillo vortex (pos. 10.1) deberá sustituirse la carcasa de arranque completa, incluyendo el disco perforado o la boquilla (pos. 23.1). (e) En principio, deben renovarse las juntas tóricas (pos. 31.1, 32.1 y 36.1).

4.5.4 Puesta en servicio.

La puesta en servicio de la válvula se realiza en combinación con la puesta en servicio de las bombas. Cuando la bomba arranca, con la compuerta cerrada en la tubería principal, fluye automáticamente la cantidad mínima especificada a través de la derivación de la válvula. La apertura y cierre del bypass puede comprobarse mediante el accionamiento de la compuerta. El punto de conmutación se percibe acústicamente (utilice un estetoscopio o un destornillador para escuchar el flujo) o verifique el flujo en base a los medidores de flujo y presión en la instalación.

Si durante el arranque de la planta fluye la cantidad mínima a través de la derivación por un período prolongado, los internos del bypass pueden quedar expuestos a un mayor desgaste. Para evitar esto, en la fase de arranque puede colocarse un bypass de arranque Manual, la cual tiene mayores tolerancias y una menor calidad de regulación. Por ello, no se da el control de derivación con modulación que se describe en la sección anterior.

Si se instala una conexión de arranque manual en la válvula, con esta unidad se podrá alcanzar la corriente de cantidades mínimas para las condiciones específicas de arranque. Al utilizar el lado de arranque manual, se cierra el lado de derivación normal con la válvula de cierre aguas abajo, pero la válvula de cierre del lado de arranque manual, debe abrirse previamente. Con este procedimiento, la unidad de derivación automática queda protegida durante la puesta en marcha, dado que el fluido puede estar contaminado o podría contener cuerpos extraños que pueden dañar la válvula.

En cuanto al mantenimiento recomendado para una válvula ARV de la marca Schroedahl, estas se han diseñado para que no requieran mantenimientos especiales o predictivos, solo verificaciones en los mismos ciclos que se verifican las bombas. Esta revisión se restringe a la limpieza del trim después de que la válvula se ha desmontado de la bomba. Luego de desarmar la válvula, todos los sellos blandos se deben reemplazar por nuevos sellos.

4.5.5 *Mantenimiento recomendado para una válvula de recirculación con control neumático.*

Tabla 4- 1: Calendario de mantenimiento de una válvula de control neumática.

ELEMENTO	PROGRAMA DE INSPECCIÓN
Internos de la Válvula (Asiento, Tapón, Jaula y Guía)	Inspeccionar cada 6 meses, en condiciones normales de servicio (baja caída de presión y sin arena o abrasivos en el fluido). O inspeccionar cada 2 meses, en condiciones de servicio, tales como alta caída de presión, corrosión o fluido con arena.
Empaquetadura del Vástago	Inspeccionar la Empaquetadura al menos una vez al año.
Actuador	Inspeccionar el Diafragma, Resorte y Vástago una vez al año.
Cuerpo	El cuerpo debe durar muchos años en condiciones normales. Sin embargo, bajo condiciones severas de corrosión o erosión de la arena contenida en el flujo de fluido, altas caídas de presión o alta velocidad del fluido, la vida útil del cuerpo puede reducirse en gran medida. Inspeccionar el cuerpo cada vez que se quita el bonete.
Bonete	Inspeccionar el bonete una vez al año o cada vez que se realiza una inspección de la internos.
Juntas	Reemplazar las empaquetaduras e inspeccionar las juntas tóricas cada vez que se desmonta la válvula.

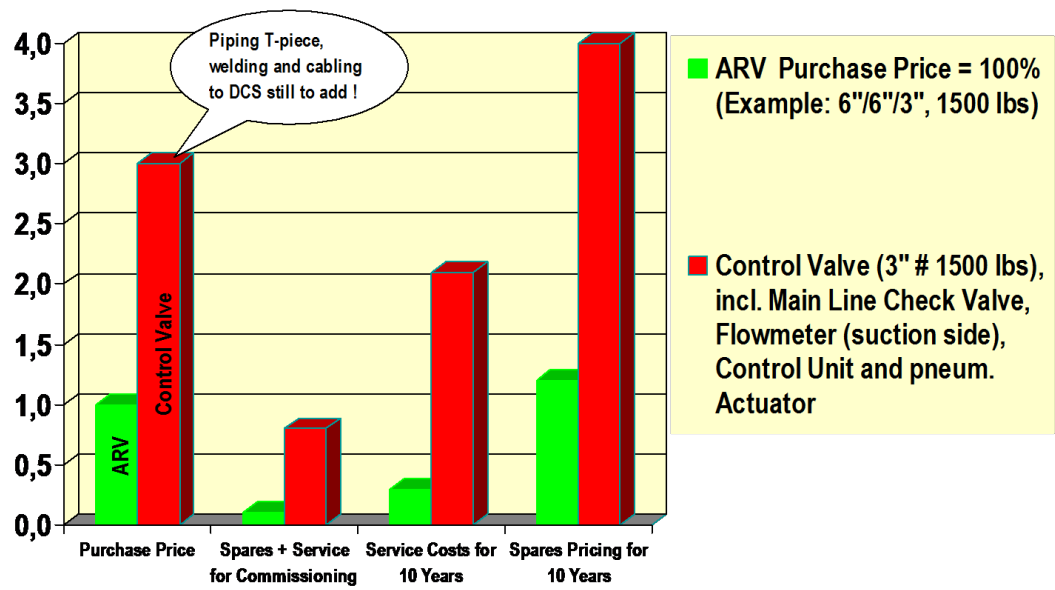
Fuente: <https://www.emerson.com>

Figura 4- 8: Válvula de control neumática.



Fuente: <https://www.emerson.com>

Figura 4- 9: Comparativo de partes y costos de mantenimiento entre una línea de recirculación y una válvula de recirculación.



Fuente: <https://www.schroedahl.com>

Capítulo 5: Comparaciones matemáticas de tiempo de llenado de línea y gasto energético

5.1 Cálculo de la velocidad del fluido en la línea de succión

- Línea de Succión a la bomba
- Diámetro de la cañería 8”
- Caudal requerido por la bomba 311.5 m3/h

Ecuación 1: Velocidad de un Fluido en línea de succión.

Utilizaremos la fórmula para calcular la velocidad de un fluido en una cañería.

$$V \text{ (m/seg)} = \frac{\text{Caudal (m3/hr)}}{\text{Área (m2)}}$$

Por lo tanto, con los datos obtenidos

$$V \text{ (m/seg)} = \frac{311.5 \text{ m3/hr}}{0.03243 \text{ m2}} = 9605.30 \text{ m/hr} = 2.67 \text{ m/seg.}$$

La velocidad del fluido de succión para un caudal de 311.5 m3 es de 2.67 m/seg.

Cálculos de Velocidad, flujo y caudal en la línea de Impulsión.

Para calcular la velocidad del caudal a la descarga de la bomba se utiliza la misma fórmula.

5.1 Línea de impulsión a la bomba.

Ecuación 2: Velocidad de un fluido en la línea de impulsión.

- Diámetro de la cañería: 6”
- Caudal requerido por la impulsión 296.8 m3/hr

Utilizaremos la fórmula para calcular la velocidad de un fluido en una cañería.

$$V \text{ (m/seg)} = \frac{\text{Caudal (m3/hr)}}{\text{Área (m2)}}$$

Por lo tanto, con los datos obtenidos

$$V \text{ (m/seg)} = \frac{296.8 \text{ m}^3/\text{hr}}{0.01824 \text{ m}^2} = 16271.93 \text{ m/hr} = 4.52 \text{ m/seg.}$$

La velocidad del fluido de impulsión para un caudal de 296.8 m3 es de 4,52 m/seg.

Con esto podemos calcular la velocidad en el tramo de impulsión antes y después de la válvula Check de 12” instalada en la impulsión tradicional.

Ecuación 3: Ecuación de continuidad aplicada en la impulsión tradicional.

- Presión del flujo 193 bar
- Diámetro de la cañería a la salida de la bomba 6”
- Diámetro de la cañería después de la válvula 12”
- Check
- Velocidad del fluido a la salida de la bomba 4.52 m/s

$$p1 \cdot A1 \cdot V1 = p2 \cdot A2 \cdot V2$$

Para descubrir la velocidad presente en la ampliación de la cañería de impulsión, después de la válvula Check de 12” debemos despejar la fórmula:

$$V2 = \frac{p1 \cdot A1 \cdot V1}{p2 \cdot A2}$$

Como la presión de entrada es la misma que la de salida, su número se iguala a 1.

Por lo tanto:

$$V2 = \frac{0.01767 \text{ m}^2 \cdot 4.52 \text{ m/seg}}{0.071 \text{ m}^2} = 1,125 \text{ m/seg}$$

Esto indica que la velocidad en la línea de 12”, que realizará la descarga de la impulsión, al manifold de distribución, será de 1,125 m/seg.

Ecuación 4: Caudal hacia la línea de impulsión.

Con este número podemos calcular el caudal volumétrico que desplazara la bomba hacia el manifold de distribución.

- Recorrido 50 m.
- Caudal: 296.8 m³/hr
- Velocidad de entrega del fluido: 1,125 m/seg.

Utilizando la fórmula de Caudal y de distancia velocidad

$$Q = V/t$$

$$v = D/t$$

Donde

Q= Caudal en m³/hr

V= Volumen m³

t= tiempo en hr

v= velocidad

D= distancia

Por lo tanto, utilizando los datos obtenidos:

$$Q = V/t$$

$$v = D/t$$

Donde

Q= 296.8 m³/h

V= Volumen m³

t= tiempo en h

v= 1,125 m/seg

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

Calculando el tiempo:

$$v = d/t$$

$$t = d/v$$

$$t = \frac{50 \text{ m}}{1,125 \text{ m/seg}} = 44,44 \text{ seg} = 0.01234 \text{ hr.}$$

$$1,125 \text{ m/seg.}$$

Ecuación 5: Calculando el caudal Volumétrico transportado

$$Q = V/t$$

$$V = Q \cdot t$$

$$V = 296.8 \text{ m}^3/\text{hr} \cdot 0.01234 \text{ hr} = 3.66 \text{ m}^3.$$

Por lo tanto, el circuito desplazara 3,66 m³ en 44,44 segundos, lo que es equivalente a:

$$Q = V/t$$

$$Q: \frac{3,66 \text{ m}^3}{44,44 \text{ s}} = 0.082358 \text{ m}^3/\text{seg} \text{ y a } 296.5 \text{ m}^3/\text{hr.}$$

$$44,44 \text{ s}$$

5.2 Cálculos de velocidad, flujo y caudal en la línea propuesta

5.2.1 Comparaciones matemáticas entre los tramos de impulsión antes y después de la válvula de recirculación automática instalada en la impulsión propuesta.

Ecuación 6: Ecuación de continuidad aplicada en la impulsión propuesta.

- Presión del flujo 193 bares.
- Diámetro de la cañería a la salida de la bomba 6"
- Diámetro de la cañería después de la válvula de Recirculación Automática 6"
- Velocidad del fluido a la salida de la bomba 4,52 m/s

$p1 \cdot A1 \cdot V1 = p2 \cdot A2 \cdot V2$

Para descubrir la velocidad presente, después de la válvula de recirculación automática de 6" debemos despejar la fórmula:

$$V2 = \frac{p1 \cdot A1 \cdot V1}{P2A2}$$

Como la presión de entrada es la misma que la de salida, su número se iguala a 1.

Por lo tanto:

$$V2 = \frac{0.01824m^2 \cdot 4,52 \text{ m/seg}}{0.01824 \text{ m}^2} = 4,52 \text{ m/seg}$$

$$V2 = \frac{0.01824m^2 \cdot 4,52 \text{ m/seg}}{0.01824 \text{ m}^2} = 4,52 \text{ m/seg}$$

Esto indica que la velocidad de descarga de la impulsión, al manifold de distribución, será de 4,52 m/seg.

Con este número podemos calcular el caudal volumétrico que desplazara la bomba hacia el manifold de distribución.

- Recorrido 50 m
- Caudal 296.8 m3/hr
- Velocidad de entrega del fluido 4,52 m/seg

Utilizando la fórmula de Caudal y de distancia velocidad:

$$Q= V/t$$

$$v= D/t$$

Donde

$$Q= \text{Caudal en m}^3/\text{hr}$$

$$V= \text{Volumen m}^3$$

$$t= \text{tiempo en hr}$$

$$v= \text{velocidad}$$

$$D= \text{distancia}$$

Por lo tanto, utilizando los datos obtenidos:

$$Q= V/t$$

$$v= D/t$$

Donde

$$Q= 296.8 \text{ m}^3/\text{hr}$$

$$V= \text{Volumen m}^3$$

$$t= \text{tiempo en hr}$$

$$v= 4,52 \text{ m/seg}$$

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

Calculando el tiempo

$$v=d/t$$

$$t=d/v$$

$$t= \frac{50 \text{ m}}{4,52 \text{ mt/seg}} = 11,062 \text{ seg} = 0.00307 \text{ hr.}$$

$$4,52 \text{ mt/seg}$$

Calculando el caudal Volumétrico transportado

$$Q=V/t$$

$$V=Q*t$$

$$V= 296.8 \text{ m}^3/\text{hr} * 0.00307 \text{ hr} = 0.9112 \text{ m}^3.$$

Por lo tanto, el circuito desplazara 0.9112 m³ en 11,062 segundos. Lo que es equivalente a:

$$Q=V/t$$

$$Q: \frac{0,9112 \text{ m}^3}{11,062 \text{ seg.}} = 0.08237 \text{ m}^3/\text{seg. y a } 296.5 \text{ m}^3/\text{hr.}$$

$$11,062 \text{ seg.}$$

Queda demostrado que no hay cambios en el caudal volumétrico que aporta una bomba al utilizar una válvula ARV con relación a una válvula Check tradicional.

Al obtener las velocidades en los diferentes diámetros de la impulsión, podemos comprobar por el teorema de la continuidad del fluido, despejado en la incógnita de velocidad, con esto revisaremos el comportamiento dentro del manifold principal.

$$V_2 = \frac{p_1 * A_1 * V_1}{p_2 A_2}$$

$$p_2 A_2$$

5.3 Comparación entre líneas de impulsión

5.3.1 Línea de impulsión tradicional.

- Salida después de la válvula Check 12”
- Diámetro del manifold de impulsión 24”
- Presión de la línea 193 Bar
- Velocidad después de la válvula Check 1.125 m/seg.
de 12”

Ecuación 7: Cálculo de velocidad en la línea de impulsión tradicional.

Reemplazando, como las presiones son iguales, se reemplazan por un 1.

$$V2 = \frac{p1 \cdot A1 \cdot V1}{p2 \cdot A2} = \frac{0.07296 \text{ m}^2 \cdot 1,125 \text{ m/seg}}{0,48 \text{ m}^2} = \frac{0.8208 \text{ m/seg}}{0,48 \text{ m}^2} = 1.71 \text{ m/seg}$$

5.3.2 Línea de impulsión utilizando una válvula de recirculación automática.

- Salida después de la ARV 6”
- Diámetro del Manifold de impulsión 24”
- Presión de la línea 193 Bar
- Velocidad después de la ARV de 6” 4,52 m/seg.

Reemplazando, como las presiones son iguales, se reemplazan por un 1.

$$V2 = \frac{p1 \cdot A1 \cdot V1}{p2 \cdot A2} = \frac{0.01824 \text{ m}^2 \cdot 4,52 \text{ m/seg}}{0,48 \text{ m}^2} = \frac{0.8244 \text{ m/seg}}{0,48 \text{ m}^2} = 1.72 \text{ m/seg}$$

La velocidad dentro del manifold principal prácticamente no sufre alteración, pues en la línea tradicional la velocidad es de 1.71 m/seg. y en la propuesta es de 1,72 m/seg.

Figura 5- 1: Planta de impulsión de agua en minera.



Fuente: <https://www.mineriachilena.cl>

5.4 Cálculo de la fuerza necesaria para que una bomba entre al proceso

En el caso de que las bombas estén funcionando y una tenga que salir y luego entrar en operación, el manifold estará presurizado a la presión de trabajo de las bombas, que es 193 bar., calcularemos ahora la fuerza que deberá ejercer la bomba para romper la columna y entrar en el proceso.

Ecuación 8: Utilizando la fórmula de Fuerza:

$$F = A * P$$

Donde

F= Fuerza

A= Área de la clapeta. ($A = \pi * r^2$)

P= Presión de la columna.

5.4.1 Datos en circuito de impulsión tradicional.

Línea de 12"

$$F = (3.1416 * 36 \text{ in}^2) * 193 \text{ bar.}$$

$$= 113.098 \text{ in}^2 * 2871.7 \text{ lb/in}^2$$

$$= 324783,5266 \text{ lbf}$$

$$= 147319.3 \text{ Kgf}$$

5.4.2 Datos en el circuito propuesto, utilizando una válvula de recirculación automática.

Línea de 6"

$$F = (3.1416 * 9 \text{ in}^2) * 193 \text{ bar.}$$

$$= 28.2744 \text{ in}^2 * 2871.7 \text{ lb/in}^2$$

$$= 81195.59448 \text{ lbf}$$

$$= 36829.7 \text{ Kgf}$$

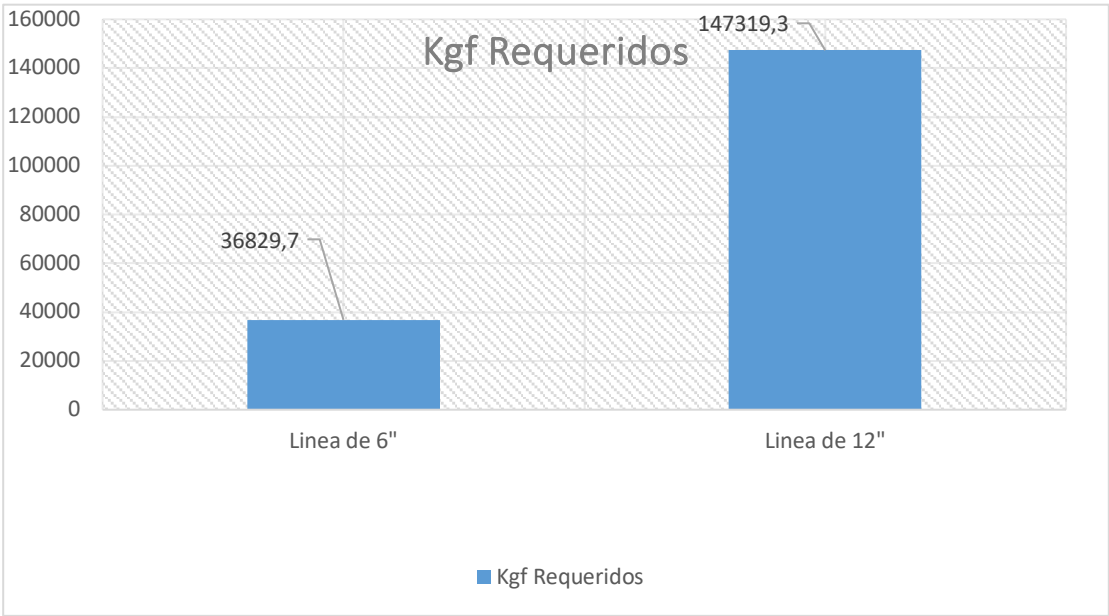
Para vencer la columna y entrar en operación, utilizando una válvula de recirculación automática, la bomba necesitara ejercer tres veces menos fuerza que si trabajara con una válvula Check normal.

5.4.3 Realizando las comparaciones.

En la línea de 12" se necesitan 147319.3 kgf y en la línea de 6" se necesitan 36829,7 kgf.

$$147319.3 : 36829.7 = 4.0$$

Figura 5- 2: Gráfico de comparación de Fuerzas.



Fuente: Elaboración propia.

5.5 Cálculo de potencia hidráulica requerida y consumo en kW

Estableciendo la potencia Hidráulica necesaria de la bomba para vencer la columna y entrar al proceso cuando las bombas están en servicio.

5.5.1 Circuito tradicional.

Utilizando la fórmula de la potencia Hidráulica y asumiendo que la columna total de la bomba es de 2093 m.

- Gravedad específica 1027 kg/m3
- Aceleración de gravedad 9.8 m/seg.
- Caudal de la impulsión 296.8 m3/hr. (0,0824 m3/seg)
- Altura total que alcanza la bomba 2093 m

Ecuación 9: Potencia Hidráulica de una bomba:

$$kW= \frac{\rho gQH}{1000} = \frac{1027 \text{ kg/m}^3 \cdot 9,8 \text{ m/seg}^2 \cdot 0,0824 \text{ m}^3/\text{seg} \cdot 2093 \text{ m}}{1000} = 1735,77 \text{ kW}$$

5.5.2 Circuito de recirculación, al utilizar una válvula de recirculación automática.

Utilizando la fórmula de la potencia Hidráulica y asumiendo una columna total de bombeo de 2093 m.

- Gravedad específica 1027 kg/m3
- Aceleración de gravedad 9.8 m/seg
- Caudal en la recirculación 100 m3/hr. (0,0278 m3/seg)
- Altura total que alcanza la 2093 m
bomba

Ecuación 10: Potencia hidráulica de una bomba.

$$kW = \frac{\rho g Q H}{1000} = \frac{1027 \text{ kg/m}^3 * 9,8 \text{ m/seg}^2 * 0,0278 \text{ m}^3/\text{seg} * 2093 \text{ m}}{1000} = 585,61 \text{ kW}$$

Por lo tanto, la Potencia Hidráulica demanda por la bomba en las partidas, en un circuito tradicional es de 1735, 77 kW y en un circuito con una Válvula de Recirculación Automática es de 585,61 kW, o sea casi dos veces menos.

Relacionando: $\frac{1735,77 \text{ kW}}{585,61 \text{ kW}} = 2.96$

5.6 Circuito tradicional

Ecuación 11: Cálculo de Potencia Requerida

Al conocer la potencia hidráulica y la eficiencia de la bomba, podemos calcular la potencia requerida por la bomba, en los diferentes circuitos, mediante la siguiente ecuación:

Potencia Demandada por la Bomba (kW)= $\frac{\rho g Q H}{\eta_{\text{bomba}} * 1,000}$

Potencia de la bomba = 80%

$$kW = \frac{\rho g Q H}{80\% \cdot 1000} = \frac{1027 \text{ kg/m}^3 \cdot 9,8 \text{ m/seg}^2 \cdot 0,0824 \text{ m}^3/\text{seg} \cdot 2093 \text{ m}}{80\% \cdot 1000} = 2169,7125 \text{ kW}$$

5.7 Circuito de Recirculación automática

Eficiencia de la bomba = 80%

$$kW = \frac{\rho g Q H}{80\% \cdot 1000} = \frac{1027 \text{ kg/m}^3 \cdot 9,8 \text{ m/seg}^2 \cdot 0,0278 \text{ m}^3/\text{seg} \cdot 2093 \text{ m}}{80\% \cdot 1000} = 732,0125 \text{ kW}$$

Por lo tanto, la Potencia demanda por la bomba en las partidas, en un circuito tradicional es de 2169.7125 kW y en un circuito con una Válvula de Recirculación Automática es de 732.0125 kW, o sea casi 2 veces menos.

$$\text{Relacionando: } \frac{2169,7125}{732,0125} = 2.96$$

Ecuación 2: Cálculo de Potencia Demandada por el Conjunto Bomba Motor.

Si se conoce la potencia requerida por la bomba y la eficiencia del motor, se puede determinar la potencia requerida (kW) por el conjunto bomba-motor con la ecuación:

$$\text{Potencia Requerida (kW)} = \frac{\text{Potencia demandada por la bomba}}{\eta_{\text{motor}}}$$

Eficiencia del motor=83%

En el circuito tradicional

$$\text{Potencia Requerida (kW)} = \frac{2169,7125 \text{ kW}}{0,83} = 2614,11 \text{ kW}$$

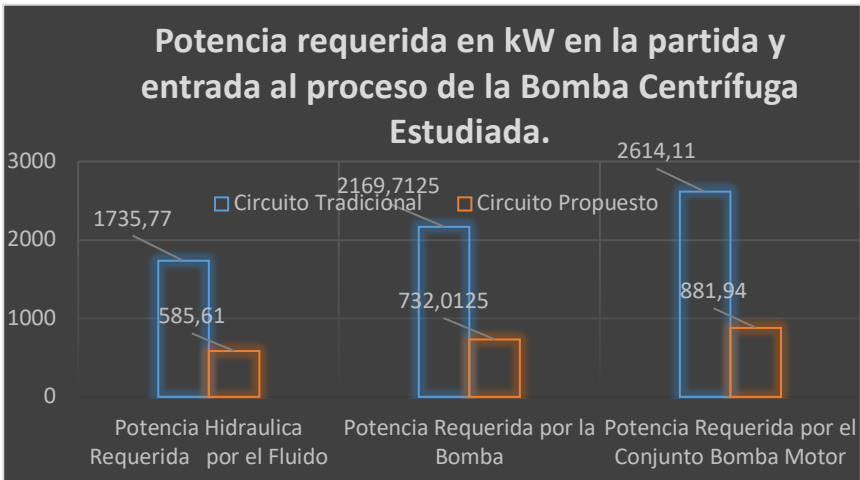
En el circuito con Válvula de Recirculación Automática

$$\text{Potencia Requerida (kW)} = \frac{732,0125 \text{ kW}}{0,83} = 881,94 \text{ kW}$$

Por lo tanto, la Potencia demanda por el conjunto Bomba Motor, en las partidas, en un circuito tradicional es de 2614,11 kW y en un circuito con una Válvula de Recirculación Automática es de 881,94 kW, o sea casi dos veces menos.

$$\text{Relacionando: } \frac{2614,11}{881,94} = 2.96$$

Figura 5- 3: Gráfico comparativo de Eficiencia Energética.



Fuente: Elaboración propia

5.8 Comparación del tiempo de llenado de la línea principal

Como modelo de cálculo, utilizaremos una línea de impulsión de agua de mar, de 36” de diámetro, con dos estaciones de bombeo, una a 45,72 km y la otra a 96,85 km. El tiempo de llenado en total del ducto, es de 144,45 hrs. Y se realiza mediante el control de flujo por VDF.

Ecuación 13: Llenado del Ducto.

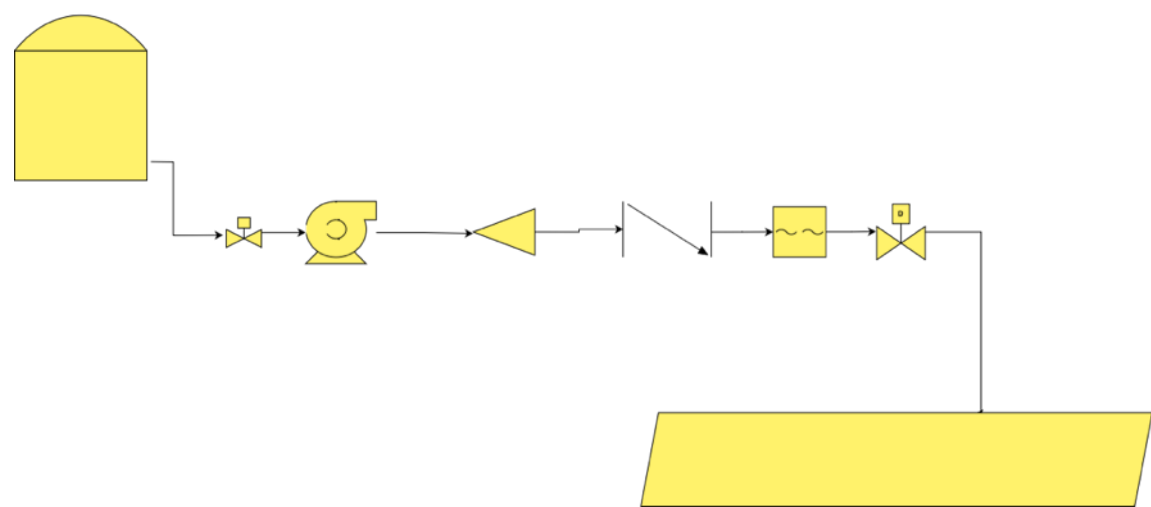
Por lo tanto, la velocidad de llenado del ducto es de:

$V=D/T$

$V= 142,57 \text{ km}/144,45 \text{ hrs.}$

$V= 0.98 \text{ km/hr.}$

Figura 5- 4: Bosquejo de línea de impulsión llenada por VDF.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5- 5: Planta de impulsión desaladora Caitan.



Fuente: <https://www.revistamineria.cl>

5.9 Cálculo velocidad propuesto

El estudio de sujeto será una válvula de recirculación de 8”, clase 1500 lbs., seleccionada para una bomba con una altura máxima de 2040 m y una altura de operación de 1712 m.

El flujo mínimo necesario para la operación estable de la bomba es de 119,96 m3/hr.

El flujo disponible en un arranque manual para partida rápida es de 119,96 m3/hr.

El flujo disponible en operación normal de la bomba es de 425,2 m3/hr.

Para que la bomba pueda partir con una condición estable de trabajo, necesita una contrapresión, la cual podemos lograr cebando el manifold de distribución.

5.10 Llenado del Manifold de distribución

Ecuación 14: Como impedir el Run Out de las bombas en el sistema de impulsión.

Datos:

- Diámetro del manifold (Cañería principal de impulsión) 36”
- Área del manifold: 0.6567 m2 1017,887 in2
- Presión de bombeo: 2012 m 2857,243 lb/in2
- Fuerza A*P= 1017,887 in2*2857,243 lb/in2

F= 2908350,5 lbf.

F= 1319206 Kgf.

F= 1319 Tonf. = 1319 m3 de agua.

Calcular el volumen de una cañería de 36” de diámetro por 1 km de largo.

- Diámetro de la cañería 36” 0,9144 m
- Cálculo de área de la cañería $A=0,6567\text{ m}^2$
- Volumen de la cañería, será igual a $V=A\cdot H$
- Área de la cañería por la distancia $V=0,6567\text{ m}^2\cdot 1\text{ km}$
 $V=0,6567\text{ m}^2\cdot 1000\text{ m}$

$V=656,7\text{ m}^3$ Si sabemos que en un kilómetro de cañería tenemos 656,7 m³ de agua, necesitamos saber cuántos km de cañería necesitamos llenar como mínimo para impedir el run-out.

$$X=\frac{\text{Volumen Necesario}}{\text{Área de la cañería.}} = \frac{1319\text{ m}^3}{0,6567\text{ m}^2} = 2008,5\text{ m} = 2,008\text{ km}$$

Por lo tanto, necesitamos llenar 2,008 km de cañería para impedir el run-out y operar las bombas a plena capacidad.

Al construir una línea con arranque manual, entregando el 30% del flujo nominal de la bomba, mientras recircula, los tiempos serían los siguientes con servicio de llenado por arranque manual de las 4 bombas:

- Arranque manual 119,96 m³/hr por válvula. (Presión de llenado 10 bar)
- Flujo total con las 4 bombas 479,8 m³/h
- Volumen mínimo necesario 1319 m³.
para impedir Run-Out de las bombas
- Tiempo de llenado $Q=V/T$
 $T=V/Q$
 $V=T\cdot Q$

Simulando un sistema de impulsión con una cañería de 36" y de 60 km de largo. El volumen que puede contener el sistema es de 39,402 m³ y si a eso le restamos 3 km de llenado, el volumen necesitado sería de 37,431.9 m³.

Al llenarse los primeros 3 km de cañería, la masa de agua contenida es de 1970 m³., y al calcular la presión dentro de la cañería: la bomba necesita 2012 m para su trabajo normal, o sea, 197 bar. Con estos datos, ya se puede llevar a las bombas a su régimen de trabajo de 425,2 m³/h.

Al sumar las cuatro bombas en su régimen normal de trabajo, el caudal total es de 1700,8 m³/h.

Ecuación 10: Calculando el tiempo que necesitamos para llenar el caudal volumétrico.

$$Q=V/T$$

Q= Caudal

V= Volumen

T= Tiempo

$$X=\text{Caudal impulsado} = \frac{1700,8 \text{ m}^3/\text{hr}}{0,6567 \text{ m}^2} = 2589,9 \text{ m/hr} = 2,59 \text{ km/hr}$$

Área de la cañería. 0,6567 m²

Por lo tanto, la velocidad de llenado será de 2, 59 km/hr.

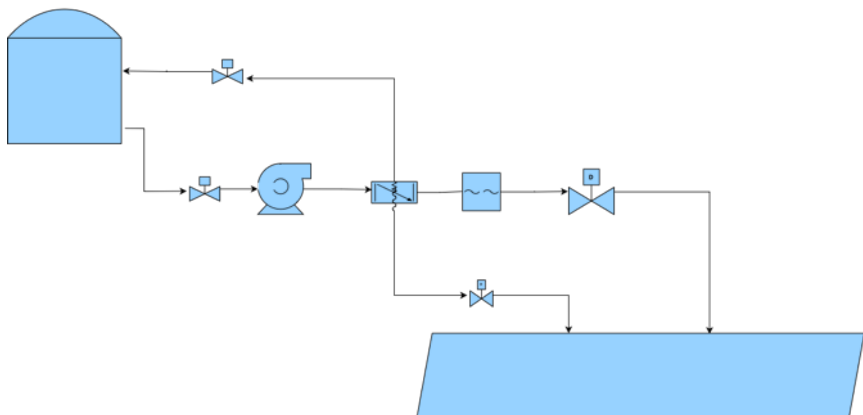
5.10.1 Demostración matemática.

Matemáticamente, queda demostrado que, al realizar el cambio del llenado, utilizando una válvula de recirculación con arranque manual en el sistema de impulsión, los tiempos de llenado de la línea principal se reducen en un 62%.

Velocidad de llenado con sistema tradicional por VDF = 0,98 km/hr.

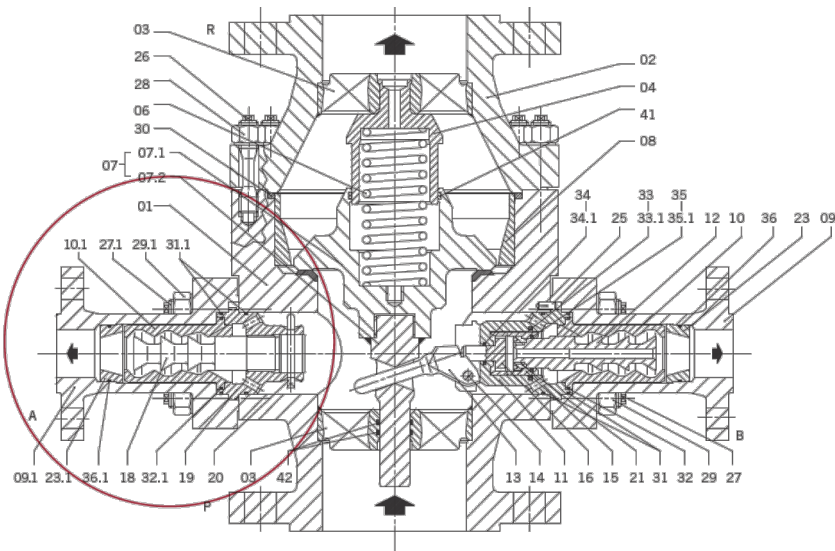
Velocidad de llenado con sistema de recirculación ARV = 2,59 km/hr.

Figura 5- 6: Bosquejo de sistema de impulsión con válvula y arranque manual.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5- 7: Corte de válvula de recirculación Schroedahl, con arranque manual.



Fuente: <https://www.schroedahl.com>

5.11 Aplicación de la herramienta FODA en la selección final.

Tabla 5- 1: FODA Sistema de impulsión con válvulas de recirculación Automática Schroedahl

Fortalezas	Oportunidades
Protección del sistema: una válvula de recirculación automática protege efectivamente a las bombas centrífugas ante cierres inesperados de la línea de impulsión, blackout, golpes de ariete, disminución en la demanda del proceso. Partidas y paradas suaves de la bomba, contribuyendo a prolongar la vida útil de la bomba y reducir los costos de mantenimiento del sistema. Eficiencia energética: mientras la válvula está en su etapa de recirculación, el flujo que impulsa es de solo un 30% del total, esto contribuye a una mayor eficiencia energética, ya que la bomba y por ende el motor, trabajan contra una carga mínima, lo que ahorra energía en comparación con el funcionamiento a plena carga. Mantenimiento: al monitorear y regular automáticamente el flujo, la	Optimización del sistema: la válvula de recirculación automática mejorará la eficiencia y la confiabilidad del sistema de bombeo, incrementando el rendimiento general del conjunto bomba motor y mejorando el ahorro de los costos operativos. Reducción de pérdidas de energía: la recirculación controlada reduce los costos por pérdida de energía asociados al bombeo de agua en sistemas de alta demanda y criticidad. Flexibilidad operacional: las partidas y paradas de las bombas se pueden efectuar de manera segura y controlada en cualquier etapa del proceso, inclusive al incorporar una bomba al sistema de impulsión luego de un mantenimiento o de una detención.

válvula facilita el mantenimiento predictivo, ya que mediante su funcionamiento se puede detectar problemas antes de que se conviertan en fallas costosas, agregando confiabilidad operacional al sistema.	Menor gasto de implementación: al ser un dispositivo que reúne cuatro accesorios en uno, como válvula check, válvula reductora de presión, válvula de control y válvula de derivación, disminuyen los gastos en accesorios de control y lógica, así como el gasto en energía de accionamiento de los equipos de control. Esto debe ser analizado al totalizar el proyecto.
Debilidades Costo inicial: la inversión inicial en una válvula de recirculación automática y su instalación puede ser alta, lo que podría ser una barrera para algunos proyectos o aplicaciones de bajo presupuesto. Necesidad de mantenimiento especializado: la válvula de recirculación automática puede requerir mantenimiento especializado y su fallo podría afectar el funcionamiento de la bomba y del sistema en general.	Amenazas Tecnología en evolución: la tecnología de válvulas y sistemas de control está en constante evolución, lo que podría hacer que los sistemas actuales se vuelvan obsoletos si no se actualizan. Cambios en las regulaciones: cambios en las regulaciones ambientales o de seguridad podrían requerir modificaciones en el sistema para cumplir con nuevos requisitos, lo que podría aumentar los costos de cumplimiento.

Control y monitoreo: no posee señales de control o indicación de servicio local o remoto, por lo que solo se puede inferir su estado mediante síntomas de la bomba o del proceso.	Competencia en el mercado: la disminución en los costos de otros sistemas de control, como por ejemplo: los variadores de frecuencia, podría afectar la cuota de mercado y los márgenes de beneficio.
---	---

Fuente: Elaboración propia.

En resumen, el uso de una válvula de recirculación automática en una bomba centrífuga ofrece ventajas significativas en términos de protección del sistema, eficiencia energética y mantenimiento predictivo.

Sin embargo, también implica costos iniciales y consideraciones de mantenimiento. Las oportunidades incluyen la optimización del sistema y la reducción de pérdidas de energía, mientras que las amenazas incluyen la evolución tecnológica, cambios regulatorios y competencia en el mercado.

Conclusiones

La implementación de válvulas de recirculación automática ofrece una serie de ventajas significativas en términos de optimización de recursos económicos, eficiencia energética, protección de equipos, rendimiento optimizado, respuesta rápida y seguridad operativa.

En términos económicos, un sistema de impulsión que incluya válvulas de recirculación automática disminuye considerablemente el consumo eléctrico en el comisionamiento o puesta en servicio del sistema de impulsión, acelerando el procedimiento y, a la vez, entrega mayor flexibilidad operacional al personal, en caso de partidas o paradas de emergencia. Además, la reducción del consumo eléctrico en las partidas o en las operaciones de emergencia es significativa, por cuanto, se reduce a casi un tercio y además no es necesario detener las bombas ante fallas no programadas o reducción del consumo por parte del proceso. La utilización de una válvula de recirculación automática ayuda, además, a disminuir los costos de piping en la implementación del proyecto y se debiera evaluar su implementación en proyectos que ya lleven cierto tiempo en operación y necesiten cambiar sus válvulas.

En cuanto a la protección de los equipos, una válvula de recirculación automática protege a la bomba ante cavitaciones, vibraciones, golpes hidráulicos y, principalmente, en el suministro del caudal mínimo necesario para su correcta operación.

Bibliografía

A world leader in valves - Velan. (s/f). Velan.com. Recuperado el 19 de marzo de 2023, de <http://www.velan.com>

Mi vida y Las Bombas Centrífugas. (s/f). Blogspot.com. Recuperado el 19 de marzo de 2023, de <http://gabaypumps.blogspot.com/>

Portal Minería Chilena. (s/f). Minería Chilena. Recuperado el 19 de marzo de 2023, de <http://www.mch.cl>

Schroedahl.de. (s/f) Recuperado el 19 de marzo de 2023, de <http://www.schroedahl.de>

Truline. (s/f). Truline.ca. Recuperado el 19 de marzo de 2023, de <http://www.truline.ca>