

**ELABORACIÓN DE UN PLAN MANTENIMIENTO PREVENTIVO EN LAS  
VÁLVULAS DEL SISTEMA DE BYPASS PARA LA EMPRESA ZONA FRANCA  
CELSIA S.A E.S.P DE LA CIUDAD BARRANQUILLA**



**EDUARDO ANTONIO CASTILLO PADILLA  
JHON JAIRO LÓPEZ LÓPEZ**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL CARIBE  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECÁNICA  
BARRANQUILLA  
2014**

**ELABORACIÓN DE UN PLAN MANTENIMIENTO PREVENTIVO EN LAS  
VÁLVULAS DEL SISTEMA DE BYPASS PARA LA EMPRESA ZONA FRANCA  
CELSIA S.A E.S.P DE LA CIUDAD BARRANQUILLA**

**EDUARDO ANTONIO CASTILLO PADILLA  
JHON JAIRO LÓPEZ LÓPEZ**

**Proyecto de grado para optar al título de INGENIERO MECÁNICO**

**Asesor disciplinar: Ing. Msc. Antonio Saltarín Jiménez**

**Asesor metodológico: Ing. Msc. Gustavo Guzmán**

**UNIVERSIDAD AUTONOMA DEL CARIBE  
FACULTAD DE INGENIERIA  
PROGRAMA DE INGENIERIA MECANICA  
BARRANQUILLA  
2014**

NOTA DE ACEPTACIÓN

---

---

---

---

PRESIDENTE DEL JURADO

---

JURADO

---

JURADO

Barranquilla, Mayo de 2014

## **AGRADECIMIENTOS**

Le agradecemos a las siguientes personas y entidades por su constancia y permanencia en este proceso de formación, y elaboración de nuestro proyecto de grado:

A DIOS

Al Ing. Antonio Saltarín, Ing. Debinson Castro, Fanny López, José Truyol, Martha Padilla Quintero, Enrique Castillo Cuello, y a la organización ZONA FRANCA CELSIA S.A. E.S.P.

¡Muchas Gracias!

## **DEDICATORIA**

Luego de una ardua labor de investigación al lado de nuestro asesor el Ingeniero Antonio Saltarín y los diferentes docentes del programa de ingeniería mecánica de la Universidad Autónoma del Caribe, hemos finalizado con orgullo el proyecto titulado ELABORACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO EN LAS VALVULAS DEL SISTEMA DE BYPASS PARA LA EMPRESA ZONA FRANCA CELSIA S.A E.S.P DE LA CIUDAD BARRANQUILLA, en él entregamos todo nuestro esfuerzo y dedicación para mejorar procesos y estándares de calidad en lo que se refiere a planes de mantenimiento preventivo en válvulas. Hoy entendemos mucho más la importancia de una buena planificación y la oportuna identificación de fallas en los diferentes dispositivos mecánicos, y por supuesto el reconocimiento de la herramienta plan de mantenimiento que permite lo anteriormente mencionado.

Por tal razón este logro lo dedicamos a la empresa que nos abrió las puertas y nos permitió entrar en sus procesos proponiendo posibles soluciones, dándonos la oportunidad de poner en práctica conocimientos adquiridos en nuestra carrera.

## Contenido

	Pag.
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....</b>	<b>2</b>
<b>1.1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA .....</b>	<b>4</b>
<b>1.2. SISTEMATIZACIÓN DEL PROBLEMA .....</b>	<b>4</b>
<b>2. JUSTIFICACIÓN .....</b>	<b>5</b>
<b>3. OBJETIVOS .....</b>	<b>6</b>
<b>3.1. OBJETIVO GENERAL .....</b>	<b>6</b>
<b>3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS .....</b>	<b>6</b>
<b>4. MARCO DE REFERENCIA .....</b>	<b>7</b>
<b>4.1 MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>7</b>
<b>4.2 TIPOS DE MANTENIMIENTOS .....</b>	<b>7</b>
4.2.1 Mantenimiento Predictivo.....	7
4.2.2 Mantenimiento Correctivo .....	8
4.2.3 Mantenimiento Predictivo.....	8
4.2.4 Mantenimiento Preventivo .....	8
<b>4.3. PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO .....</b>	<b>9</b>

<b>4.4 BENEFICIOS DE UN PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO</b>	<b>10</b>
<b>4.5. CONFIABILIDAD .....</b>	<b>10</b>
<b>4.6. MANTENIBILIDAD.....</b>	<b>10</b>
<b>4.7. RCM MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD.....</b>	<b>11</b>
<b>4.8. VÁLVULA DE <i>BYPASS</i>.....</b>	<b>12</b>
<b>5. METODOLOGÍA.....</b>	<b>16</b>
<b>5.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>16</b>
<b>5.2 MÉTODOS UTILIZADOS.....</b>	<b>17</b>
<b>6. DESARROLLO DEL PLAN DE MANTENIMIENTO.....</b>	<b>18</b>
<b>6.1 FASE 1. DIAGNÓSTICO.....</b>	<b>18</b>
6.1.1. Situación Actual de las Válvulas del Sistema <i>Bypass</i> de La Empresa Zona Franca Celsia .....	18
6.1.2. Especificaciones Técnicas de las Válvulas Sistema de <i>Bypass</i> de La Empresa Zona Franca Celsia s.a. e.s.p.....	20
6.1.3. Descripción Componentes de Válvulas .....	22
6.1.4 Válvula de Control Atempera Miento- Referencia: 100dsv .....	24
6.1.5 Válvula de Control Atempera Miento - Referencia 840h.....	26
6.1.6 Análisis de la información suministrada por zona franca Celsia s.a. E.S.P. de sus válvulas del sistema de <i>bypass</i> .....	27
<b>6.2 FASE 2 IDENTIFICACIÓN.....</b>	<b>32</b>

<b>6.3. FASE 3 PROPUESTA.....</b>	<b>34</b>
6.3.1 Desarrollo del plan de mantenimiento preventivo en las válvulas del sistema de <i>bypass</i> de la empresa zona franca Celsia s.a. E.s.p.....	34
6.3.2 Formato I Lista de Chequeo Rutina de Mantenimiento.....	36
6.3.3 Etiqueta para identificación de válvulas inspeccionadas .....	37
6.3.4 Plan de inspección interna.....	37
6.3.6 Mantenimiento de la caja .....	41
6.3.7 Agua contaminada .....	44
<b>6.4 INSPECCIÓN DE BOQUILLAS DE PULVERIZACIÓN .....</b>	<b>45</b>
6.4.1 Montaje del Op Boquillas .....	46
<b>6.5 COMPONENTES Y LISTA DE PIEZAS.....</b>	<b>48</b>
<b>6.6 FORMATO PARA RUTINA DE MANTENIMIENTO .....</b>	<b>49</b>
<b>6.7 ANÁLISIS DE COSTO VS BENEFICIO.....</b>	<b>50</b>
<b>7. CONCLUSIONES .....</b>	<b>51</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>53</b>

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pag.</b>
Figura 1. Válvula en un sistema de <i>bypass</i> .....	12
Figura 2. Corrosión en Válvula.....	13
Figura 3. Fractura en vástago de una válvula .....	14
Figura 4. Sello de una válvula erosionado .....	15
Figura 5. Válvula de <i>bypass</i> VLB.....	20
Figura 6. Esquema de partes válvula de <i>bypass</i> VLB.....	20
Figura 7. Inyección de agua .....	24
Figura 8. Partes válvula referencia 100dsv.....	25
Figura 9. Válvula de control temperatura.....	25
Figura 10. Válvula de control temperatura referencia 840h .....	27
Figura 11. Válvula sistema <i>bypass</i> alta presión .....	29
Figura 12. Válvulas de control de temperatura.....	30
Figura 13. Válvulas de <i>bypass</i> baja presión .....	30
Figura 14. Válvulas de <i>bypass</i> baja presión .....	31
Figura 15. Válvulas de <i>bypass</i> presión media.....	31
Figura 16. Erosión en válvulas de control .....	33
Figura 17. Cavitación en válvulas.....	34
<b>Figura 18.</b> Prensaestopas.....	42
Figura 19. Yugo, diseño soldada .....	43
<b>Figura 20.</b> Agua limpia con presión de alta 2 Filtro en la línea de flotación .....	44
Figura 21. Insatisfactorio atomización 1 bajo presión de agua.....	44
Figura 22. Sección transversal de la boquilla de pulverización .....	46
Figura 23. Sección transversal boquilla de pulverización.....	47
Figura 24. Componentes y lista de piezas .....	48
Figura 25. Instalación de válvula <i>bypass</i> .....	51

## LISTA DE TABLAS

	<b>Pag.</b>
Tabla 1. Listado de Válvulas de <i>Bypass</i> pertenecientes a la planta.....	19
Tabla 2. Lista de partes de válvulas de <i>bypass</i> .....	21
Tabla 3. Lista de partes válvula de control Atemperamiento .....	25
Tabla 4. Especificaciones técnicas válvula de control atemperamiento .....	26
Tabla 5. Características técnicas válvula de temperatura ref 840h .....	27
Tabla 6. Rutina de mantenimiento de válvulas.....	36
Tabla 7. Etiqueta para identificación de válvulas inspeccionadas .....	37
Tabla 8. Componentes y lista de piezas.....	49
Tabla 9. Análisis de costo vs. Beneficio .....	50

## INTRODUCCIÓN

En la actualidad el mundo competitivo y empresarial aumenta constantemente las exigencias del mercado en cuanto a calidad se refiere así como la eficacia, eficiencia, la seguridad, y el mejoramiento continuo de una empresa u organización; por ello la organización y los planes preventivos toman gran relevancia en los diferentes procesos industriales y mecánicos.

En la presente investigación se elabora un plan de mantenimiento preventivo, para las válvulas del sistema de bypass de la empresa generadora de energía Zona Franca Celsia S.A E.S.P en la ciudad de Barranquilla. Partiendo de recomendaciones de los fabricantes de válvulas consignadas en los manuales de uso, dicho plan ayuda a aumentar la productividad y vida útil de cada una de las válvulas en el sistema de *bypass*.

La finalidad de este plan de mantenimiento preventivo, es mejorar la mantenibilidad y optimizar costos en mantenimiento de tipo correctivo en paradas de planta imprevistas.

## 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Las organizaciones están constantemente en busca del mejoramiento de sus procesos para garantizar resultados exitosos y de alta calidad, aumentando así la competitividad en el mercado; posicionando en un lugar relevante a las diferentes herramientas que regulan y mejoran los procesos, productos y servicios de las organizaciones, no se puede decir que un producto o servicio con calidad está únicamente respaldado por la capacidad de sus operarios o por la forma como trabajan, es donde podemos hacer énfasis en los planes de mantenimiento, porque estos ayudan al cumplimiento de las tareas y metas planteadas y ayuda a minimizar la indisponibilidad de los sistemas de producción o máquinas.

En cualquier sector, se hace necesario la implementación de planes de mantenimiento ya sea, preventivos, correctivos o predictivo; con el ánimo de garantizar una adecuada gestión, y distribución de recursos, como tiempo, dinero y talento humano.

En Colombia, más exactamente en Barranquilla, se encuentra ubicada una de las centrales de la empresa CELSIA S.A E.S.P la cual es una compañía de servicios públicos especializada en los negocios de generación y distribución de energía eléctrica; Actualmente cuenta con una capacidad integrada de generación de 1777 MW.

La planta de generación de ZONA FRANCA CELSIA S.A. E.S.P. utiliza el gas y/o diésel como el principal medio de combustión para mover las turbinas que permiten la generación de energía. Estos sistemas de generación que utilizan son de ciclos combinados en donde aprovechan la temperatura de salida de los gases de la turbina de combustión de gas, para producir vapor de agua el cual lo utilizan para impulsar otra turbina para generar más energía.

En la planta de generación de ZONA FRANCA CELSIA S.A. E.S.P existe un sistema de *bypass* que es utilizado para realizar los mantenimientos a los equipos de filtración de vapor (*strainers*) sin interrumpir el proceso productivo. En este sistema se encuentran las válvulas de *bypass* en las cuales se ha enfocado el presente trabajo de implementar un plan de mantenimiento preventivo que permita extender su vida útil y siempre tener disponibilidad de estos dispositivos mecánicos.

Estas válvulas tienen una vida útil de aproximadamente de 8 a 10 años y su fabricante garantiza siempre y cuando los mantenimientos se realicen dentro del tiempo que este establece el cual son periodos 2 años. Las válvulas de *bypass* de ZONA FRANCA CELSIA S.A. E.S.P que se encuentran instaladas tienen 3 años de servicio aproximadamente y hasta el momento no se han realizado ningún tipo de mantenimiento ya sea correctivo o preventivo.

Este tipo de válvulas, según el medio ambiente de nuestra costa colombiana, se encuentran expuestas a ser atacadas por corrosión y erosión, lo que provoca fugas por sellado y desgaste en conexiones, ocasionando pérdidas en las variables controladas como son presión y temperatura que afectan directamente el proceso.

La gerencia de mantenimiento de esta compañía tiene la necesidad de implementar un plan de mantenimiento preventivo para las válvulas en el sistema de *bypass* en la planta Flores IV, con el fin de lograr garantizar la vida útil, que ofrece el fabricante, de las válvulas utilizadas en este sector, teniendo en cuenta que su costo es muy elevado y su fabricación lleva largos periodos de tiempo. El mencionado plan de mantenimiento permite conocer además, las adecuadas condiciones de servicio y un registro de actividades de mantenimiento, satisfacer al cliente con relación al producto y a la planta en condiciones confiables.

## 1.1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cómo se elabora un plan de mantenimiento preventivo para las válvulas del sistema *Bypass*?

## 1.2. SISTEMATIZACIÓN DEL PROBLEMA

- ¿De qué manera se encuentra situación actual de las válvulas en el sistema de *bypass* en la empresa CELSIA S.A E.S.P?
- ¿Cuáles son las posibles fallas que pueden presentar las válvulas del sistema *bypass* de la empresa CELSIA S.A E.S.P?
- ¿De qué manera se dará la mejora continua en los procesos de generación de energía de la empresa CELSIA S.A E.S.?

## 2. JUSTIFICACIÓN

En la actualidad los grandes fabricantes necesitan permanecer en constante desarrollo y aplicar nuevas tecnología en sus procesos que les permitan aumentar la competitividad en el mercado con la entrega del producto, es aquí donde se hace necesario tener un plan de mantenimiento preventivo, ya que les ayudan a siempre tener disponibilidad del producto final (energía) ya que requieren que su producción no se vea afectada por las fallas funcionales de los equipos.

Siendo el mantenimiento el conjunto de técnicas destinado a conservar equipos e instalaciones en servicio durante el mayor tiempo posible, buscando la más alta disponibilidad con el máximo rendimiento<sup>1</sup>.

En zona Franca Celsia S.A. E.S.P (planta generadora de energía), se requiere implementar un plan de mantenimiento preventivo en las válvulas de *bypass* debido a la criticidad del ambiente en donde está ubicada la planta de generación estas válvulas son vulnerables a la corrosión y erosión generando disminución en la producción y un aumento bastante significativo en los costos; por esta razón se realizará un estudio minucioso para la implementación del plan de mantenimiento preventivo en las válvulas de *bypass*.

Este tipo de planes deben ser cuidadosamente estudiados y direccionados para lograr observar sus resultados en tiempo real. El trabajo previo que debemos realizar en una planta antes de elaborar el plan de mantenimiento es muy importante, Bajo este mismo orden de ideas se realizó un análisis costo vs Beneficio del mantenimiento de las válvulas y el valor del activo nuevo.

---

<sup>1</sup> GARCIA GARRIDO, Santiago. Organización y gestión integral del mantenimiento. Ediciones Díaz de Santos, 2003. Pag 257-263.

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1. OBJETIVO GENERAL**

Elaborar un plan de mantenimiento preventivo para las válvulas del sistema de *bypass* a partir recomendaciones de los diferentes fabricantes de válvulas industriales en la empresa ZONA FRANCA CELSIA S.A E.S.P. con el fin de reducir costos y tiempos en paradas de planta.

#### **3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Diagnosticar la situación actual de las válvulas del sistema de *Bypass*, para detectar las condiciones que presentan dichas válvulas.
- Identificar las fallas que presentan las válvulas del sistema de *Bypass* y el origen de las mismas con la finalidad de establecer un régimen de falla.
- Proponer un plan de mantenimiento preventivo para mejorar el control de las fallas que se presenta en las válvulas del sistema de *bypass* de la empresa ZONA FRANCA CELSIA S.A E.S.P.

## **4. MARCO DE REFERENCIA**

### **4.1 MARCO TEÓRICO**

Con el fin de tener claridad sobre toda la temática del mantenimiento, y más exactamente el mantenimiento preventivo, se hace necesario definir el diferente ámbito del mantenimiento.

El mantenimiento es un conjunto de tareas que se aplican a cualquier equipo o planta, con la finalidad de que mantenga eficiente y brinde el servicio para lo cual fue diseñado; el inicio de estas técnicas se remonta a la revolución industrial, en donde los mismos operarios eran los encargados de realizar el mantenimiento, de hecho solo se realizaban mantenimiento correctivo, con los años surgieron los diferentes tipos de mantenimiento preventivo, predictivo, proactivo (RCM). Es sobre los años 80 en que se consolida esta técnica y se crean en las diferentes organizaciones los departamentos que se encargan de este proceso<sup>2</sup>.

### **4.2 TIPOS DE MANTENIMIENTOS**

En la industria existen diferentes tipos de mantenimiento:

#### **4.2.1 Mantenimiento Predictivo**

El mantenimiento predictivo o mantenimiento a condición consiste en la búsqueda de indicios o síntomas que permitan identificar una falla antes de que ocurra. Por Ejemplo, la inspección visual del grado de desgaste de un neumático es una tarea de mantenimiento predictivo, dado que permite identificar el proceso de falla antes de que la falla funcional ocurra.<sup>3</sup>

---

<sup>2</sup> GARCIA GARRIDO, Santiago; Organización y gestión integral del mantenimiento. Ediciones Díaz de Santos, edición 2003. Pag 257-263. [consulta realizada el 21/11/2013].

<sup>3</sup> MENDEZ, Carlos; Tipos de mantenimiento y RCM. Academia.edu Fuente: <[http://www.mantenimientoplanificado/art%C3%\\_rcm\\_archivos/ariel%20ZYLBBERBERG/RCM\\_scorecard\\_overview.pdf](http://www.mantenimientoplanificado/art%C3%_rcm_archivos/ariel%20ZYLBBERBERG/RCM_scorecard_overview.pdf)> [consultado 09/01/2014]

### **4.2.2 Mantenimiento Correctivo**

Consiste en el reacondicionamiento de un equipo, luego de que haya fallado su funcionamiento, este ocurre únicamente; cuando se presenta una falla en el funcionamiento del equipo o se haya presentado una rotura en él.

### **4.2.3 Mantenimiento Predictivo**

Este tipo de mantenimiento es realizado por medio de implementos tecnológicos sofisticados que sirven para identificar el estado de la máquina, es utilizado para determinar las condiciones en el cual la maquina se encuentra realizado el proceso, por medio de este mantenimiento se puede determinar a través de los equipos tecnológicos las condiciones mecánicas, eléctricas, técnicas sin que el proceso desarrollado por la maquina se detenga, este mantenimiento es basado en detectar las fallas antes de que aparezcan<sup>4</sup>.

### **4.2.4 Mantenimiento Preventivo**

El mantenimiento preventivo se realiza cuando se hace una revisión con una frecuencia determinada de modos de fallos de un equipo, y se ejecuta a todos los componentes de una maquina sin tener en cuenta el estado. Y es una forma de aumentar la vida útil de una máquina, sin embargo se requiere de un tiempo de parada para la revisión y sustitución de las piezas desgastadas.<sup>5</sup>

---

<sup>4</sup> MUÑOZ, Ma Belén; Mantenimiento Industrial; Universidad Carlos III de Madrid. Área de Ingeniería Mecánica. Disponible en < <http://ocw.uc3m.es/ingenieria-mecanica/teoria-de-maquinas/lecturas/MantenimientoIndustrial.pdf>> [Consultada el 18/01/2014]

<sup>5</sup> Como Implementar un Programa de Mantenimiento Preventivo Parte 1; disponible en [www.rcm-confiabilidad.com.ar](http://www.rcm-confiabilidad.com.ar) fuente: <<http://www.mantenimientoplanificado.com/j%20guadalupe%20articulos/MANTENIMIENTO%20PREVENTIVO%20parte%201.pdf>> [consultado el 10/02/2014]

Estas tareas solo son válidas si existe un patrón de desgaste: es decir, si la probabilidad de falla aumenta rápidamente después de superada la vida útil del elemento.

Debe tenerse mucho cuidado, al momento seleccionar una tarea preventiva (o cualquier otra tarea de mantenimiento), en no confundir una tarea que se puede hacer, con una tarea que conviene hacer. Por ejemplo, al evaluar el plan de mantenimiento a realizar sobre el impulsor de una bomba, podríamos decidir realizar una tarea preventiva (sustitución cíclica del impulsor), tarea que se puede hacer dado que la falla generalmente responde a un patrón de desgaste. Sin embargo, en ciertos casos podría convenir realizar alguna tarea predictiva (tarea a condición), que en muchos casos son menos invasivas y menos costosas.

Esta forma de mantenimiento surge debido a la necesidad de remediar los inconvenientes del mantenimiento correctivo. Se realiza con una cierta periodicidad determinada, mediante criterios estadísticos. Así la sustitución de un determinado elemento puede realizarse después de un cierto tiempo pre-programado.

Mantenimiento preventivo, involucra todas las acciones que se planean y programan con el objetivo de ajustar, reparar o cambiar partes en equipos, antes de que ocurra una falla o daños mayores, eliminando o reduciendo al mínimo los gastos de mantenimientos y por supuesto, estableciendo controles para aumentar la productividad

### **4.3. PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO**

Un plan de mantenimiento preventivo es un programa que emplea órdenes de trabajo, que incluye los parámetros y procedimientos detallados de los

componentes de una máquina, esta orden de trabajo debe ser retroalimentada para obtener los tiempos y materiales que son utilizados para cuando sea realizado el mantenimiento preventivo a la máquina.

#### **4.4 BENEFICIOS DE UN PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO**

El programa de mantenimiento preventivo de equipos beneficia a la compañía aumentando la confiabilidad de sus equipos y del proceso, esto se logra combinando tecnología de alta gama con una buena dirección, organización y ejecución de un programa de mantenimiento preventivo bien planificado, el cual aumenta la vida útil de los equipos y optimiza la inversión que realiza la compañía. Para la mantenibilidad de sus equipos, facilitando la preparación y manejo de los presupuestos.

#### **4.5. CONFIABILIDAD**

Es la probabilidad de poder realizar las funciones de un equipo de manera satisfactoria, durante un tiempo determinado donde este equipo pueda funcionar bajo las condiciones de operación antes de que pueda fallar.<sup>6</sup>

#### **4.6. MANTENIBILIDAD**

La mantenibilidad es la cantidad de tiempo que se utiliza para reparar los fallos en el funcionamiento de una máquina, se diagnostica y repara para que entre nuevamente en operación. Esta operación interactúa con distintos tipos de variables como lo son:

Diseño y configuración del equipo, instalación de componentes y mano de obra que intervenga en el cambio y ensamble de los componentes que conforma el equipo.<sup>7</sup>

---

<sup>6</sup> Mantenimiento Productivo Total, Capitulo II disponible en:<[http://www.biblioteca.udep.edu.pe/BibVirUDEP/tesis/pdf/1\\_44\\_176\\_10\\_295.pdf](http://www.biblioteca.udep.edu.pe/BibVirUDEP/tesis/pdf/1_44_176_10_295.pdf)> [consultado el 17/02/2014]

<sup>7</sup> L. Amendola; La Confiabilidad Desde el Diseño Proyectos de Mantenimiento; España; Asociación Española de Mantenimiento, Departamento de Proyectos de Ingeniería Universidad Politécnica de Valencia. [Consultado el 12/03/2014] fuente:< <http://www.mantenimientomundial.com/sites/mm/notas/Implantacion.pdf>>

En la siguiente se presenta una sección de la oruga para movimiento de una máquina con tren de rodaje por cadenas articuladas. Se señala la zapata, esta pieza es sujeta al riel de rodadura por medio de tornillos de montaje y desmontaje. Las zapatas son las piezas que están en contacto con el suelo y por lo tanto son de los componentes con mayor desgaste en el tren de rodaje.

#### **4.7. RCM MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD**

Ha sido desarrollado para la industria de la aviación civil hace más de 30 años. RCM; mantenimiento centrado en Confiabilidad es el proceso permite determinar cuáles son las tareas de mantenimiento adecuadas para cualquier activo físico.

El RCM ha sido utilizado en miles de empresas de todo el mundo: desde grandes empresas petroquímicas hasta las principales fuerzas armadas del mundo utilizan RCM para determinar las tareas de mantenimiento de sus equipos, incluyendo la gran minería, generación eléctrica, petróleo y derivados, metal-mecánica, etc. La norma SAE JA1011 especifica los requerimientos que debe cumplir un proceso para poder ser denominado un proceso RCM. La misma puede descargarse a través del portal de la SAE ([www.sae.org](http://www.sae.org)).

Según esta norma, las 7 preguntas básicas del proceso RCM son:

1. ¿Cuáles son las funciones deseadas para el equipo que se está analizando?
2. ¿Cuáles son los estados de falla (fallas funcionales) asociados con estas funciones?
3. ¿Cuáles son las posibles causas de cada uno de estos estados de falla?
4. ¿Cuáles son los efectos de cada una de estas fallas?
5. ¿Cuál es la consecuencia de cada falla?
6. ¿Qué puede hacerse para predecir o prevenir la falla?
7. ¿Qué hacer si no puede encontrarse una tarea predictiva o preventiva?<sup>8</sup>

---

<sup>8</sup> ALVAREZ, H; mantenimiento planificado Fuente: <[www.mantenimientoplanificado.com](http://www.mantenimientoplanificado.com) pdf.> [consultado el 21/02/2014]

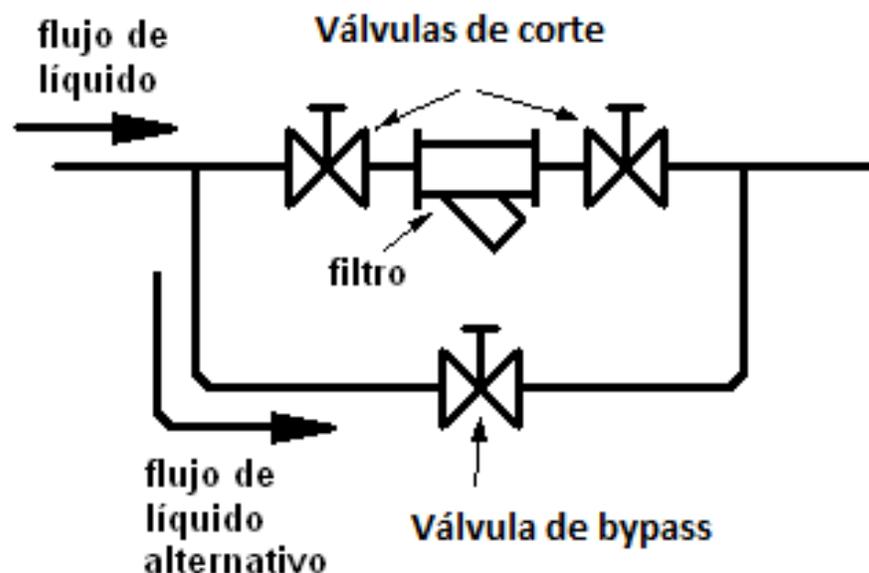
#### 4.8. VÁLVULA DE *BYPASS*

El término "válvula de *bypass*" se refiere a cualquier válvula instalada en una línea de *bypass* o derivación, y no es utilizada para indicar una forma o configuración en particular. Así que, tipos de válvulas son las indicadas para su instalación en las tuberías de *bypass*?

Cuando se considera que tipos de válvula son los indicados para cada para la instalación en las tuberías de *bypass*, es necesario pensar acerca del rol de la línea *bypass*. ¿Cuál fue el propósito de la instalación de esa línea de *bypass*? las tuberías de *bypass* podrían ser divididas en dos categorías.

La tubería de *bypass* que actúa como una línea de respaldo para permitir que la operación continúe mientras equipo dañado como válvulas reductoras de presión, trampas de vapor y filtros sean aisladas y paradas durante la reparación o el reemplazo (figura 1).

**Figura 1.** Válvula en un sistema de *bypass*



Fuente: <http://www.tlv.com/global/LA/steam-theory/bypass-valves.html> [consultada el 15/03/2014]

- **Ensamble**

Unión de dos piezas que forman parte de una estructura y han sido diseñadas para que ajusten entre sí perfectamente.

- **Corrosión**

Generalmente ocasionada por el ataque de una sustancia química o impurezas, puede ser general o local. La corrosión general suele dar un deterioro bastante uniforme de toda la superficie, en cambio, la corrosión local implica un daño poco generalizado pero un ataque local severo, normalmente en puntos de la superficie con imperfecciones o con fatiga ver (figura 2).

**Figura 2.** Corrosión en Válvula



Wiesław Jarek; fuente: [http://es.123rf.com/photo\\_27256065\\_hierro-de-agua-del-grifo-con-bloqueo.html](http://es.123rf.com/photo_27256065_hierro-de-agua-del-grifo-con-bloqueo.html) [consulta realizada el 08/11/2013]

La mejor forma de evitarla es seleccionar para la válvula la aleación más resistente o, en casos extremos, instalarla de cerámica, revestida de vidrio o con cuerpo entero de plástico. En cualquier caso, el material del que se construya la válvula debe resistir al agente corrosivo particular.

### **Rotura o fractura**

El debilitamiento de las válvulas a causa de la corrosión externa o las vibraciones, golpes con carretillas, grúas u otros equipos móviles que pueden generar impactos contundentes (Figura 3).

**Figura 3.** Fractura en vástago de una válvula



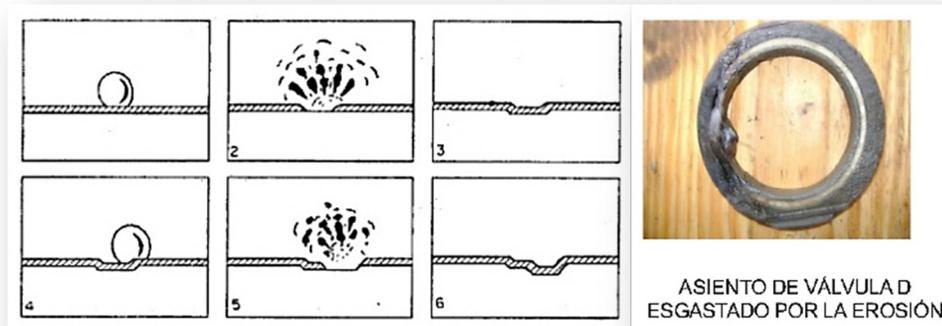
Fuente: [http://metaline.de/wSpanisch/einsatzgebiete/chemische\\_industrie\\_oel/K17.php](http://metaline.de/wSpanisch/einsatzgebiete/chemische_industrie_oel/K17.php) [consulta realizada el 15/10/2013]

- **Erosión**

La erosión se localiza siempre en puntos en los que la velocidad de impacto es alta. El daño producido por la erosión puede reducirse si seleccionamos la válvula adecuada para cada aplicación o servicio, En algunos casos, el daño más grave puede reducirse variando las condiciones de operación, por ejemplo cambiando una bomba impulsora si está provocando altas presiones de forma innecesaria.

Para combatir la erosión más fuerte (especialmente debida a fangos), las válvulas de diafragma y las de apriete son las más indicadas, para combatir (Figura 4).

**Figura 4.** Sello de una válvula erosionado



DIAZ, Luis; UNIVERDIDAD NACIONAL EXPERIMENTAL POLITÉCNICA 2011 fuente: <http://www.monografias.com/trabajos96/estudio-desgaste-prematuro-tuberias-sistema-emulsion/estudio-desgaste-prematuro-tuberias-sistema-emulsion2.shtml> [consultado el 18/05/2014]

## 5. METODOLOGÍA

### 5.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

La metodología utilizada para la realización de este proyecto, consiste en la elaboración de un plan mantenimiento preventivo en las válvulas del sistema de *Bypass* para la empresa ZONA FRANCA CELSIA S.A E.S.P de la ciudad Barranquilla, este proceso se encuentra dividido en 3 fases metodológicas:

#### **Fase 1- Diagnóstico**

En esta fase se realiza la inspección y la descripción del estado actual en el que se encuentra el proceso de las válvulas del sistema de *Bypass*, con el fin de detectar las condiciones que presentan dichas válvulas en la actualidad.

#### **Fase 2- Identificación**

En esta fase se identifican cada una de las fallas o falencias que presentan las válvulas del sistema de *Bypass* y el origen de las mismas, para establecer un régimen de falla. Así lograr que se realice las diferentes correcciones para la mejora continua del sistema.

#### **Fase 3- Propuesta**

Esta fase toma gran importancia, consiste en una proponer un plan de mantenimiento preventivo con el fin de mejorar y controlar las posibles fallas que se presenten en las válvulas del sistema de *Bypass*.

## **5.2 MÉTODOS UTILIZADOS**

Como fuentes primarias de investigación realizamos inspección detallada de los manuales del fabricante (fichas técnicas y despiece) que nos suministró el director de mantenimiento de ZONA FRANCA CELSIA S.A E.S.P

Como fuente secundaria de investigación se realizó una visita a planta en donde realizamos un registro fotográfico de las válvulas, con el fin de analizar la situación actual de cada una de ellas y tener los detalles adecuados para la elaboración del plan de mantenimiento preventivo a las válvulas de *Bypass*.

## 6. DESARROLLO DEL PLAN DE MANTENIMIENTO

### 6.1 FASE 1. DIAGNÓSTICO

#### 6.1.1. Situación Actual de las Válvulas del Sistema *Bypass* de La Empresa Zona Franca Celsia

Durante la investigación de campo se observa el estado actual de las válvulas, se obtuvo información, marca, modelo, cantidad y todas las especificaciones técnicas de las válvulas del sistema de *bypass* que están instaladas en la planta de generación flores IV de la empresa **Zona Franca Celsia S.A E.S.P**, Las válvulas del sistema de *bypass* están clasificadas así:

- Válvulas de *Bypass* ALTA PRESIÓN
- Válvulas de *Bypass* MEDIA PRESIÓN
- Válvulas de *Bypass* BAJA PRESIÓN

En el siguiente listado aparece la cantidad de válvulas que hacen parte del sistema de *bypass* con su respectiva marca y modelo del fabricante:

**Tabla 1.** Listado de Válvulas de *Bypass* pertenecientes a la planta

<b>ALTA PRESION</b>					
<b>Equipo</b>	<b>Denominación</b>	<b>Tag</b>	<b>Fabricante</b>	<b>Modelo</b>	<b>Cantidad</b>
10018732 10018733	VALVULA <i>BYPASS</i> ALTA PRESION SGG 2 y SGG 3	4DH23809 4DH33810	CCI Valve <i>Tech</i>	VLB- 100BTC	2
<b>MEDIA PRESION</b>					
10018906 10018907	VALVULA <i>BYPASS</i> SGJ 2 y SGJ 3	4DH23910 4DH33911	CCI Valve <i>Tech</i>	VLB- 200BTC	2
<b>BAJA PRESION</b>					
10016345 10016346	VALVULA <i>BYPASS</i> VAPOR LP 2 y LP 3	4DH24111 4DH34112	CCI Valve <i>Tech</i>	VLB- 180TCS	2
<b>VALVULAS ATEMPERAMIENTO ALTA PRESION</b>					
<b>Equipo</b>	<b>Denominación</b>	<b>Tag</b>	<b>Fabricante</b>	<b>Modelo</b>	<b>Cantidad</b>
10017513 10018776	VALVULA CONTROL FWA ATEMP <i>BYPASS</i> SGG 2 y SGG 3	4TM23805 4TM33806	CCI Valve <i>Tech</i>	100DSV	2
<b>VALVULAS ATEMPERAMIENTO BAJA PRESION</b>					
10018964 10018965	VALVULA CONTROL FWC ATEMP <i>BYPASS</i> SGJ 2 y SGJ 3	4TM23905 4TM33906	CCI Valve <i>Tech</i>	840H	2
10016353 10016358	VALVULA CTRL FWA ATEMP <i>BYPASS</i> VAPOR LP 2 y LP 3	4TM24103 4TM34104	CCI Valve <i>Tech</i>	840H	2

Fuente: Autores del proyecto

## 6.1.2. Especificaciones Técnicas de las Válvulas Sistema de Bypass de La Empresa Zona Franca Celsia s.a. e.s.p.

TAG: 4DH23809 y TAG: 4DH33810

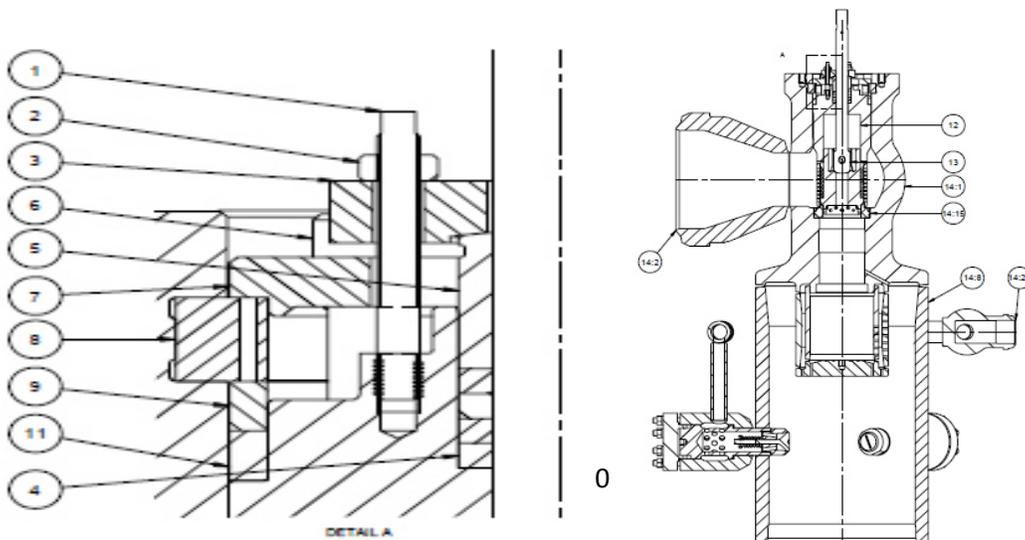
Válvula acondicionadora de vapor tipo VLB, con atemperación integrada, especialmente diseñada para aplicaciones de *bypass*. Está equipada con un *trim* tipo jaula (*Cage*) que a la vez protege el obturador y las superficies de asiento. La válvula se ha equipado con un actuador de pistón neumático de doble efecto (Figura 6).

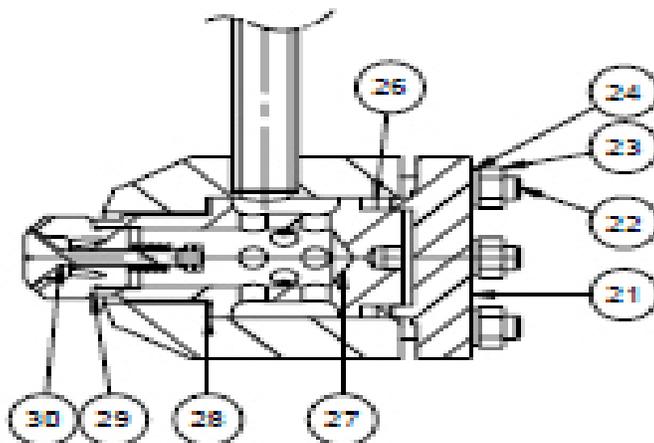
**Figura 5.** Válvula de *bypass* VLB



BTG Valves; Fuente: <http://www.tj88.cn/down/down/CCI/605.pdf> página 4. [Consultado el 15/10/13]

**Figura 6.** Esquema de partes válvula de *bypass* VLB





CCI Fuente: <http://www.tj88.cn/down/down/cci/608.pdf> 2007 [consultado el 19/09/2013]

**Tabla 2.** Lista de partes de válvulas de *bypass*

Ítem	Descripción	Descripción	Material
1	Set screw	El tornillo de fijación	X6NiCrTiMoVB25-15-2
2	Nut	Tuerca	X6NiCrTiMoVB25-15-2
3	Gland yoke	Yugo Glándula	A 182 F91
4	Stem packing	Tallo de embalaje	Graphite
5	Gland	Glándula	A 182 F91
6	Screw	Tornillo	A4-70
7	Cover plate	La placa de cubierta	A 182 F91
8	Segment ring	Anillo de Segmento	A 182 F91
9	Spacer ring	Anillo distanciador	A 182 F91
11	Pressure Seal	Seal Pressure	Graphite
12	Bonnet complete	Capó completa	A 182 F91
13	Plug complete	Enchufe completa	X19CrMoVNbN11-1
14,1	Valve body	El cuerpo de válvula	A 182 F91
14,2	Inlet	Entrada	A 182 F91
14,8	Outlet pipe	Tubo de salida	A 182 F91
14,25	Water connection piece	Pieza de conexión de agua	A 182 F91
14,15	Seat	Asiento	A 182 F91
21	Bonnet flange	Capó brida	A 182 F22Cl3
22,23	Setscrew/nut	Tornillo / tuerca	SA-193B16/SA-194 7
24	Lock Washer	Roldana de Seguridad	Docol BO 02 fzb
26	Steam packing	embalaje de vapor	Grafite
27	Nozzle holder	Portaboquillas	A 182 F22Cl3
28	Gasket	Junta	Grafite
29	Washer	lavadora	SS steel 2343-02
30	Nozzle	boquilla	X19CrMoVnNbN111

Fuente: [www.vlb.com](http://www.vlb.com) <http://www.tlv.com/global/LA/steam-theory/types-of-valves.html#> [consultado el 18/10/2013]

### 6.1.3. Descripción Componentes de Válvulas

- **Cuerpo**

Fabricado a partir de material de forja de alta calidad, totalmente mecanizado interior y exteriormente, con perfil suave para una distribución uniforme de material y minimizar el estrés térmico y, por consiguiente, la necesidad de precalentamiento. Con este objetivo, la válvula se ha diseñado con una clase de presión 'para trabajo' (*job rated*). La válvula está diseñada para integrarse completamente en el sistema de tubería, por lo que no requiere más precalentamiento que el necesario para el sistema de tubería. La entrada y salida de vapor de la válvula se seleccionan para coincidir con las dimensiones de las tuberías y están preparadas para soldar, con ello evitamos la necesidad de conos de adaptación y contra bridas (figura 7).

- **Bonete**

Tipo cierre de presión, mucho más seguro (mínimo riesgo de fuga) y de fácil y rápido montaje y desmontaje que los pesados y voluminosos bonetes tipo brida. Las operaciones de revisión y mantenimiento de la válvula se realizan a través de la abertura del bonete, sin necesidad de desmontar la válvula de la tubería (figura 7).

- **Juntas y Empaquetaduras**

De grafito pre comprimido, están presentes en tres posiciones únicamente: la empaquetadura del vástago, el bonete y las boquillas pulverizadoras (figura 7).

- **Trim**

Tipo jaula perforada. La laminación del vapor se produce a través de los orificios del obturador expuestos al vapor de alta, no en el asiento. Esto asegura la ausencia de desgaste en el asiento, que sólo se utiliza en el cierre de la válvula. El obturador está totalmente guiado en su recorrido por los dos extremos. La jaula es una prolongación del bonete y no sujeta ningún otro componente, lo cual asegura

siempre su alineación, no requiriendo ningún procedimiento especial de montaje y facilita el mantenimiento. Estas características permiten la instalación de la válvula en cualquier posición, sin necesidad de un diseño especial. El obturador también dispone de una jaula perforada para optimizar el control en la apertura mínima. El obturador, de cierre estanco, es equilibrado mediante un obturador piloto, reduciendo así la fuerza de actuación (figura 7).

- **Asiento**

Diseñado para transmitir la fuerza de cierre directamente al cuerpo de la válvula y permitir las dilataciones sin que estas afecten la superficie de asiento (su diseño de doble anillo permite los movimientos en dirección axial y radial, debidos a los gradientes térmicos a los que se someterá la válvula). Su superficie está endurecida en profundidad. La estanqueidad entre el asiento y el cuerpo de la válvula se garantiza mediante un cordón de soldadura de sello (eliminando el riesgo de fuga y consecuencias muy graves para el cuerpo de la válvula). El asiento está protegido por la jaula del bonete (parte del *trim*, que actúa como *estrainer*). Sólo es activo durante el cierre, no en el laminado del vapor, que se realiza en el obturador evitando así el desgaste (figura 7).

- **Reducción Multietapa de Presión**

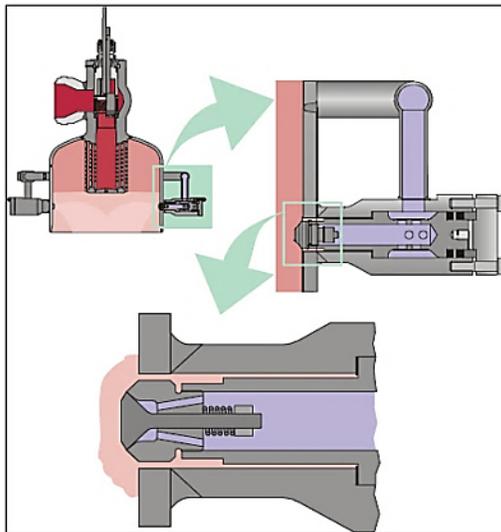
Para minimizar la generación de ruido, la reducción de presión continúa aguas abajo del obturador, a través de una serie de tubos difusores integrados en el cuerpo de la válvula (figura 7).

- **Inyección de Agua**

Se realiza después de la última reducción de presión, después de los componentes internos de la válvula, para evitar el contacto del agua con estos componentes, en el punto de máxima turbulencia del vapor. Ello asegura una buena y rápida evaporación del agua de atemperación. El agua es inyectada mediante una serie de boquillas pulverizadoras, distribuidas uniformemente en

toda la circunferencia de la campana de salida. La pulverización se realiza mecánicamente en las boquillas con contrapresión por muelle, a través de orificios de área variable, que además de proporcionar la más fina pulverización en cada condición de caudal de agua necesario, previenen el '*flashing*' en su interior, a la vez que tienen función anti retorno. El número de boquillas depende tanto de la cantidad de agua a inyectar como de la dimensión de la tubería de salida, para asegurar una perfecta distribución del agua inyectada en el caudal de vapor (figura 8).

**Figura 7. Inyección de agua**



Fuente: <http://www.ccivalve.com/~media/Files/C/CCI/pdf/741-VLB-brochure.pdf> [consultado el 22/10/2013]

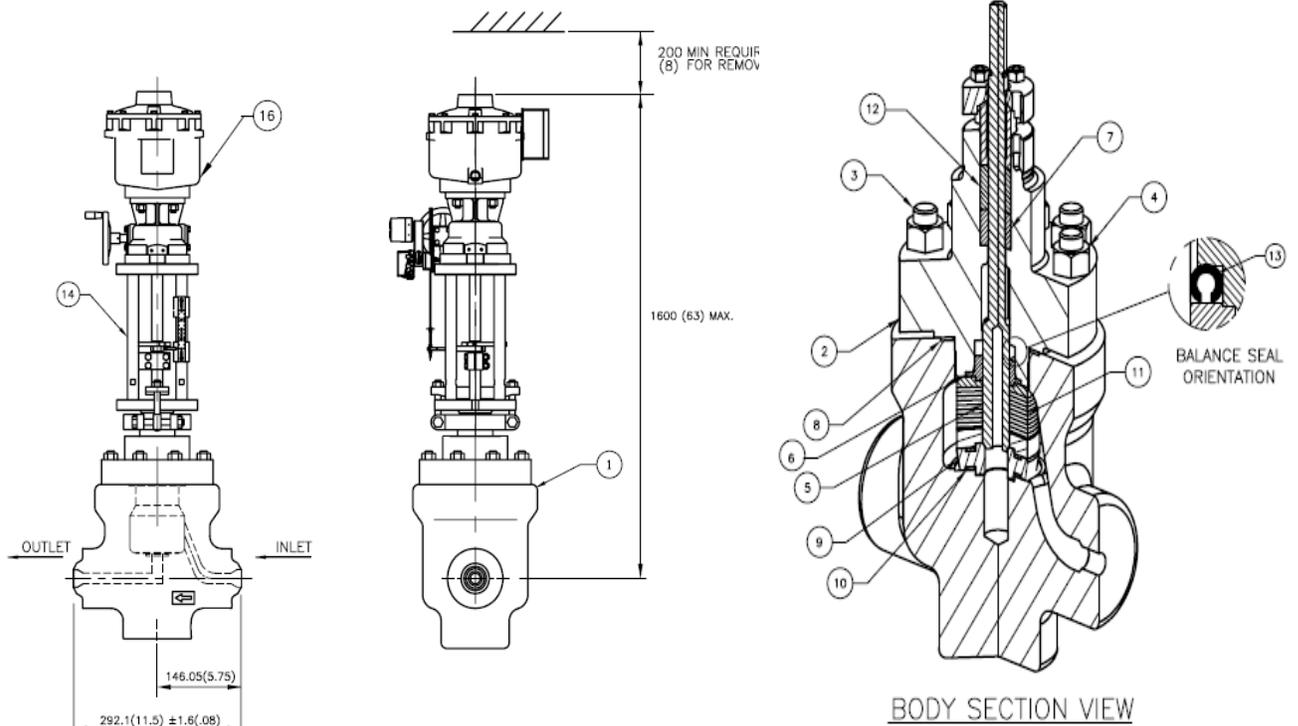
#### **6.1.4 Válvula de Control Atempera Miento- Referencia: 100dsv**

Funcionamiento:

El control de la temperatura del vapor es de vital importancia para su segura, confiable y eficiente funcionamiento de una planta de energía térmica. El spray atemperador que tienen estas válvulas de control son los elementos finales de control que identifican el recalentamiento y activan la válvula para que logren la temperatura deseada del proceso. Estos son uno de los componentes críticos

responsables de afinar el control de la temperatura del vapor. Con la temperatura bien afinada el funcionamiento de la turbina es eficiente (Figura 8 y 9).

**Figura 9.** Válvula de control temperatura **Figura 8.** Partes válvula referencia 100dsv



Manual técnico VLB; fuente: <http://www.ccijapan.co.jp/products/pdfs/cci/316.pdf> [consultado el 22/11/2013]

**Tabla 3.** Lista de partes válvula de control Atemperamiento

PARTS LIST				
NO	NAME	MATERIAL	QTY	REMARKS
1	BODY	ASTM-A216-WCC	1	
2	BONNET	ASTM-A105	1	OR F22
3	STUD, BONNET	ASTM-A193-B7	8	
4	NUT, HEX, BONNET	ASTM-A194-2H	8	
5	SPINDLE	17-4PH	1	
6	GUIDE BUSHING	316 SS	1	
7	PACKING, SPACER	CARBON	1	
8	GASKET, FLEXITALLIC	GRAPHITE/300 SS	1	BODY / BONNET
9	SEAT RING	316 SS	1	
10	GASKET, FLEXITALLIC	GRAPHITE/300 SS	2	SEAT RING
11	DISK STACK	410SS	1	
12	PACKING, STEM	TEFLON	1 SET	
13	BALANCE SEAL	TEFLON	1	
14	YOKE	CARBON STEEL	1	
15	ACTUATOR	CCI/PISTON	1	

Service Instructions VLB; BTG - CCI Valve, pag 5. California; USA, 2012 [consultada el 11/04/2014]

**Tabla 4.** Especificaciones técnicas válvula de control atemperamiento

ENGINEERING DATA	MAIN ELEMENT			
	PRESS. CLASS	1500 ASME		
	DESIGN PRESS./DESIGN TEMP.	149 BARG / 200°C (2161 PSIG / 392°F)		
	MAX. PRESS. AT 100F	258.6 BARG (3750 PSIG)		
	NUCLEAR CLASS	N/A		
	HYDROTEST PRESSURE	387.8 MPAG (5625 PSIG)		
	MAX. Cv AT 100% STROKE	7.9		
	MAX. SEAT LEAKAGE	1.6 CC/MIN @ 149 BARD (2161 PSID) 		
	BONNET FLG. NUT TORQUE	409-452 N-M (302-333 FT-LBF)		
	OPERATOR			
	TYPE	PISTON		
	SUPPLY	5.0-7.0 BARG		
	SIGNAL	IN	4-20 mA	OUT 4-20 mA
	INCREASING SIGNAL	OPEN	ELEMENT	
	SHAFT	EXTENDS TO CLOSE ELEMENT		
	FAILURE POSITION / MECHANISM	CLOSE / VOLUME TANK		
	NOMINAL STROKE	63.5mm (2.5 INCHES)		
	STROKE TIME (SEC)	< 2 SEC OPEN	< 2 SEC CLOSE & QUICK CLOSE	
VALVE AND OPERATOR WEIGHT	250 KGS APPROX.			
NOTES:				
1. VALVE ORIENTATION TO BE STEM VERTICAL WITH ACTUATOR UP.				
2. MODEL NO.: 100DSV				
3. IDENTIFICATION CODE DRAG- SBG5-15-X3BW-X3BW-KDECP2-ATMP				
4. ALL DIMENSIONS WITHOUT STATED TOLERANCES ARE FOR REFERENCE ONLY.				
5. STANDARD CCI TAGGING ONLY.				
 SEAT LEAKAGE PER ASME/FCI 70.2, CLASS V				
7. REMOVE VALVE INTERNALS PRIOR TO POST WELD HEAT TREAT.				

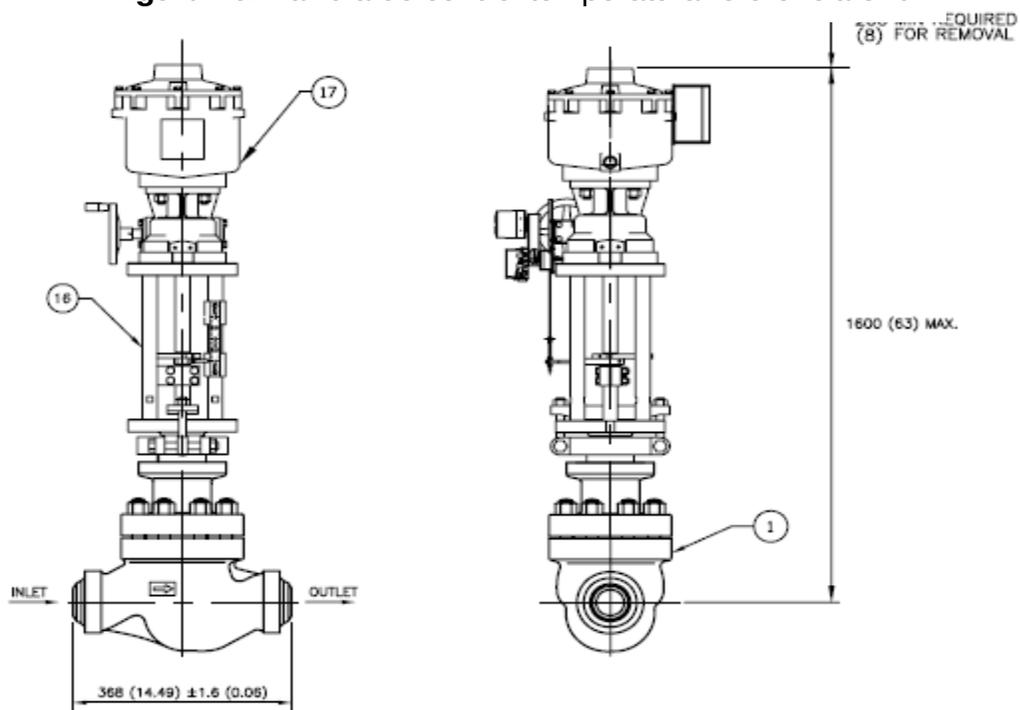
Service Instructions VLB; BTG - CCI Valve, pag 6. California; USA, 2012 [consultada el 11/02/2014]

### 6.1.5 Válvula de Control Atempa Miento - Referencia 840h

El diseño de la 840H (-agujero perforado-jaula) de la válvula se utiliza principalmente para aplicaciones de servicio que requieren anti-cavitación o ajuste de bajo ruido.

En la mayoría casos, la alta pérdida de carga en las condiciones del proceso puede causar erosión, ruido o vibración, que puede afectar el control de proceso. La valvula de control 840H es una buena solución a este servicio. La configuracion de conexión del cuerpo es de extremos soldados a tope (*butweld*), y los tamaños van desde 2" hasta 16".

**Figura 10.** Válvula de control temperatura referencia 840h



Service Instructions VLB; BTG - CCI Valve, pag 7. California; USA, 2012 [consultada el 12/01/2014]

**Tabla 5.** Características técnicas válvula de temperatura ref 840h

ENGINEERING DATA	MAIN ELEMENT			
	PRESS. CLASS	300 ASME		
	DESIGN PRESS./DESIGN TEMP.	19 BARG / 120°C (276 PSIG / 248°F)		
	MAX. PRESS. AT 100°F	51 BARG (740 PSIG)		
	NUCLEAR CLASS	-		
	HYDROTEST PRESSURE	78 BARG (1125 PSIG)		
	MAX. Cv AT 100% STROKE	120		
	MAX. SEAT LEAKAGE	0.55 CC/MIN @ 19.0 BARD (276 PSID)		
	BONNET FLG. NUT TORQUE	207-229 N-M (153-169 FT-LBF)		
	OPERATOR			
	TYPE	SPRING DIAPHRAGM		
	SUPPLY	5.0-7.0 BARG		
	SIGNAL	IN	4-20 mA	OUT 4-20 mA
	INCREASING SIGNAL	OPENS	ELEMENT	
	SHAFT	EXTENDS TO CLOSE ELEMENT		
	FAILURE POSITION / MECHANISM	CLOSE / VOLUME TANK		
NOMINAL STROKE	50 MM			
STROKE TIME (SEC)	< 2 SEC OPEN	< 2 SEC CLOSE & QUICK CLOSE		
VALVE AND OPERATOR WEIGHT	180 KGS APPROX.			

Service Instructions VLB; BTG - CCI Valve, pag 7. California; USA, 2012 [consultada el 12/02/2014]

### **6.1.6 Análisis de la información suministrada por zona franca Celsia s.a. E.S.P. de sus válvulas del sistema de *bypass***

Se realizó un análisis de las fichas técnicas de las válvulas que hacen parte del sistema de *bypass* de la empresa Zona franca Celsia S.A. E.S.P, el cual nos arroja los siguientes puntos:

Son válvulas altamente especializadas ideales para manejo de vapor, son costosas y no son comerciales en el mercado nacional, su tiempo de fabricación está entre 6 a 7 semanas calendario y valor comercial oscila entre los \$18.000.000 y \$ 19.000.000.

Según la información del fabricante, deben realizar mantenimiento en periodos de 2 años (lubricación, cambio de sellado, etc.).

Actualmente esta organización no cuenta con un plan de mantenimiento preventivo en estos dispositivos mecánicos de control. Cabe resaltar que las válvulas ya cumplieron el tiempo que recomienda el proveedor para la labor de mantenimiento preventivo.

Utilizan válvulas tipo globo de control y filtros antes de la válvula *bypass* para controlar la variable presión y temperatura.

Son Fabricadas con materiales aleados resistentes a la corrosión y altos niveles de temperatura y presión A182 F91, F22 etc.

Actualmente las válvulas del sistema de *bypass* ZONA FRANCA CELSIA S.A E.S.P se encuentran en perfecto estado y funcionales, Fueron instaladas en el primer semestre del año 2011 (hace 3 años) y no han presentado un problema de fuga o paso.

Se realizó un registro fotográfico durante la investigación de campo a la planta de generación de ZONA FRANCA CELSIA S.A E.S.P en el cual se evidencia su excelente estado: (Figura 11; 12; 13; 14; 15; y 16).

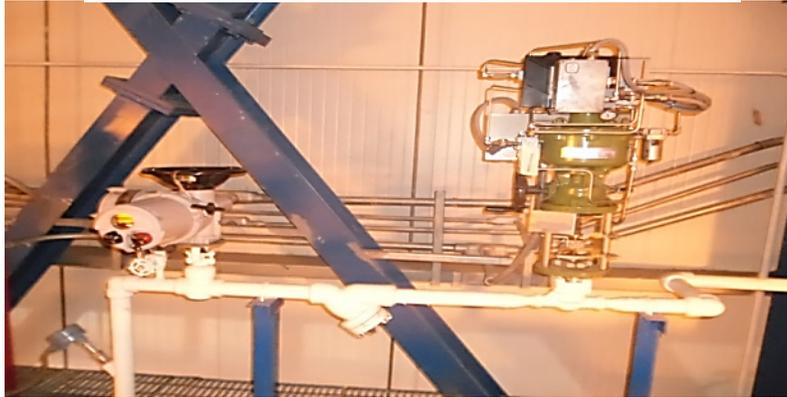
**Figura 11.** Válvula sistema *bypass* alta presión



Fuente: Autor del proyecto

Esta válvula se utiliza principalmente como *bypass* de turbina de vapor en la planta de generación ZONA FRANCA CELSIA S.A. E.S.P. (producción combinada de calor y electricidad). Este tipo de válvulas especializadas nos ayudan a eludir el vapor de alta presión para recalentado frío y también de recalentamiento caliente para que vaya al condensador. Son diseñadas para soportar altos niveles de temperatura y presión por esta razón son de alto rendimiento. En la figura 11 se observa la válvula de *bypass* para el manejo de alta presión.

**Figura 12.** Válvulas de control de temperatura



Fuente: autores del proyecto

Estas válvulas son las que ayudan a controlar la temperatura del sistema de forma automática y muy eficiente ya que cuentan con un sistema de control electrónico programado, que detecta las variaciones de temperatura en el sistema.

**Figura 13.** Válvulas de *bypass* baja presión



Fuente: Autor del proyecto

Las válvulas del sistema de *bypass* nos ayudan a mejorar el rendimiento de la planta, debido a que nos proporciona un control ideal de presión y temperatura (entalpía) aguas abajo para una máxima eficiencia. En la figura 13 se ilustra una válvula de *bypass* de baja presión.

**Figura 14.** Válvulas de *bypass* baja presión



Fuente: Autor del proyecto

En la figura 14 se puede apreciar una válvula de globo con un sistema de control neumático para mantener la temperatura; con esta válvula logramos aumentar la eficiencia del sistema de generación de energía.

**Figura 15.** Válvulas de *bypass* presión media



Fuente: Autor del proyecto

En las figura 15 se encuentra un registro fotográfico de la válvula de *bypass* de media presión. Estas válvulas tienen un asiento especial que garantiza un cierre hermético repetible y maximiza MW turbina de vapor, reduciendo los costos de mantenimiento y limitar el tiempo de inactividad de la planta.

## 6.2 FASE 2 IDENTIFICACIÓN

El mayor porcentaje de accidentes entre los causados por fallos en elementos de regulación y control corresponde a las válvulas, según las bases de datos **MHIDAS y MARS**, en un 91% de los accidentes a nivel industrial son causadas por alguna falla en válvulas. A continuación describiremos las posibles fallas que se presentan en estos dispositivos mecánicos que son de vital importancia en toda la industria mundial.

### Fallo por falta de estanqueidad

Se considera cuando la válvula tiene una fuga y provoca la pérdida del producto que pasa por ella. La falta de estanqueidad suele ser debida a la corrosión o debilitamiento de los materiales, a un diseño inadecuado o a la falta de mantenimiento y control de estos elementos.

#### Posibles causas:

- Bloqueo de la válvula
- Obstrucción de la sección de paso de la válvula
- Cierre defectuoso que permite el paso de fluido cuando el cierre tendría que ser estanco, por partículas sólidas en suspensión.
- Actuaciones no controladas, como apertura o cierre por vibraciones, por sobrepresiones.

### Erosión

La erosión se localiza siempre en puntos en los que la velocidad de impacto es alta. El daño producido por la erosión puede reducirse si seleccionamos la válvula adecuada para cada aplicación o servicio, En algunos casos, el daño más grave puede reducirse variando las condiciones de operación, por ejemplo cambiando

una bomba impulsora si está provocando altas presiones de forma innecesaria. Para combatir la erosión más fuerte (especialmente debida a fangos), las válvulas de diafragma y las de apriete son las más indicadas para combatir (Figura 16).

**Figura 16.** Erosión en válvulas de control



VALWORK; Fuente:<http://www.valwork.com.ar/servicios.php> [consulta realizada el 20/11/2013]

### **Cavitación**

La cavitación se debe a la disolución de vacíos en líquidos causada por fluctuaciones de presión. Según la Ley de Bernoulli, la presión estática en un líquido es menor, cuanto más elevada sea la velocidad. Si la velocidad es muy elevada, la presión estática cae por debajo de la presión de evaporación del medio y se producen burbujas de gas en el medio, los que implosionan de golpe en las cavidades cuando aumenta la presión estática. Se crean picos de presión

extremos que pueden conllevar a daños en la válvula y en el sistema subsiguiente (Figura 17).

**Figura 17.** Cavitación en válvulas



Fuente: <http://www.vag-armaturen.com/es/ayuda/sugerencias-sobre-valvulas/sugerencias-sobre-valvulas/details/what-is-cavitation-and-why-should-valves-operate-as-freely-of-cavitation-as-possible.html> [consultado el 15/04/2014]

### **6.3. FASE 3 PROPUESTA**

#### **6.3.1 Desarrollo del plan de mantenimiento preventivo en las válvulas del sistema de *bypass* de la empresa zona franca Celsia s.a. E.s.p.**

##### **Plan de inspección externa:**

La inspección de todas las partes internas de la válvula debe realizarse cada 15.000 a 20.000 horas de operación (intervalo típico)<sup>9</sup>.

---

<sup>9</sup> Service Instructions VLB; BTG - CCI Valve, pag 8. California; USA, 2012 [consulta realizada el 15/02/2014]

### **Compruebe con frecuencia:**

- El sistema de control de presión y temperatura: Se debe ingresar los datos y/o valores numéricos (rango de presión o temperatura) a los cuales se desea controlar la variable ya sea temperatura o presión.
- Que el agua de refrigeración de la válvula de vapor se cierra revise periódicamente.
- Que las funciones de precalentamiento/drenaje y que el aislamiento no está dañado.
- El estado del actuador, posicionador y otros componentes.
- Que el área alrededor de la válvula se mantiene limpio.

### **Inspección visual**

- Verificar si la válvula presenta fuga ya sea por el cuerpo como en las conexiones (bridas, roscas etc.)
- Inspeccionar presencia de corrosión (cuerpo, volante y conexiones).
- Observar si la válvula presenta alguna deformación en el cuerpo o conexiones.
- Verificar si existen fisuras o fracturas.
- Indicar si presenta exceso de ruido.
- Asegurarse de que la placa de identificación esté en buen estado

Así mismo el personal técnico encargado de inspecciones debe diligenciar un formato con el fin de tener soporte de la realización de estas actividades:

### 6.3.2 Formato I Lista de Chequeo Rutina de Mantenimiento

**Tabla 6.** Rutina de mantenimiento de válvulas

RUTINA DE MANTENIMIENTO	EMPRESA: ZONA FRANCA CELSIA S.A E.S.P			
FECHA:	SERVICIO O APLICACIÓN			
EQUIPO:				
MARCA:				
MODELO:				
TAG:	AMBIENTE			
<b>TIPO DE INPECCION : VISUAL EXTERNA</b>		CLASIFICACION		
<b>FRECUENCIA: TRIMESTRAL</b>		B	M	OBSERVACIONES
1. FUGAS				
2. DEFORMACION EN LAS CONEXIONES				
3. PRESENCIA DE CORROSION				
4. FISURAS				
5. CORROSION POR PITIN				
6. ACABADO DE PINTURA				
7. RUIDOS				
8. VERIFICAR PLACA DE IDENTIFICACION				
FIRMA DEL ENCARGADO DE LA INSPECCIÓN		CARGO		
<p><b>NOTA:</b> UNA VEZ TERMINADA LA LABOR COLOCAR LA MARQUILLA DE INSPECCIONADO</p> <p>Tabla 4. Lista de Chequeo rutina de mantenimiento</p>				

Fuente: Autores

### 6.3.3 Etiqueta para identificación de válvulas inspeccionadas

**Tabla 7.** Etiqueta para identificación de válvulas inspeccionadas

	Código	RV-01		Código	NO-01
	Fecha	14-nov-13		Fecha	14-nov-13
	Versión	1		Versión	1
	Página	1		Página	1
<b>REVISADO</b>			<b>NO OPERAR</b>		
Cargo ejecutante:			Cargo ejecutante:		
Tag válvula:			Tag válvula:		
Tipo equipo:			Tipo equipo:		
FECHA:			FECHA:		
Firma			Firma		

Fuente: Autores

### 6.3.4 Plan de inspección interna

Según recomendación del fabricante de las válvulas se debe realizar inspección interna de las válvulas y cambios de partes cada 2 años de servicio.

Consideraciones de seguridad

- Línea de vapor despresurizada y drenada.

- Bombas de agua de alimentación fuera de servicio y bloqueadas.
- Verificar que el actuador esté desconectado neumáticamente y eléctricamente.
- Temperatura de los equipos por debajo de 50 °C.
- Utilizar equipo de Protección Personal, tales como: casco de seguridad, zapatos de seguridad, guantes de seguridad, lentes de seguridad, protectores auditivos.
- Demarcar con cinta el área de trabajo para evitar la entrada de personal no autorizado que puedan provocar un accidente o incidente.
- Retirar cualquier material suelto del área donde se está realizando el trabajo.
- Utilizar equipo de Protección Personal, tales como: casco de seguridad, zapatos de seguridad, guantes de seguridad, lentes de seguridad, protectores auditivos.
- Asegurarse de no realizar otra actividad en el área restringida durante la realización de la tarea.

### **Consideraciones ambientales**

Mantener el área limpia y libre de residuos peligrosos como aceites lubricantes, grasas, varsol, piezas metálicas (solventes).

### 6.3.5 Inspección y Mantenimiento del Interior de la Válvula

#### Montaje de la tapa de la válvula

1. Limpie todas las piezas e inspeccione con mucho cuidado, verifique que ninguno de los componentes estén defectuosos e identifique que puedan ser reutilizados, Si es necesario, reacondicionamiento, reparación o reemplazo.
2. Verificar el eje y la glándula, áreas recto Si es necesario, también pulir superficies de guía del vástago
3. Instan vástago / tapón en el cuerpo.
4. Inserte el nuevo empaque del vástago anillos, si estos son antiguos son *WOM* y requieren reemplazo.
5. Verifique que no sobre la glándula relleno con anillos del empaque. Deje por lo menos hasta la altura de un anillo libre de aceptar arbusto glándula.
6. Inserte glándula arbusto y tornillos. Apriete el prensaestopas ligeramente con los tornillos.
7. No apriete demasiado el prensaestopas, solo ajústelo.
8. Asegure madre caiga través de la caja de embalaje mediante la inserción de un perno
9. Aplicar una capa delgada de un lubricante de alta temperatura en la guía de superficies para cuerpo de la válvula
10. Levante el conjunto del cuerpo completo con vástago / tapón mediante el alzamiento y deslice con cuidado en el cuerpo de la válvula.
11. Remplace la junta de presión y el anillo espaciador de inserción, si desmantelado.

12. Asegúrese de que las juntas de los anillos del segmento no estén en posición opuesta a los orificios de desmontaje
13. Instale la placa de cubierta
14. Monte tuerca / tornillos. Presión de precarga junta de estanqueidad apretando Tuerca / tornillos. Los tornillos deben apretarse uniformemente (Tabla 7).
15. Montar el yugo del actuador por medio de tornillos. Utilice lubricante para alta temperatura en las roscas y las nuevas arandelas de seguridad.
16. Asegúrese de que la culata está montada correctamente.

**Tabla 7.** Especificación de torque, [Nm]

Diámetro del tornillo	≤ 200°C Perno de articulación Yugo-actuador B.8		≤ 400°C Perno conjunta Placa Bonnet-Cubierta Yugo-válvula 21CrMoV57	
	Lubricado	Secar	Lubricado	Secar
M8	18	20	15	17
M10	35	39	26	29
M12	61	68	45	50
M14	97	108	71	79
M16	148	165	109	121
M20	289	322	213	238
M24	500	558	368	411
M27	723	807	532	594
M30	987	1100	726	810

Service Instructions VLB; BTG - CCI Valve, pag 10. California; USA, 2012 [consulta realizada el 17/04/2014]

### **6.3.6 Mantenimiento de la caja**

Si la glándula no tiene margen de ajuste pero todavía hay escape, agregue un número adecuado de los anillos de empaque.

Note la glándula de sobrellenado con anillos de empaque. Deje por lo menos hasta la altura de un anillo libre de aceptar arbusto glándula.

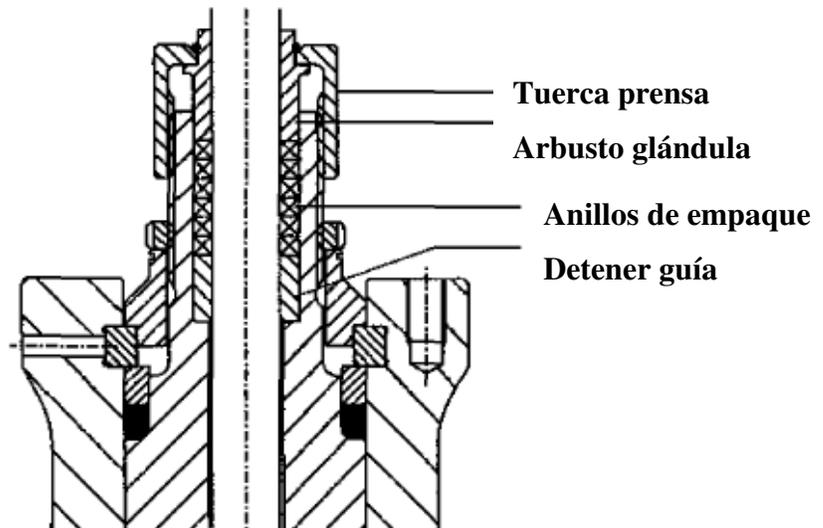
Verificar que la tuerca de casquillo de la glándula entre correctamente al orificio de la caja de empaquetadura

Si la caja no puede ser completada por la de envases, proceda de la siguiente manera:

1. Usar extractor estándar (tipo saca corchos) para sacar todos los envases utilizados.
2. Limpie el orificio del prensaestopas, la glándula monte y la tuerca.
3. Tome esta oportunidad para inspeccionar la condición de la superficie del vástago de la válvula. Pulir si es necesario.
4. Insertar nuevos anillos de empaquetadura, 4-6 pes en función de su altura, uno por uno.
5. Para el servicio y mantenimiento de sello del vástago Grafol.
6. Vuelva a insertar la glándula casquillo y la tuerca prensaestopas, apretar la tuerca de casquillo ligeramente.
7. No apriete demasiado el prensaestopas.
8. Después de la reinstalación del actuador, la válvula se llevará a cabo varias plena golpes para comprobar el movimiento libre del vástago.
9. Regule la presión del sistema y vuelva a apretar la tuerca de casquillo si es necesario.

### Figura 18. Prensaestopas

Asegúrese de que el arbusto glándula es así aceptado en el prensaestopas.



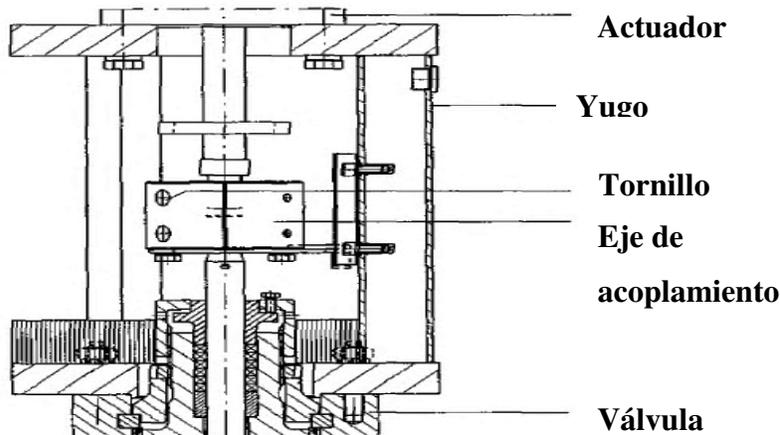
CCI Valve; service instructions VLB; Fuente:  
<http://www.histarmar.com.ar/Astilleros/Diccionario/LetraV.htm> [consultado el 15/04/2014]

### Reinstalación del actuador

1. Instale el yugo con tornillos seco lubricado y apriete con firmeza, véase el cuadro para el par adecuado.
2. Instale actuador con tornillos lubricados seco, nuevas arandelas y apriete firmemente, véase el cuadro 2 para el par adecuado.
3. Asegúrese de que el vástago del actuador y el vástago de la válvula llegan - En ambas posiciones no finales.
4. Instalar el acoplamiento entre el vástago de la válvula y el vástago del pistón del actuador.
5. Para asegurarse de que la válvula se encuentre en posición cerrado, aliviar el actuador control de pistón 2 ~ 3 mm / O.Oa - 0.12 "de su posición fondo antes el montaje del acoplamiento.

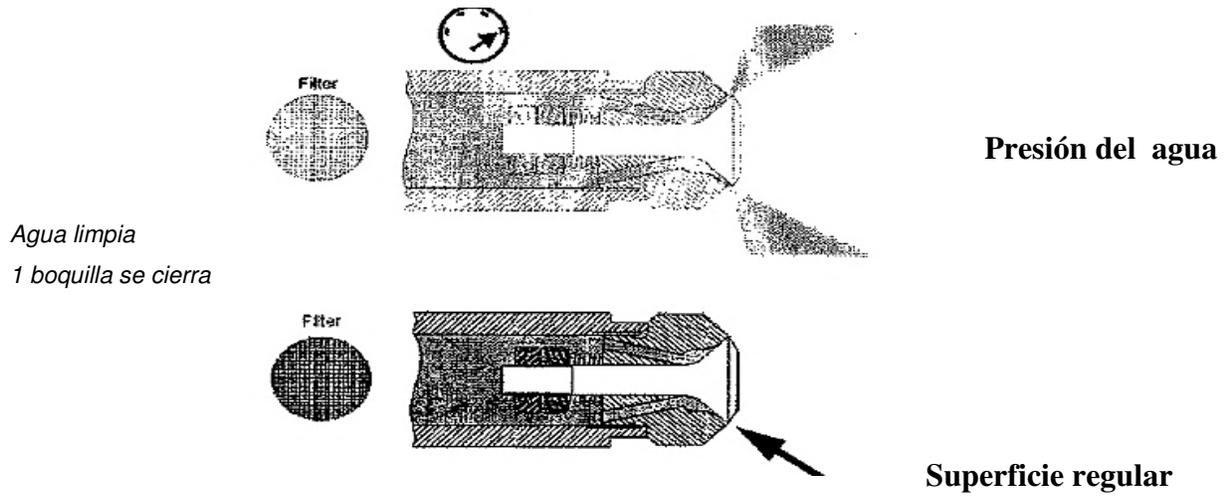
6. Asegúrese de que las roscas del actuador y de la válvula coincide con la roscas de acoplamiento correctamente LLF es necesario, ajustar girando ligeramente el vástago de la válvula mediante la inserción de un pasador cilíndrico través del agujero perforado del tallo cerca de los hilos. Apriete firmemente los tornillos de acoplamiento.
7. Vuelva a instalar el sistema de retroalimentación y ajuste (si los hay).
8. Compruebe los interruptores de límite y ajustar (en su caso).
9. Asegúrese de que el acoplamiento se mueve libremente en el yugo.
10. Conecte la tubería / neumática hidráulica.
11. Conecte los cables eléctricos (si los hay).
12. Compruebe la instalación completa una vez más.
13. Coloque el actuador en servicio y realizar una prueba de funcionamiento J I. Vuelva a instalar el aislamiento térmico / acústico.
14. Toda la válvula debe ser termoaislantes antes de la puesta en marcha.
15. La válvula está ahora lista para la operación de la planta.

**Figura 19.** Yugo, diseño soldada



### 6.3.7 Agua contaminada

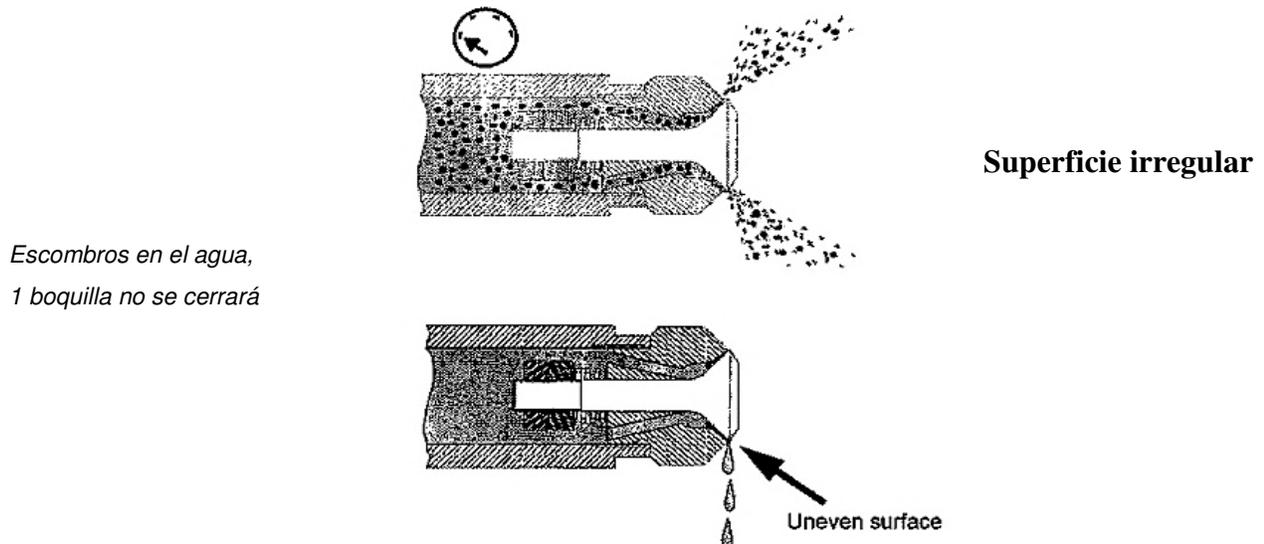
**Figura 20.** Agua limpia con presión de alta 2 Filtro en la línea de flotación



Service Instructions VLB; BTG - CCI Valve, pag 14. California; USA, 2012

### Agua contaminada

**Figura 21.** Insatisfactorio atomización 1 bajo presión de agua



Service Instructions VLB; BTG - CCI Valve, pag14. California; USA, 2012

## **6.4 INSPECCIÓN DE BOQUILLAS DE PULVERIZACIÓN**

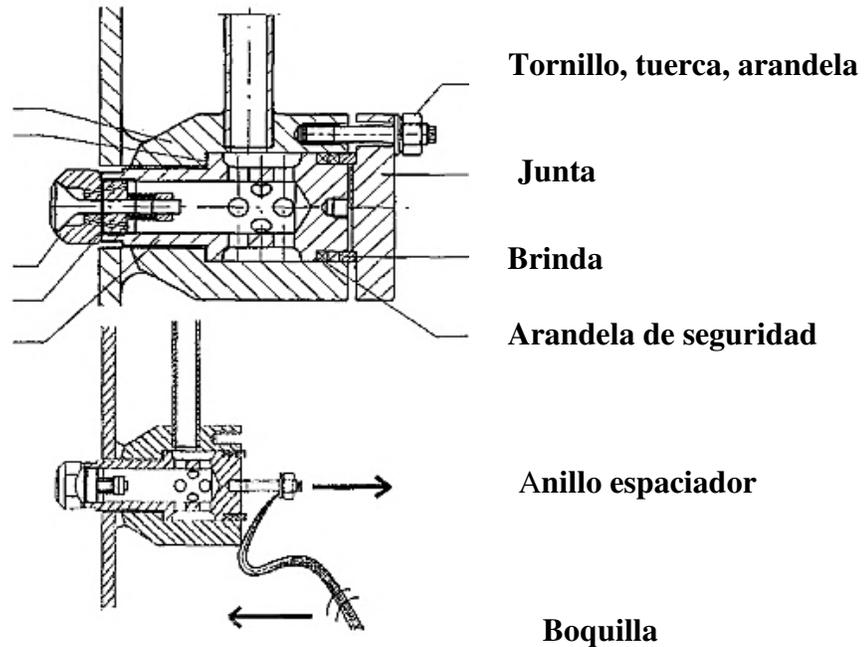
### **Desensamble de OP boquillas de pulverización**

1. Afloje las tuercas y arandelas y quitar la brida.
2. Afloje y retire soporte de boquilla, anillo espaciador y embalaje por de montaje de uno de los tornillos en el orificio central del soporte de la boquilla y tire de ella.
3. Boquilla de pulverización de atomización está bloqueado en posición por medio de la arandela de seguridad que se dobla hacia arriba contra uno de los lados planos de la boquilla.

Suelte el bloqueo doblando de nuevo, la arandela de seguridad y desenroscar la boquilla.

1. Compruebe la boquilla para la obstrucción causada por las partículas de suciedad. Limpie si requerida. Asegúrese de que los canales de agua de la boquilla están abiertas. Comprobar la condición de la primavera, así. Si la superficie de asiento se daña o se la primavera está desgastada - sustituir la tobera completa.
2. Las boquillas pueden haber sido marcados y deberá, en ese caso, ser montadas en la misma posición.
3. La limpieza es muy importante cuando se trabaja con boquillas

**Figura 22.** Sección transversal de la boquilla de pulverización



CCI Valve, Service Instructions. Fuente: <http://www.projet.cl/?p=112> [consultado el 21/03/2014]

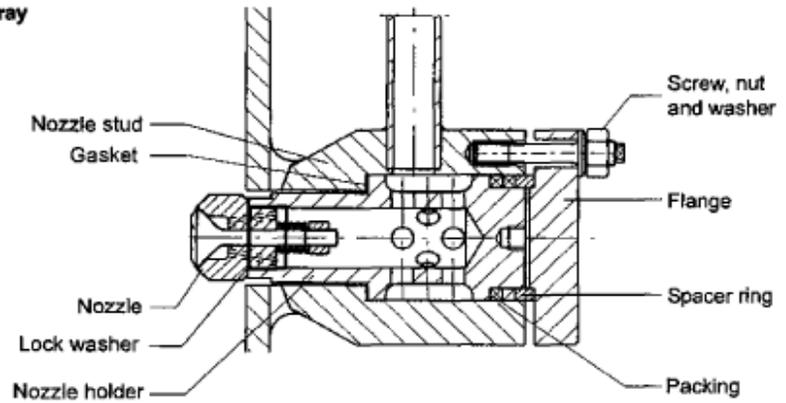
#### **6.4.1 Montaje del Op Boquillas**

- ✓ Las boquillas pueden haber sido marcados y deben en ese caso ser vueltas a montar en la misma posición.
- 1. Ensamble del soporte del rociador de boquilla y la boquilla de atomización y fije la boquilla con la arandela de seguridad como antes.
- 2. Coloque una junta nueva en el soporte de boquilla y se insertan en estudios boquilla. Asegúrese de que la junta vieja se elimina por completo.
- ✓ Cambiar Siempre junta
- 1. Reemplazar - si es necesario ~ envases, montarlos junto con espaciador anillo y brida de ajuste con tornillos, tuercas y arandelas.

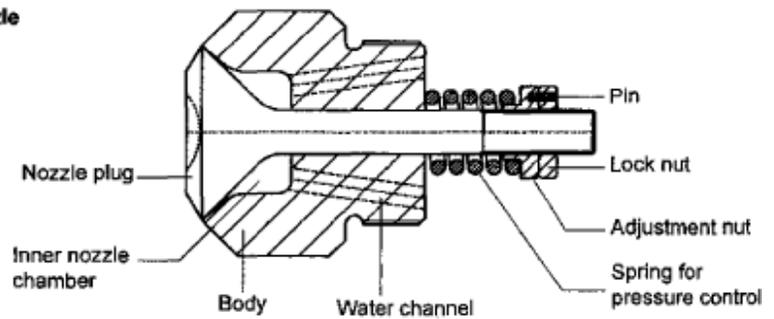
- ✓ Limpiar es muy importante cuando se trabaja con boquillas.

**Figura 23.** Sección transversal boquilla de pulverización

**Fig 12 Cross-section of spray nozzle**



**Fig 13 Cross-section of nozzle head**



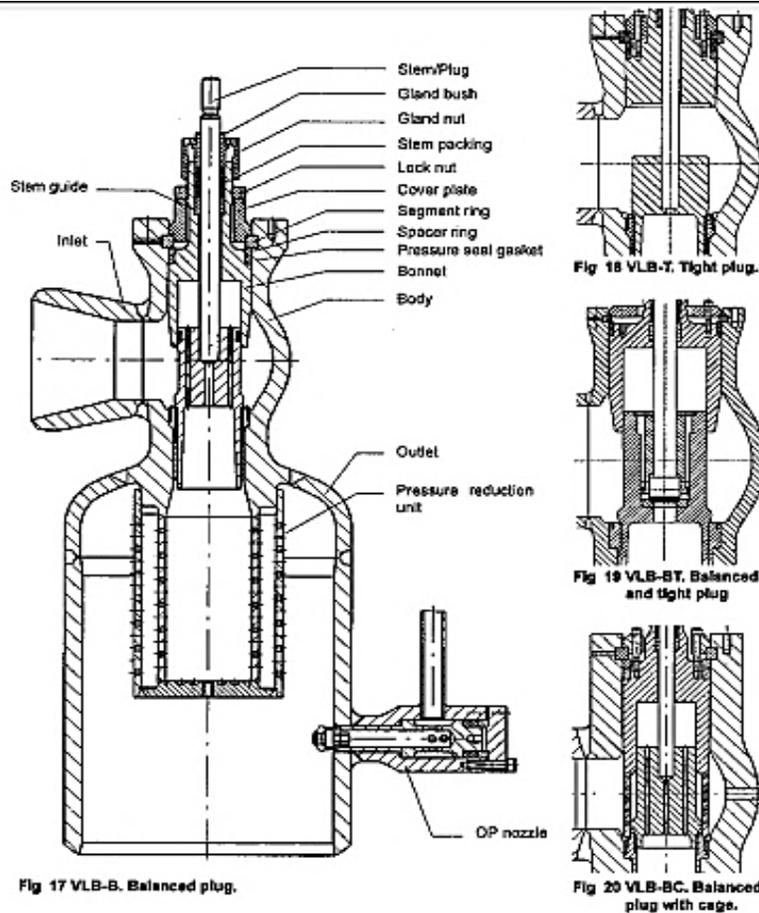
CCI Valve; Service instructions; Fuente: <http://www.projet.cl/?p=112> [consultado el 21/03/2014]

## 6.5 COMPONENTES Y LISTA DE PIEZAS

### Configuraciones

- ✓ Utilice BTG instancia de parte original o instancia de parte de un material aprobado solamente.

**Figura 24.** Componentes y lista de piezas



Service Instructions VLB; BTG - CCI Valve, pag 20. California; USA, 2012

## 6.6 FORMATO PARA RUTINA DE MANTENIMIENTO

**Tabla 8.** Componentes y lista de piezas

<b>RUTINA DE MANTENIMIENTO</b>	<b>EMPRESA: ZONA FRANCA CELSIA S.A. E.S.P</b>			
FECHA:	SERVICIO O APLICACIÓN			
EQUIPO:				
MARCA:				
MODELO:	AMBIENTE			
TAG:				
<b>TIPO DE INSPECCION:</b> INTERNA	CLASIFICACION			
<b>FRECUENCIA:</b> CADA DOS AÑOS	SI	NO	OBSERVACIONES	
1. DESGASTE EN LOS SELLOS	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
2. CORROSION	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
3. RAYADURAS	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
4. EROSION	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
5. PIEZAS FRACTURADAS O CON FISURAS	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
6. PRESENCIA DE CONTAMINACION EXCESIVA	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
7. FATIGA	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
FIRMA DEL ENCARGADO DE LA INSPECCION			CARGO	
<b>OBSERVACIONES GENERALES:</b> Tabla 8. Formato 2 rutina de mantenimiento				

Fuente: Autores del proyecto

## 6.7 ANÁLISIS DE COSTO VS BENEFICIO

**Tabla 9.** Análisis de costo vs. Beneficio

<b>MANTENIMIENTO PREVENTIVO: INSPECCION INTERNA</b>		
<b>Ítem</b>	<b>Datos</b>	<b>Valor unitario en \$</b>
1	Salario mensual técnico	\$ 1.200.000
2	Valor hora laboral técnico	\$ 40.000
3	Número de personal técnico para mtto	4
4	Número de horas mantenimiento	72
5	Herramientas / epp operarios	\$ 350.000
6	Lubricantes, desengrasantes, grasas - consumibles	\$ 200.000
<b>Implementación Mantenimiento</b>		
1	Valor horas hombre	\$ 40.000
	Total día personal técnico (4 personas)	\$ 160.000
<b>total inversión mtto preventivo por válvula</b>		<b>\$ 710.000</b>
<b>valor total por 3 válvulas de <i>bypass</i></b>		<b>\$ 2.130.000</b>
<b>Nota:</b> Este es el valor aprox. del mantenimiento de las tres (3) válvulas de <i>bypass</i> , el cual se debe realizar cada dos (2) años.		
<b>COTIZACION DE VALVULA NUEVA</b>		
1	<b>Valor Comercial de la Válvula VLB Para el Sistema de <i>Bypass</i></b>	<b>\$ 19.000.000</b>
<b>SUBTOTAL</b>		<b>\$ 19.000.000</b>
<b>NOTAS DE LA COTIZACION</b>		
El valor comercial de la válvula depende del distribuidor al que se le solicite		
Por ser ZONA FRANCA, se exonera de cancelar impuestos aduanales		
Tiempo de entrega: 6 a 7 semanas + 1 semana de importación: total: 8 a 9 semanas		
Todos los valores son referenciados por un proveedor nacional importador y los datos son aproximados		

Fuente: Autores del proyecto

Este tipo de planes deben ser cuidadosamente estudiados y direccionados para lograr observar sus resultados en tiempo real, El trabajo previo que debemos realizar en una planta antes de elaborar el plan de mantenimiento es muy grande e importante, se debe estudiar cada uno de los equipos determinando que tareas son rentables y cuáles no.

## 7. CONCLUSIONES

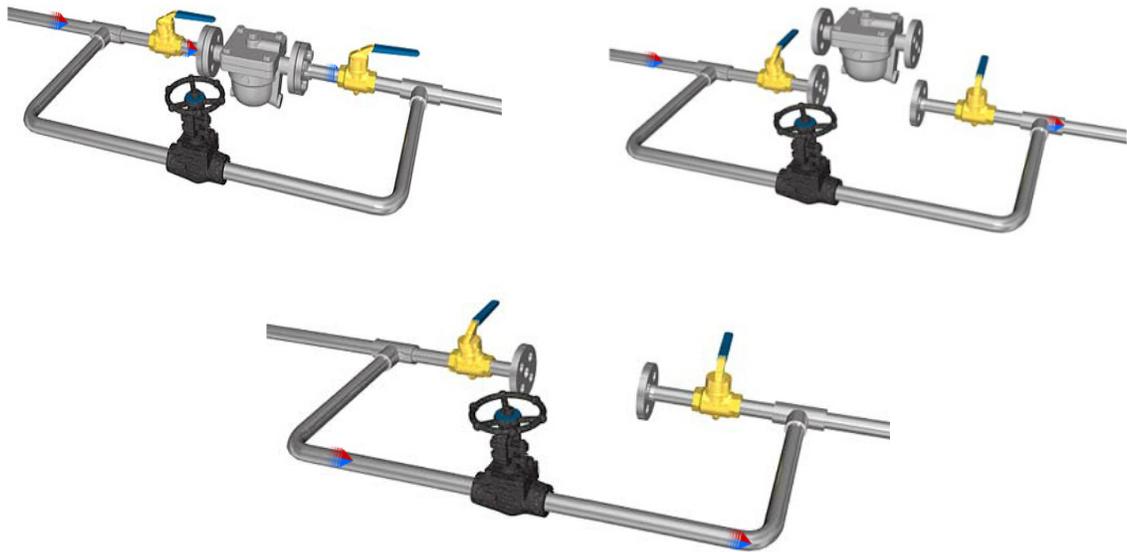
Se realizó un análisis de la situación actual de las válvulas para la identificación de sus posibles fallas dando como resultado el buen estado en que se encuentran estas válvulas, se encuentran instaladas y funcionales.

Se elaboró el diseño de un plan de mantenimiento preventivo para las válvulas del sistema de *Bypass* de acuerdo a la teoría y los conocimientos adquiridos en nuestras clases de gestión de mantenimiento

La empresa se encargará de determinar si lo ejecutará. Siendo esto posible, se prolongará la vida útil de las válvulas.

Se logra comprender que mediante las actividades recomendadas, se mantendrán los componentes de las válvulas en buen estado y la producción no se detendrá por completo siendo el sistema de *bypass* el sistema auxiliar cuando ocurren daños o mantenimientos del sistema principal, como se puede ver en la siguiente figura:

**Figura 25.** Instalación de válvula *bypass*



El sistema funciona dándole apertura a la válvula de *bypass* y direccionando el flujo a través de ella permitiendo de esa forma continuar con el proceso mientras se le realizar operaciones de mantenimiento al equipo (filtros, trampas de vapor etc.).

## BIBLIOGRAFÍA

American Society of Materials Machining ASM International.

Bonney Forge Bonney Forge Co.

Service Instructions VLB; CCI Valve; .California; USA, 2012.

CREUS SOLE Antonio; “Fiabilidad y seguridad edición 2” 2005.

ESPINOSA Fernando; “Gestión de mantenimiento industrial” 2008.

GARCIA GARRIDO, Santiago; Organización y gestión integral del mantenimiento. España. Ediciones Díaz de Santos, 2003. Pag 257-263.

Garrido S; Organización y gestión integral del mantenimiento, tercera reimpresión, Chile, Ed. Atlas 2006,

GONZÁLEZ Francisco; Teoría y Práctica del Mantenimiento Industrial Avanzado 2º 2005-

L. AMENDOLA, PH.D Amendola, “La confiabilidad desde el diseño proyectos de mantenimiento”.

L. Amendola; La Confiabilidad Desde el Diseño Proyectos de Mantenimiento; Valencia, España; Asociación Española de Mantenimiento, Departamento de Proyectos de Ingeniería Universidad Politécnica de Valencia. [Consultado el

12/03/2014]

fuelle:<

<http://www.mantenimientomundial.com/sites/mm/notas/Implantacion.pdf>>

MUÑOZ, Ma Belén; Mantenimiento Industrial; Universidad Carlos III de Madrid. Área de Ingeniería Mecánica. Disponible en < <http://ocw.uc3m.es/ingenieria-mecanica/teoria-de-maquinas/lecturas/MantenimientoIndustrial.pdf>> [Consultada el 18/01/2014]

PRENTICE HALL “fundamentos de manufactura moderna materiales y sistema” Mexico 1997.

RODRIGUEZ ARAÚJO Jorge; “Introducción a la teoría del mantenimiento” 2008.

VEGA Francisco; “Corrosión y abrasión en válvulas” 2011.