



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

**DISEÑO Y EVALUACIÓN ECONÓMICA DEL SISTEMA AUTOMÁTICO DE
CONTROL DE SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES DEL AGUA DE LAS
CALDERAS DEL HOSPITAL GENERAL DE ACCIDENTES DEL
INSTITUTO GUATEMALTECO DE SEGURIDAD SOCIAL**

Benjamín Estanislao Ruiz Valenzuela
Asesorado por el Ing. José Arturo Estrada Martínez

Guatemala, marzo de 2006

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO Y EVALUACIÓN ECONÓMICA DEL SISTEMA AUTOMÁTICO DE
CONTROL DE SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES DEL AGUA DE LAS
CALDERAS DEL HOSPITAL GENERAL DE ACCIDENTES DEL
INSTITUTO GUATEMALTECO DE SEGURIDAD SOCIAL**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

BENJAMIN ESTANISLAO RUIZ VALENZUELA

ASESORADO POR EL ING. JOSÉ ARTURO ESTRADA
MARTINEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO INDUSTRIAL

GUATELAMA, MARZO DE 2006

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	
VOCAL II	Lic. Amahán Sánchez Álvarez
VOCAL III	Ing. Julio David Galicia Celada
VOCAL IV	Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz
VOCAL V	Br. Elisa Yazminda Vides Leiva
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivonne Véliz Vargas

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
EXAMINADOR	Ing. Julio Cesar Molina Zaldaña
EXAMINADOR	Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez
EXAMINADOR	Ing. Hary Milton Oxom Paredes
SECRETARIO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

HONORABLE TRIBUNAL EXAMIDOR

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

DISEÑO Y EVALUACIÓN ECONÓMICA DEL SISTEMA AUTOMÁTICO DE CONTROL DE SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES DEL AGUA DE LAS CALDERAS DEL HOSPITAL GENERAL DE ACCIDENTES DEL INSTITUTO GUATEMALTECO DE SEGURIDAD SOCIAL,

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial.



Benjamín Estanislao Ruiz Valenzuela

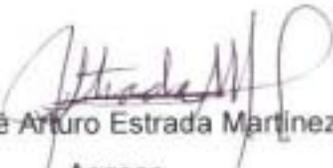
Guatemala, octubre de 2005.

Ingeniero
Francisco Gómez Rivera
Director Escuela Mecánica Industrial
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala
Ciudad Universitaria, zona 12
Guatemala

Estimado Sr. Director

Atentamente me permito comunicarle que, en mi calidad de asesor, he revisado el trabajo de graduación titulado "DISEÑO Y EVALUACIÓN ECONÓMICA DEL SISTEMA AUTOMÁTICO DE CONTROL DE SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES DEL AGUA DE LAS CALDERAS DEL HOSPITAL GENERAL DE ACCIDENTES DEL INSTITUTO GUATEMALTECO DE SEGURIDAD SOCIAL", desarrollado por el estudiante universitario Benjamin Estanislao Ruiz Valenzuela, quien se identifica con carné No. 2000 -10486 y, después de realizar las revisiones correspondientes, lo encuentro satisfactorio, procediendo por este medio a su aprobación.

Atentamente,

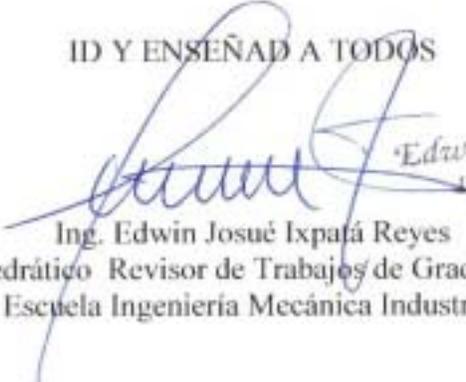

Ing. José Arturo Estrada Martínez
Asesor

José Arturo Estrada Martínez
Ingeniero Mecánico
Colegiado 5216



Como Catedrático Revisor del Trabajo de Graduación titulado **DISEÑO Y EVALUACIÓN ECONÓMICA DEL SISTEMA AUTOMÁTICO DE CONTROL DE SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES DEL AGUA DE LAS CALDERAS DEL HOSPITAL GENERAL DE ACCIDENTES DEL INSTITUTO GUATEMALTECO DE SEGURIDAD SOCIAL**, presentado por el estudiante universitario **Benjamin Estanislao Ruiz Valenzuela**, apruebo el presente trabajo y recomiendo la autorización del mismo.

ID Y ENSEÑAD A TODOS


Ing. Edwin Josué Ixpatá Reyes
Catedrático Revisor de Trabajos de Graduación
Escuela Ingeniería Mecánica Industrial

Edwin Josué Ixpatá Reyes
Ing. Mecánica Industrial
Colegiado No. 7125

Guatemala, noviembre de 2005.

/mgp



El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el Visto Bueno del Revisor y la aprobación del Área de Lingüística del trabajo de graduación titulado **DISEÑO Y EVALUACIÓN ECONÓMICA DEL SISTEMA AUTOMÁTICO DE CONTROL DE SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES DEL AGUA DE LAS CALDERAS DEL HOSPITAL GENERAL DE ACCIDENTES DEL INSTITUTO GUATEMALTECO DE SEGURIDAD SOCIAL**, presentado por el estudiante universitario **Benjamín Estanislao Ruiz Valenzuela**, aprueba el presente trabajo y solicita la autorización del mismo.

ID Y ENSEÑAD A TODOS

Ing. José Francisco Gómez Rivera
DIRECTOR
Escuela Mecánica Industrial

Guatemala, marzo de 2006.

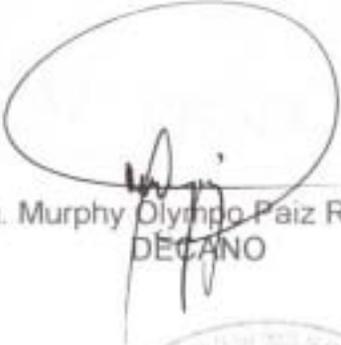


/mgp



El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, al trabajo de graduación titulado: **DISEÑO Y EVALUACIÓN ECONÓMICA DEL SISTEMA AUTOMÁTICO DE CONTROL DE SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES DEL AGUA DE LAS CALDERAS DEL HOSPITAL GENERAL DE ACCIDENTES DEL INSTITUTO GUATEMALTECO DE SEGURIDAD SOCIAL**, presentado por el estudiante universitario **Benjamin Estanislao Ruiz Valenzuela** procede a la autorización para la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.


Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
DECANO

Guatemala, marzo 16 de 2,006



/gdech

DEDICATORIA

Dios, Jesús y La Virgen María	por su amor, enseñanzas y protección.
Mis padres	Patricia y Benjamín con mucho amor.
Mis hermanos	Cecilia, Vivianne y Eduardo
Mis abuelos	Julia y Benjamín Cristina y Manuel
Ana Amelia de Hernández	Por su cariño.
Elvira campos (QEPD)	
Flor de María Rodas	Por su apoyo y cariño
Mi sobrino	Jorge Emilio

AGRADECIMIENTOS

La administración del Hospital General de Accidentes por la colaboración en el desarrollo de este trabajo.

Ing. Caniz por el apoyo en el desarrollo de este trabajo.

Ing. Arturo Estrada por su asesoría.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN	XIII
OBJETIVOS	XV
INTRODUCCIÓN	XVII

1. ANTECEDENTES

1.1 Historia del Hospital General de Accidentes	1
1.2 Instalaciones	4
1.2.1 Sala de Calderas	4
1.3 Control de sólidos disueltos totales del agua de calderas	5
1.3.1 Sistema de control manual de sólidos disueltos totales	6
1.3.2 Sistema de control automático de sólidos disueltos	
Totales	7

2. SITUACIÓN ACTUAL

2.1 Calderas	9
2.1.1 Instalación de las calderas	9
2.2 Sistema de control de sólidos disueltos totales	11
2.2.1 Equipo para el control de sólidos disueltos totales	11
2.2.2 Instalación del sistema de control de sólidos disueltos	
totales	12
2.3 Procedimiento para el control de sólidos disueltos totales	13

3. DISEÑO DEL SISTEMA AUTOMÁTICO DE CONTROL DE SÓLIDOS DISUELTOS

3.1 Cálculo de la cantidad de agua a purgar	15
3.1.1 Ciclos de concentración de sólidos disueltos totales	15
3.1.2 Cantidad de agua a purgar	16
3.2 Diseño del sistema de purga	17
3.2.1 Válvulas de purga	17
3.2.2 Actuadores neumáticos	22
3.2.3 Enfriador de muestra	24
3.2.4 Tubería	25
3.2.5 Instalación del sistema de purga	27
3.3 Diseño del controlador de sólidos disueltos	31
3.3.1 Controlador de sólidos disueltos	31
3.3.2 Sensor de conductividad	35
3.3.3 Instalación del controlador de sólidos disueltos	36
3.4 Equipo auxiliar	38
3.4.1 Conductivímetro	38
3.4.2 Uso del conductivímetro	38
3.5 Calibración del sistema de control automático de sólidos disueltos totales	41
3.5.1 Manual de calibración	41
3.6 Mantenimiento del sistema de control de sólidos disueltos Totales	43
3.6.1 Manual de mantenimiento preventivo	43
3.6.2 Manual de mantenimiento correctivo	45
3.7 Evaluación económica	47
3.7.1 Evaluación de la razón beneficio costo	47
3.7.2 Ahorro en la facturación de combustible	48
3.7.3 Retorno de la inversión	50

4. IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA AUTOMÁTICO DE CONTROL DE SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES	
4.1 Procedimientos de operación	51
4.1.1 Funcionamiento del sistema	52
4.1.2 Calibración del controlador automático de sólidos disueltos totales	55
4.1.3 Toma de muestra	55
4.1.4 Mantenimiento Preventivo	55
4.1.5 Mantenimiento Correctivo	56
4.2 Utilización de los manuales de mantenimiento y calibración	58
5. SEGUIMIENTO Y MEJORA CONTINUA	
5.1 Medición y calibración periódica de los niveles de sólidos disueltos totales	59
5.1.1 Registro de concentración de sólidos disueltos totales del agua de las calderas	
5.1.2 Control de sólidos disueltos totales	59
5.2 Plan de mantenimiento preventivo	60
5.2.1 Planificación	61
5.2.2 Capacitación continua del personal de mantenimiento	62
5.3 Mejoras obtenidas por el sistema automático de control de sólidos disueltos totales	63
5.3.1 Evaluación del ahorro energético	63
5.3.2 Evaluación de la calidad del vapor	63
5.3.3 Evaluación de las calderas	64
CONCLUSIONES	67
RECOMENDACIONES	69
BIBLIOGRAFÍA	71

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1	Instalación de la válvula de purga actual	13
2	Gráfica de Kv para válvulas	19
3	Gráfica de rango de operación de la válvula BCV31	22
4	Partes de un actuador de diafragma	23
5	Enfriador de muestra	25
6	Esquema de instalación del sistema de purga	30
7	Resumen de los distintos modos de control y sus respuestas	32
8	Gráfica de comportamiento deseado en la concentración de agua de las calderas	34
9	Dimensiones en milímetros del controlador BC3200	35
10	Diagrama de instalación eléctrico del controlador	37
11	Partes del conductivímetro	39
12	Diagrama de calibración del controlador de TDS	42
13	Controlador BC3200	43
14	Partes de válvula de purga	46
15	Operación del sistema de control	53
16	Procedimiento de calibración del controlador de TDS	57

TABLAS

I. Cuadro resumen características de la válvula de purga	21
II. Cuadro resumen de características de válvula modelo BCV31	21
III. Características de tubería para vapor	26
IV. Dimensiones de bridas acorde a norma ANSI	28
V. Equivalencias dentro de las distintas unidades de medición de los TDS	40
VI. Descripción de los componentes de la válvula de purga	47
VII. Propiedades del vapor saturado	65

LISTA DE SÍMBOLOS

A	Caudal de agua a purgar en kg/h.
ANSI	Instituto Nacional Estadounidense de Estándares
B	Vapor producido en kg/h.
bar	Unidad de presión del sistema internacional.
barg	Presión manométrica en bar.
B/C	Razón beneficio costo
BHP	Caballos de fuerza de caldera en BHP.
C	Concentración de TDS en el agua de alimentación en ppm.
°C	Grados Celsius.
CC	Ciclos de concentración en ppm.
Cmax	Concentración máxima de TDS en ppm.
Co	Concentración de TDS del agua de alimentación en ppm.
D	Nivel máximo de concentración de TDS en ppm.
G	Densidad relativa
hf	Entalpía de líquido en KJ/kg.
Kv	Coefficiente de flujo.
mA	Mili amperios.
mho	Siemens.
NPT	Norma Estadounidense de rosca para tubería
P	Presión en bar.
POM	Presión máxima de operación en bar.
ppm	Partes por millón.
psi	Libras por pie cuadrado.
Q	Calor ó energía en KJ.
TDS	Sólidos disueltos totales en ppm.
TMO	Temperatura máxima de operación en °C.
µS/cm	Micro siemens por centímetro.
V	Caudal de agua en kg/h.

GLOSARIO

Agua de alimentación	Es la mezcla del condensado y agua de reposición; la cual se suministra a la caldera para su transformación en vapor.
Bunker	Combustible para calderas, derivado del petróleo.
Brida	Tipo de conexión para válvulas y tuberías.
Caldera	Recipiente a presión que se utiliza para calentar agua ó transformarla en vapor.
Caldera acuotubular	Configuración de caldera, en la cual el agua pasa a través de los tubos internos y los gases calientes se encuentra por lado fuera de la tubería.
Caldera piro tubular	Configuración de caldera, en la cual los gases calientes pasan a través de los tubos internos y el agua se encuentra por lado fuera de la tubería.

Calor Sensible	Adición de calor para elevar la temperatura.
Cedula	Grosor de pared de tuberías.
Coefficiente de flujo	Caudal de un fluido que pasa a través de una válvula con pérdida de presión de 1 bar.
Conductividad	Es una medida de la habilidad que tiene una solución para conducir corriente eléctrica.
Conductivimetro	Instrumento de medición que determina la conductividad de una solución por medio de dos electrodos.
Controlador	Dispositivo electrónico o mecánico que contiene el parámetro de referencia para el control de un medio determinado.
Incrustación	Solidificación de impurezas contenidas en el agua, en la tubería y paredes de las calderas.
Parámetro	Punto de referencia de una comparación de una medición.

Partes por millón	Unidad empleada usualmente para valorar la presencia de elementos en pequeñas cantidades en una mezcla.
Presión máxima de operación	Máxima presión a la cual puede trabajar una válvula o recipiente presurizado.
Purga	Limpieza de la caldera por medio de la eliminación de agua de la caldera.
Purga de superficie	Eliminación del agua de la caldera para el control de sólidos disueltos totales.
Sensor	Elemento de medición
Serpentín de vapor	Tubería en forma de espiral que transporta vapor para el calentamiento de un líquido.
Siemens	Medida del sistema internacional para la conductancia.
Sistema de vapor	Comprende todos los elementos que intervienen en la generación, distribución y utilización del vapor.

Sólidos disueltos totales	Partículas disueltas en el agua de alimentación de las calderas que no se evaporan.
Suavizador de agua	Equipo de tratamiento de agua que reduce la dureza de ésta por medio del intercambio iónico.
Temperatura máxima de operación	Máxima temperatura a la cual puede trabajar una caldera, sus accesorios ó equipos.
Válvula	Dispositivo que regula el paso de líquidos o gases en uno o varios tubos ó conductos.
Vapor	Estado gaseoso del agua.

RESUMEN

Para diseñar el sistema automático de control de sólidos disueltos totales del agua de las calderas, es necesario realizar un análisis de las condiciones del agua de alimentación y del diseño de la caldera, ya que, estas condiciones determinan las características de los diferentes elementos que componen el sistema de control. En este informe se encontrarán una serie de conceptos básicos de sistemas de control de sólidos disueltos totales que proporcionan la base para cualquier diseño de control de sólidos disueltos totales. También, se presenta el método de evaluación económica de beneficio costo en el cual se evalúa la viabilidad del proyecto.

Asimismo, se considera la implementación del sistema, en la cual se trata aspectos generales acerca de mantenimiento y procedimientos de operación, es indispensable tener esta información para poner en marcha el equipo y conocer todos los aspectos respecto al funcionamiento, mantenimiento, calibración e información técnica de este.

En la última sección se presenta la información necesaria para el control del sistema de control y la evaluación del funcionamiento del mismo. Se proporcionan ideas para realizar una mejora continua, a fin de maximizar los beneficios que da este tipo de control.

OBJETIVOS

GENERAL

Diseñar el sistema de control automático de sólidos disueltos totales del agua de las calderas por medio de estándares establecidos para la operación y mantenimiento de caldera.

ESPECÍFICOS

1. Evaluar, económicamente, el diseño del sistema automático de control de sólidos disueltos totales.
2. Dar a conocer la importancia del ahorro energético en el control de sólidos disueltos totales.
3. Facilitar información sobre el mantenimiento preventivo y correctivo del sistema de control automático de sólidos disueltos totales.
4. Definir la situación actual del control de sólidos disueltos totales en las calderas de Hospital General de Accidentes.
5. Realizar un manual de calibración del sistema de control de sólidos disueltos totales.

6. Determinar el tiempo de retorno de la inversión.
7. Definir el ahorro en combustible debido a la implementación del sistema automática de control de sólidos disueltos.

INTRODUCCIÓN

El Hospital General de Accidentes, está dedicado a la atención de accidentes de los trabajadores afiliados, brindándoles asistencia médico quirúrgica general y especializada, tratamiento de heridas leves y maternidad de emergencia.

Entre las instalaciones hospitalarias del Hospital General de Accidentes, se encuentra las calderas, las cuales generan vapor para el consumo de las áreas de lavandería, cocina y esterilización.

Un elemento importante en el funcionamiento de las calderas es el control de sólidos totales disueltos en el agua de alimentación. Es necesario realizar purgas de agua, dependiendo de la concentración de sólidos, para evitar incrustaciones en los tubos y paredes de la caldera.

El control automático de los sólidos disueltos totales, permite mantener los niveles de concentración dentro de los parámetros permitidos, sin incurrir en pérdidas energéticas innecesarias y con una baja supervisión de parte del encargado de las calderas.

La implementación de un sistema de control automático de sólidos disueltos totales, genera ahorros energéticos, los cuales se traducen en la disminución de la facturación de combustible para las calderas.

Para realizar el diseño del sistema de control automático de sólidos disueltos totales, es necesario calcular los ciclos de concentración de cada caldera y determinar, a partir de ellos, la cantidad de agua a purgar para poder diseñar los equipos acorde a las necesidades de cada una de ellas.

1. ANTECEDENTES

1.1 Historia del Hospital General de Accidentes

Para iniciar los servicios médicos hospitalarios, no contaba el IGSS con los elementos materiales necesarios. Los hospitales existentes no eran suficientes en su capacidad para dar lugar a establecer un servicio de traumatología y además no contaba con los fondos suficientes para construir un edificio que llenara las condiciones requeridas, ni con el tiempo necesario para hacerlo y por estas razones se pensó en utilizar servicios médicos privados y fue así como el IGSS por intermedio de su Gerente, firmó un convenio con el Dr. Lizardo Estrada, por medio del cual, en el lapso de un año contado de julio de 1947 a junio de 1948 en la casa de salud del mencionado médico, se ofrecería a los afiliados:

- atención para diez pacientes hospitalizados;
- servicio de enfermería;
- servicio de camareros;
- Servicio de alimentación, para completar el servicio el IGSS nombró a un médico jefe del servicio, una secretaria y un auxiliar de rayos X.

A mediados de 1948, se sintió la necesidad de ampliar los servicios médicos, el número de casos que requerían atención era cada vez mayor, por lo tanto, el IGSS tomó en alquiler el Chalet San Carlos ubicado en la calle Real de Pamplona, al costado derecho del Parque Zoológico La Aurora. Fue el 3 de junio de 1948, la fecha en que el IGSS firmó contrato con los señores Murga, propietarios de dicho chalet, por medio del cual el Instituto adquiría el derecho de realizar las mejoras necesarias para el acondicionamiento de los servicios.

El 18 de julio de 1948, se inauguró el nuevo local con el nombre de “Centro Hospitalario N0. 1 del IGSS”, tenía capacidad para 20 camas y contaba con el siguiente personal.

a) Personal técnico:

- Un médico Director
- Un médico sub-director y cirujano general a la vez
- Tres médicos internos
- Un radiólogo
- Ocho enfermeros
- Un técnico de rayos X
- Un visitador social

b) Personal administrativo

- Una secretaria
- Una ecónomo
- Un mensajero
- Una lavandera
- Una costurera
- Una aplanchadora
- Dos camareros
- Dos cocineras
- Una ayudante de cocina
- Un jardinero

En total 28 miembros de personal, entre los cuales claro está y para los objetivos que pretende este trabajo, desde su fundación contaron con personal calificado tanto de enfermería como de servicio social.

El 31 de diciembre de 1948, el IGSS adquirió en propiedad el Chalet San Carlos. En octubre de 1949, se inauguraron nuevas salas, aumentando la capacidad del centro a 120 camas, con este aumento se logró cubrir un porcentaje mayor de pacientes de traumatología.

Actualmente, el hospital general de accidentes del Instituto Guatemalteco de Seguridad Social (IGSS), se encuentra ubicado en la zona 4 de Mixco, colonia Monte Real, en el cual se brinda tratamiento integral tanto a afiliados como beneficiarios en el caso de lesiones de origen accidental. La unidad cuenta con los servicios de consulta externa, hospitalización y atención de emergencias. En el área de consulta externa se atienden a más de cien mil pacientes anuales en los diferentes servicios, con un promedio de 422 pacientes diarios; asimismo se les presta atención médica de emergencia a 127 derechohabientes en promedio, cada día del año. Los servicios de la consulta externa son los siguientes: cirugías general, de mano, oral y maxilofacial, plástica, así como neurocirugía, oftalmología, otorrinolaringología, urología, ortopedia, pediatría, especialidad de columna, medicina interna, medicina física y clínica dental.

El hospital general de accidentes constituye una unidad de referencia que atiende pacientes de todas las unidades del área metropolitana y de los distintos departamentos de la república. Actualmente es uno de los centros de salud con mayor capacidad en Guatemala.

1.2 Instalaciones

1.2.1 Sala de Calderas

En todos los hospitales modernos la sala de calderas es el corazón de todo el sistema de vapor. Si la sala de calderas presenta problemas, todo el sistema de vapor los presentará. El vapor generado en las calderas, es utilizado en los hospitales con varios propósitos, como los son, cocción de alimentos, lavandería, esterilización, calentamiento de agua, calefacción, entre otras aplicaciones.

Una caldera consiste esencialmente en un recipiente que contiene agua que se transforma en vapor por la aplicación de calor. Para llevar a la práctica esta función básica, los diseñadores han concebido innumerables configuraciones y variaciones; las dos variaciones esenciales son calderas pirotubulares y las calderas acuotubulares. Las calderas pirotubulares, pasa los gases de combustión a través de una serie de tubos, los cuales están sumergidos dentro del agua de la caldera y actúan como el medio de transferencia de calor. El diseño de las calderas acuotubulares es lo contrario al de las pirotubulares, ya que el agua pasa a través de los tubos y los gases de combustión se encuentran fuera de éstos.

En los hospitales, se utiliza comúnmente calderas pirotubulares, debido a su diseño compacto, costo bajo en comparación a las calderas acuotubulares y flexibilidad para adaptarse rápidamente a cambios en la demanda de vapor. Las calderas pirotubulares; necesitan controlar ciertos aspectos, como el nivel de agua, presión de operación, niveles de concentración de los sólidos disueltos totales ó TDS por sus siglas en inglés y control de combustión. Estos controles se realizan por medio de elementos manuales o automatizados.

Otros elementos que forman parte de la sala de calderas son, los tanques de agua de alimentación de la caldera, tanques de bunker, precalentadores de bunker y distribuidores de vapor. Estos elementos son de suma importancia para el óptimo funcionamiento de la caldera.

1.3 Control de sólidos disueltos totales del agua de calderas

Cuando las calderas generan vapor, cualquier impureza que se encuentre en el agua de alimentación y que no se evapore se concentrará en el agua de la caldera. Estas impurezas son conocidas como sólidos disueltos totales (TDS).

Una concentración elevada de TDS produce burbujas espesas en la superficie del agua en ebullición dentro de la caldera, debido a que éstas son más espesas que las normales, el nivel de agua de la caldera aumenta y provoca arrastre de las burbujas al sistema, lo cual genera que el vapor sea húmedo. Este aumento del nivel de agua, se debe a que el espacio del vapor en la caldera se va llenado de burbujas.

Un nivel elevado de TDS en el agua de la caldera, genera incrustaciones no solo dentro de la caldera, sino en las válvulas, intercambiadores de calor, marmitas y trampas de vapor, debido a los arrastres de agua al sistema de vapor.

La concentración de los TDS debe estar dentro de límites aceptables dados por el fabricante de las calderas, que eviten que estos lleguen afectar tanto los equipos como la calidad del vapor. El control de la concentración de los TDS, se realiza por medio de la purga de agua de la caldera. La cantidad de agua a purgar se determina en base a la cantidad de TDS en el agua de alimentación

de las calderas y la cantidad de vapor que las calderas producen. Los TDS pueden ser expresados en diferentes unidades, las más comunes son ppm y $\mu\text{S}/\text{cm}$.

1.3.1 Sistema de control manual de sólidos disueltos totales

Los TDS se controlan por medio de la purga de superficie ó de columna como también se le conoce. Este control consiste en purgar un determinado caudal de agua de la caldera, de manera ininterrumpida, por medio de una válvula de bola o de aguja. Está válvula se abre en cierto porcentaje para permitir que fluya el caudal deseado.

La cantidad de agua a purgar se determina por la siguiente fórmula:

$$A = \frac{CB}{D - C}$$

donde:

A= caudal de agua a purgar

C = ppm de SDT en el agua de alimentación

B = Vapor producido kg/h

D = Nivel máximo de concentración de TDS en el agua de la caldera ppm

Para determinar la concentración de TDS, es necesario conocer la conductividad del agua, la conductividad puede ser medida por medio de un conductivímetro, el cual, por medio de dos electrodos, la mide y registra, para determinar el flujo del vapor puede utilizarse un flujómetro, el cual, independientemente de principio de operación, registra la cantidad de flujo de vapor que pasa a través de el, en un determinado tiempo.

Para determinar el porcentaje de apertura de la válvula de purga, se debe conocer el flujo de la válvula a determinadas presiones de operación y la cantidad de flujo a distintos porcentajes de apertura. El coeficiente de flujo ó Kv, es el que determina que cantidad de flujo pasa a través de la válvula, a una determinada presión diferencial.

Existen dos problemas en el procedimiento de control manual de TDS:

- Purgar menos de lo necesario, lo cual genera un aumento por encima de los límites de control de TDS. Esto genera arrastre de agua e incrustaciones en el sistema de vapor.
- Purgar más de lo necesario, la cantidad de purga de agua excede lo necesario para mantener dentro de los límites los TDS dados por el fabricante, con lo cual un desperdicio de energía ocurre.

1.3.2 Sistema de control automático de sólidos disueltos totales

Este sistema mide la conductividad del agua de la caldera, y la compara con un parámetro; el parámetro esta dado por la máxima concentración de TDS que recomienda el fabricante de las calderas. Una válvula de control de purga abre si la concentración de TDS es muy alta. El sistema de control automático censa la conductividad del agua de la caldera cada 2 segundos, lo que representaría en el sistema manual realizar un análisis de conductividad, calcular nuevamente la cantidad de purga necesaria y recalibrar la apertura de la válvula cada 2 segundos.

La medición de la conductividad se hace por medio de un conductivímetro, el cual se encuentra instalado dentro de la caldera, este es un sensor de

Conductividad, el cual transforma la conductividad en una señal de 4 a 20 mA, esta señal la envía a un controlador, en el cual está programado el parámetro deseado de concentración de los TDS. Si el nivel de concentración de los TDS sobrepasa el parámetro, el controlador envía una señal al actuador eléctrico de la válvula, el cual modula la apertura de la válvula según sea necesario.

Los beneficios de un control automático de TDS son:

- Automatización de la purga continua de la caldera, se eliminan los errores humanos, ya que monitorea las condiciones del agua de la caldera cada dos segundos.
- Un control más preciso de la concentración de TDS en el agua de la caldera.
- Ahorro energético.

2. SITUACIÓN ACTUAL

2.1 Calderas

El Hospital General de Accidentes cuenta con dos calderas pirotubulares marca Kewanne, con un diseño de 350 BHP y un flujo nominal de vapor de 6,350.30 Kg/h. La presión máxima de operación de estas calderas es de 10.3 bar, la presión de trabajo de las calderas es de 8.5 bar y el tipo de combustible que utilizan es Fuel Oil No. 6, conocido comúnmente como bunker.

Se utiliza una caldera para la demanda de vapor de las diferentes instalaciones y otra caldera se tiene en reserva en caso falle la caldera principal o se le esté dando mantenimiento.

2.1.1 Instalación de las calderas

Las dos calderas se encuentran instaladas en la misma sala, cuentan con cimientos de concreto en la base de las mismas, comparten un tanque de bunker. El tanque de bunker cuenta con un serpentín de vapor, el cual mantiene a una temperatura adecuada para que la viscosidad del bunker sea óptima para su bombeo hacia el sistema de combustión de la caldera.

Las calderas cuentan con precalentadores de bunker, estos precalentadores de bunker son intercambiadores de calor de concha y tubo, que utilizan vapor para llevar al bunker a una temperatura de 90 °C, esta temperatura es necesaria para realizar la combustión en el quemador. Estas calderas también cuentan con resistencias eléctricas para tal fin. Los precalentadores de bunker

tienen instaladas trampas termodinámicas de ½ pulgada para drenar el condensado, el cual va directamente al tanque de agua de alimentación.

Para controlar el nivel máximo y mínimo del agua de la caldera, se utilizan controles electromecánicos McDonnell & Millar. Estos controladores utilizan un flote como sensor de nivel; este flote acciona un mecanismo el cual controla la bomba de alimentación de agua de la caldera. Cuando el nivel de agua llega a su mínimo el control envía una señal de encender la bomba y cuando el nivel llega a su máximo una señal de apagado.

Las dos calderas comparten un tanque de agua de alimentación en el cual se mezcla agua de reposición con el condensado proveniente de los distintos equipos que utilizan vapor. Este tanque tiene una capacidad de 3,473.74 galones. La tubería de agua de alimentación es de 2 pulgada y cuenta con una válvula de cierre tipo compuerta y dos válvulas de retención, estas válvulas son del mismo diámetro que la tubería.

La presión de la caldera está regulada por un controlador de presión, el cual enciende y apaga el quemador según la variación de la presión. Cuando la caldera llega a la presión deseada el quemador se apaga y cuando la presión baja el quemador enciende. Para una mayor seguridad las calderas tienen instaladas válvulas de seguridad, que descargan a una presión de 11 bar.

Existe un sistema de tratamiento del agua de reposición de la caldera, por medio de suavizadores de agua (NaCl), instalados en la sala de calderas. El propósito del suavizador es reducir la dureza del agua, por medio del intercambio iónico. Para realizar este intercambio iónico, se utiliza resina y una salmuera para regeneración de este material.

El vapor generado en las calderas se distribuye a las distintas áreas por medio de un distribuidor de vapor de 6 pulgadas de diámetro. El diagrama de instalación de la caldera esta representado en la Figura 1.

2.2 Sistema de control de sólidos disueltos totales

El control de TDS en el agua de las calderas se realiza para evitar incrustaciones en la tubería y paredes de la caldera, además, el buen control de los sólidos disueltos totales contribuye a tener una buena calidad de vapor y niveles estables en el agua de las calderas, con lo cual se evitan arrastres de agua al sistema de distribución.

2.2.1 Equipo para el control de sólidos disueltos totales

El control de la concentración de TDS en el agua de las calderas se realiza por medio de la purga de superficie. Para realizar la purga de superficie, una válvula de bola de $\frac{3}{4}$ pulgada se emplea para permitir un flujo continuo pero controlado del agua.

El cálculo de la cantidad de agua a purgar se realiza en base a los análisis de conductividad que se realizan semanalmente al agua de las calderas. La concentración de TDS en el agua de las calderas se mantiene en un promedio de 1100 ppm, el máximo admisible es para este tipo de calderas es de 2,500 ppm, el agua de alimentación de las calderas tiene un promedio de 110 ppm. La cantidad de agua purgada y la perdida de energía se calculan de la siguiente manera:

Con una generación de vapor de 6,350.29 Kg/h, se purga la siguiente cantidad de agua para mantener el promedio actual de TDS,

$$A = \frac{CB}{D - C}$$

$$A = \frac{110 \text{ ppm} * 6,350 \text{ kg} / \text{h}}{1100 - 110} = 705.59 \text{ Kg} / \text{h}$$

La cantidad de agua que se purga por hora es de 705.59 Kg, toda esta agua tiene una cantidad de energía de 753 KJ/kg, equivalente al calor sensible del agua a una presión de 8.5 bar. La cantidad total de energía que actualmente se pierde es de:

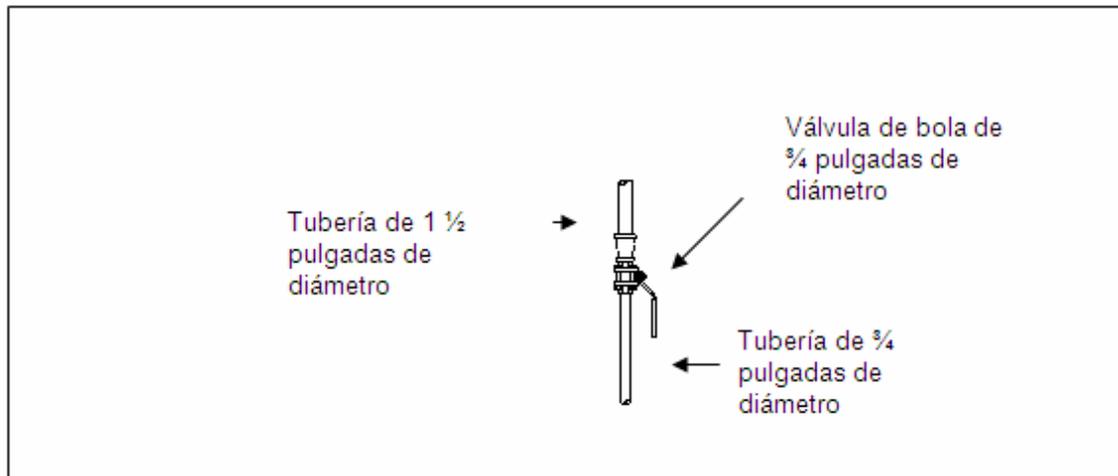
$$\frac{705.59 \text{ Kg} / \text{h} * 753 \text{ KJ} / \text{Kg}}{3,600 \text{ segundos} / \text{h}} = 147.59 \text{ KW}$$

2.2.2 Instalación del sistema de control de sólidos disueltos totales

La purga de superficie, se encuentra instalada en la parte lateral derecha de la caldera, en una de las tomas con conexión de 1 ½ pulgadas de diámetro, en esta toma se encuentra instala una válvula de bola de ¾ pulgada, esta es la válvula de purga continua. La tubería de conexión es de acero al carbón cedula 40 de 1 ½ pulgadas a la salida de la caldera y tiene instalado un reductor de campana en la conexión con la válvula de bola de ¾ pulgada, la tubería luego de la válvula de bola es de ¾ pulgada hasta el drenaje.

Para la toma de muestras de agua de la caldera, están instaladas, en la parte inferior de los controles de nivel de la caldera, válvulas de bola de 1" de diámetro.

Figura 1. Instalación de la válvula de purga actual



2.3 Procedimiento para el control de sólidos disueltos totales

Para el control de TDS, se realizan purga continua de la caldera durante su operación. La válvula de bola de 3/4 pulgada de la purga de superficie se abre aproximadamente un 25%, y permanecen abiertas durante toda la operación de la caldera.

Se toma una muestra de agua cada semana para realizar un análisis de concentración de TDS, estas muestras se toman de las válvulas de bola instaladas en los controles de nivel y se hace la medición de conductividad, este resultado se compara con el máximo nivel de TDS estipulado por el fabricante de las calderas, en este caso es de 2,500 ppm.

La efectividad del control de los TDS se verifica en el mantenimiento de la caldera, dado que si los tubos de gases calientes del lado del agua se encuentran incrustados, el procedimiento y control de los TDS no se ha efectuado correctamente. Así también en los análisis semanales se comprueba que el nivel de TDS no exceda el límite recomendado por el fabricante.

3. DISEÑO DEL SISTEMA AUTOMÁTICO DE CONTROL DE SÓLIDOS DISUELTOS

3.1 Cálculo de la cantidad de agua a purgar

3.1.1 Ciclos de concertación de agua a purgar

El incremento en los niveles de TDS dentro de la caldera es conocido como ciclos de concentración. En calderas de baja presión los límites de concentración de los TDS deben estar a un máximo de 2500 ppm. Para calcular los ciclos de concentración de TDS, se divide el máximo de concentración de TDS en el agua de la caldera en ppm, entre la cantidad de TDS en ppm en el agua de alimentación. La siguiente fórmula es para calcular los ciclos de concentración tanto de los TDS como de la alcalinidad:

$$CC = \frac{C_{m\acute{a}x.}}{C_o}$$

donde:

CC = ciclos de concentración

C máx. = concertación máxima permitida en el agua de caldera [ppm]

Co = concentración en el agua de alimentación [ppm]

Cálculo de los ciclos de concertación de los TDS:

Concentración de TDS en el agua de alimentación: 110 ppm

Concentración máxima en el agua de la caldera: 2,500 ppm

$$CC = \frac{2,500}{110} = 22.72 \approx 23 \text{ ciclos}$$

La cantidad máxima de ciclos de concentración de TDS admisible en el agua de las calderas es de 23 ciclos.

3.1.2 Cantidad de agua a purgar

Para calcular la cantidad de purga, se necesita saber, la máxima concentración de TDS en partes por millón del agua de la caldera, la cantidad de TDS en partes por millón del agua de alimentación y la cantidad de vapor generada por la caldera. La concentración de TDS se obtiene por medio de un análisis de concentración; el análisis de concentración se basa en la conductividad del agua. Con el control automático de purga se logra tener la concentración de TDS a su límite máximo, lo cual genera una disminución de la cantidad de agua a purgar. La siguiente fórmula es para el cálculo de la cantidad de agua a purgar:

$$A = \frac{CB}{D - C}$$

Cálculo de la cantidad de agua a purgar para controlar la concentración de TDS en el agua de la caldera, con un máximo nivel de TDS de 2,500 ppm, una concentración de TDS en el agua de alimentación de 110 ppm y una producción de 6,350Kg/h.

$$A = \frac{110 \text{ ppm} * 6350 \text{ Kg} / \text{h}}{2,500 \text{ ppm} - 110 \text{ ppm}} = 292.26 \text{ Kg} / \text{h}$$

La cantidad de agua que se necesita purgar con un sistema automático de control de TDS es de 292.26 Kg/h. Toda esta agua tiene una cantidad de energía de 753 KJ/kg, equivalente al calor sensible del agua a una presión de 8.5 bar. Para calcular la cantidad de energía que se pierde al purgar el agua de la caldera, se utiliza la siguiente fórmula:

$$Q = \frac{P + hf}{3600} \text{ donde}$$

Q = Pérdida de energía en KW

P = Cantidad de purga en Kg/h

hf= Entalpía de líquido a la presión de la caldera

3600 = conversión de horas a segundos

La pérdida de energía nos da un resultado de:

$$\frac{292.26 \text{Kg} / h * 753 \text{KJ} / \text{Kg}}{3,600 \text{segundos} / h} = 61.13 \text{KW}$$

En el funcionamiento del sistema automático de purga se pierde 61.13 KW de energía.

3.2 Diseño del sistema de purga

3.2.1 Válvulas de purga

La válvula de purga debe permitir el flujo del caudal requerido de agua de la caldera para poder controlar la concentración de TDS. La válvula debe permitir el ajuste del caudal de purga deseada mediante un actuador eléctrico,

neumático ó volante manual. También debe contar con un indicador de carrera, el cual indique el porcentaje de apertura de la válvula. El diseño de la válvula debe ser de 3 vías para que una toma de muestras pueda ser instalada sin necesidad de purgar.

La capacidad de la válvula debe ser por lo menos igual a la cantidad de la purga deseada. La característica de la válvula que nos indica la capacidad de ésta, se denomina coeficiente de flujo, en el sistema métrico el coeficiente de flujo está en términos de pies cúbicos por hora del flujo a una presión diferencial de 1barg. A este coeficiente de flujo se le denomina Kv. Para calcular el Kv se debe utilizar la siguiente fórmula:

$$Kv = \dot{V} \sqrt{\frac{G}{\Delta P}}$$

donde

Kv = coeficiente de flujo

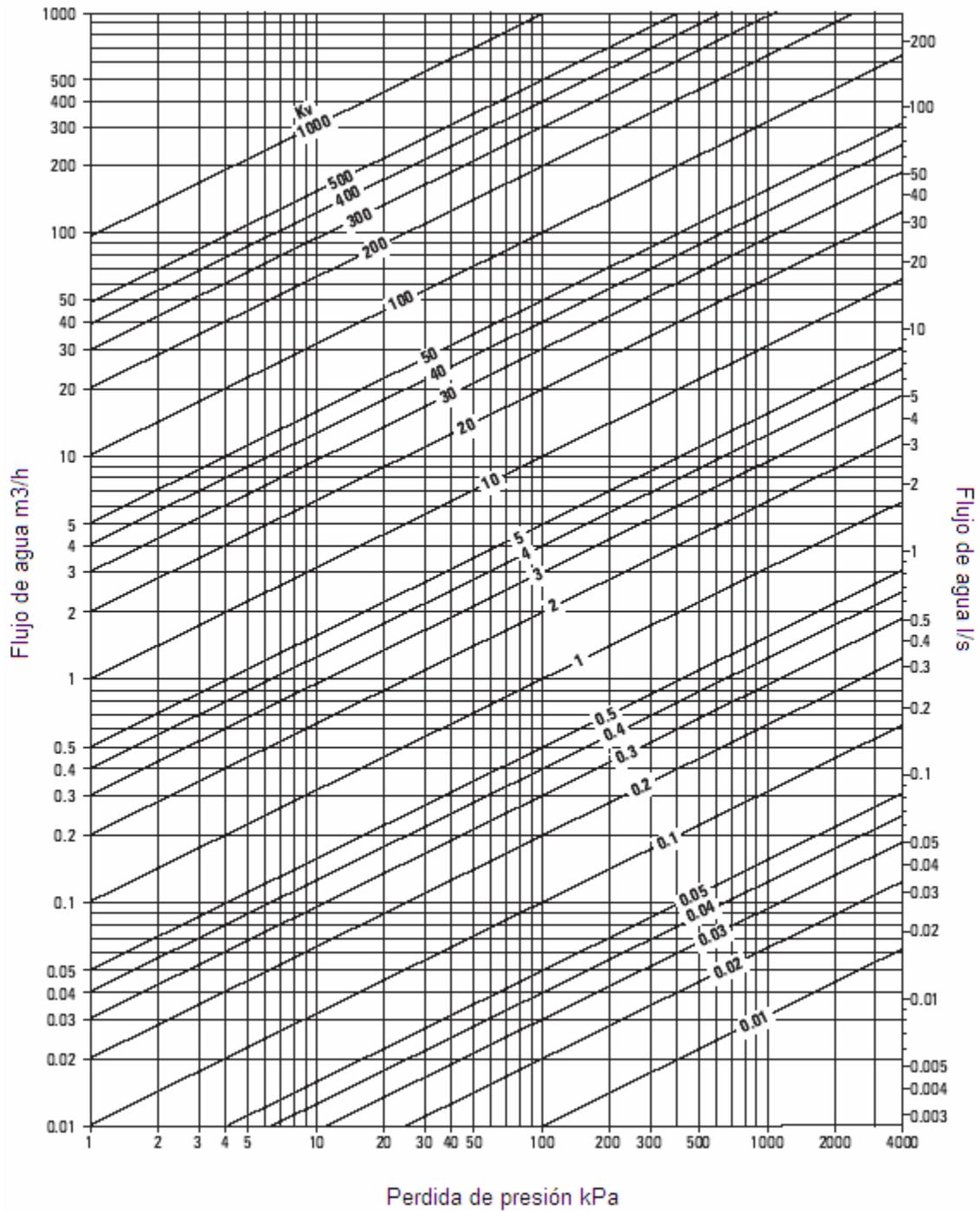
\dot{V} = Caudal de agua (m³/h)

G = Densidad relativa del liquido

ΔP = Pérdida de presión en (barg) , la pérdida de presión a través de una válvula de control se estima del 25% de la presión aguas arriba de la válvula.

El valor de Kv también se puede encontrar en la gráfica de la Figura 2, al igual que en la formula se deben conocer los datos de caudal y la pérdida de presión.

Figura 2. Gráfica de Kv para válvulas



Fuente. Spirax Sarco. Product Manual. Estados Unidos 2000, pág 101

Se necesita que un caudal de agua de 292.26 Kg/h, a una presión de 8.5 barg y una temperatura de 178°C, sea purgado de la caldera a través de la válvula de control, la cual descargará a una presión de 0 barg, para poder calcular el Kv de la válvula se deben realizar algunos cálculos previos, como lo es convertir el caudal de agua de Kg/h a m³/h y calcular la pérdida de presión en la válvula.

Cálculo para pasar de Kg/h a m³/h el caudal de agua:

densidad del agua a 178°C: 889.44 Kg/m³

$$\dot{V} = 292.26 \text{ Kg/h} / 889.44 \text{ Kg/m}^3 = 0.3286 \text{ m}^3/\text{h}$$

Cálculo para determinar la pérdida de presión a través de la válvula:

$$\Delta P = 8.5 \text{ barg} * 0.25 = 2.125 \text{ barg}$$

Cálculo para determinar el Kv de la válvula

Densidad relativa del agua = 1

$$Kv = \dot{V} \sqrt{\frac{G}{\Delta P}}$$

$$Kv = 0.3286 \text{ m}^3 / \text{h} \sqrt{\frac{1}{2.125 \text{ barg}}} = 0.2254$$

La válvula debe tener un Kv de por lo menos 0.23, una válvula de ¾ pulgada cumple con este requerimiento. Otros requerimientos de la válvula deben ser, que ésta esté diseñada para una presión superior a 11 barg y una temperatura

de 188°C. En la Tabla I se muestra el resumen de las características de la válvula.

Tabla I. Cuadro resumen, características de la válvula de purga

Característica	Dato
Kv	0.2254 m ³ /h
PMO	11 barg
TMO	188°C

La válvula de control modelo BCV31, con conexión de ¾ pulgada, cumple con las características de la válvula requerida, el resumen de estas características se presenta en la Tabla II. En la Figura No. 3 se presenta la gráfica de rango de operación de la válvula de purga BCV 31.

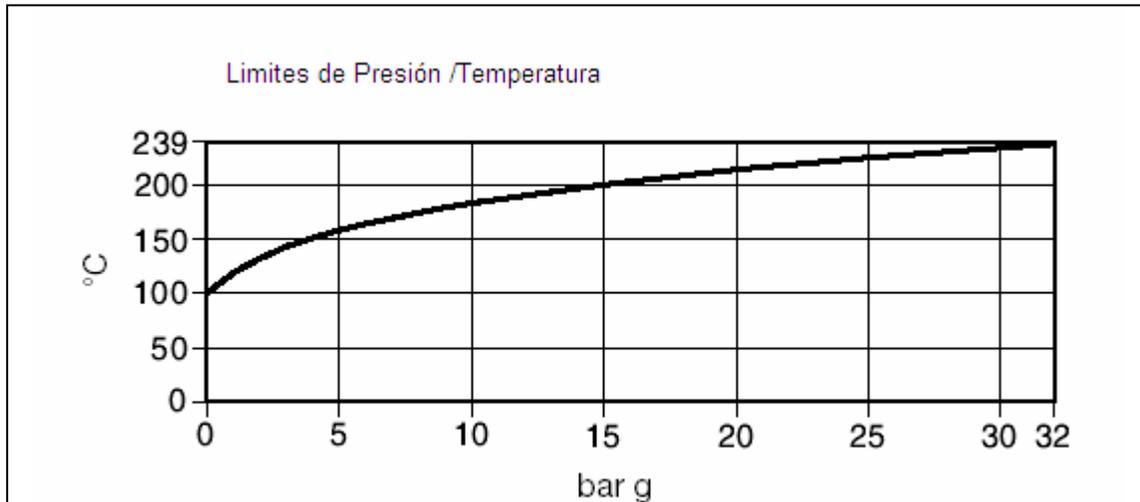
Tabla II. Cuadro resumen de características de válvula modelo BCV31

Característica	Dato
Kv	1
PMO	32 barg
TMO	239°C

Fuente: Spirax Sarco. Product Manual. Estados Unidos. 2000, pag 44.

La válvula de control modelo BCV31 tiene un diseño del cuerpo de la válvula de tres vías, lo cual permite que se pueda tomar muestras del agua de la caldera, sin tener que purgar.

Figura 3. Gráfica de rango de operación de la válvula BCV31



Fuente: Spirax Sarco. Product Manual. Estado Unidos 2000, pág. 44.

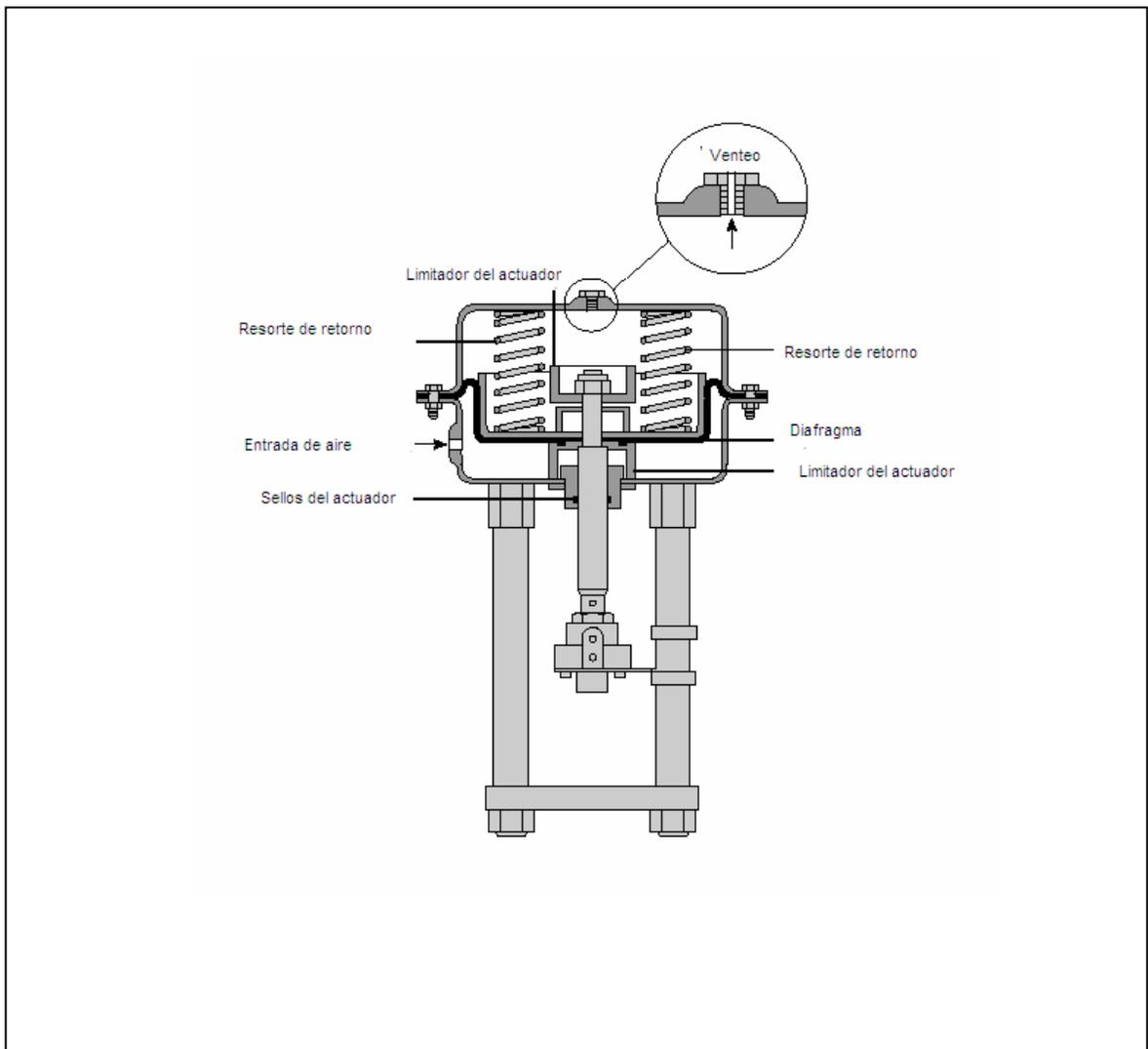
3.2.2 Actuadores neumáticos

Los actuadores neumáticos son comúnmente utilizados para accionar válvulas de control, existen dos clases de pistón y de diafragma. El actuador recibe la señal del posicionador de la válvula, el cual, dependiendo de la señal del controlador, envía una señal neumática para abrir o cerrar la válvula en cierto porcentaje.

En el caso de la válvula BCV31, el actuador neumático es del tipo diafragma. A actuadores de diafragma, se le aplica el aire comprimido sobre una membrana flexible, la cual se le conoce como diafragma. Este tipo de actuadores son del tipo de acción simple, ya que el aire solo se aplica de un lado del diafragma para vencer la presión ejercida por los resortes de retorno. El actuador de la válvula BCV31 es normalmente cerrado, lo cual significa que el actuador abrirá la válvula con aire comprimido y en la ausencia de éste se

cerrará. En la Figura 4. se muestra los componentes del actuador neumático de diafragma.

Figura 4. Partes de un actuador de diafragma



Fuente: Spirax Sarco. Design of fluid systems: steam utilization. Estados Unidos. 1981

3.2.3 Enfriador de muestra

Cuando se toma la muestra de agua de la caldera para ser analizada, es importante asegurarse que la muestra sea representativa. No es aconsejable tomar la muestra del medidor de nivel o cualquier otro control externo; el agua en estos controles es relativamente pura debido a que existe una continua condensación del vapor en el interior de las cámaras de estos controles, es por ello que las muestras tomadas de estos puntos pueden dar falsas lecturas. La toma de la muestra debe realizarse en la conexión que las calderas tienen para ese propósito.

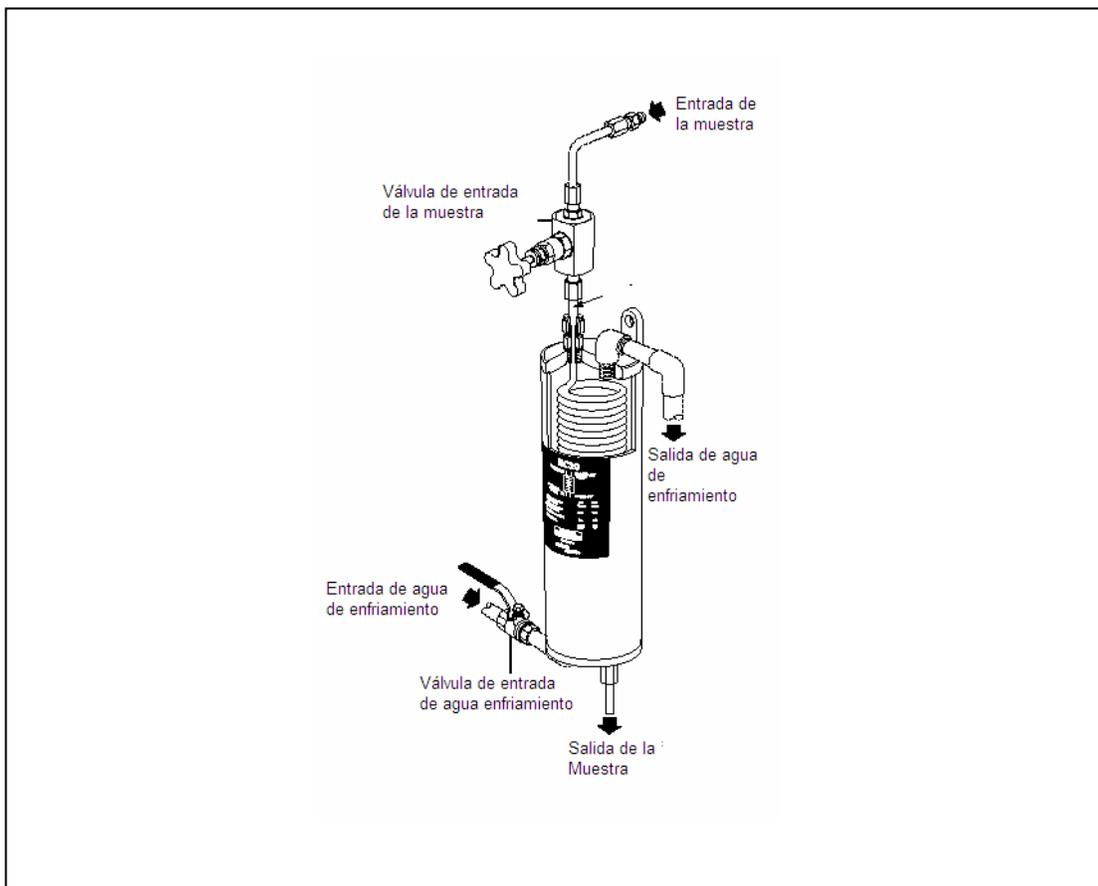
Si la muestra se toma simplemente de la caldera, una porción de esta agua se revaporizará debido a que se encuentra a una mayor temperatura que la temperatura de ebullición del agua a presión atmosférica. Esto no solo es peligroso para el operador, si no que el análisis mostrará lecturas erróneas, debido a que en el análisis la muestra de agua estará más concentrada que el agua de la caldera debido a la porción revaporizada.

La temperatura del agua de muestra para realizar el análisis de conductividad, debe estar a una temperatura de 25°C, sin haber presentado ningún porcentaje de revaporización. A una temperatura de 25°C, no existirá revaporización a presión atmosférica. Es por ello que un enfriador de muestra es necesario para el análisis, un enfriador de muestra también ahorrará tiempo y permitirá que los análisis se realicen más frecuentemente.

Un enfriador de muestra es un pequeño intercambiador de calor, el cual cuenta con un serpentín en forma de espiral, en el que pasa agua de enfriamiento. La temperatura del agua de enfriamiento debe ser 4°C menor que la temperatura deseada en la muestra. Como la temperatura deseada en la

muestra es de 25°C la temperatura del agua de enfriamiento debe ser de 21°C o menor. El enfriador de muestra se representa en la Figura 5, en la cual se indican las partes de este.

Figura 5. Enfriador de muestra



Fuente: Spirax Sarco. Product Manual. Estado Unidos 2000. pág.52

3.2.4 Tubería

La tubería que se utilice para la instalación del sistema de purga debe cumplir con las especificaciones de la norma ASTM A234 de la American

Society for Testing and Materials, referente a tuberías de acero al carbón. En esta norma se especifican las dimensiones y el tipo de material de las tuberías para sistemas de vapor que utilicen presiones hasta 270 psi (18.7 bar). En la Tabla III se muestran las características de los diferentes diámetros de tubería, en la cual se indican las dimensiones internas y externas.

Tabla III. Características de tubería para vapor

Tamaño de tubería (in.)	Diámetro exterior (in.)	Peso	Acero al carbon cedula	Acero inoxidable cedula	Grosor de pared (in.)	Diámetro interior (in.)	Circum. (Ext.) (in.)	Circum. (Int.) (in.)	Area de flujo (sq. in.)	Peso de la tubería (lbs/Ft.)	Peso de agua (lbs/Ft.)	Galones de agua per Ft.	Sección	Tamaño de tubería (in.)
1/8	.405	—	—	10S	.049	.307	1.27	.96	.074	.19	.032	.004	.00437	1/8
		STD	40	40S	.068	.269	.85	.057	.24	.025	.003	.00523		
		XS	80	80S	.095	.215	.68	.036	.31	.016	.002	.00602		
1/4	.540	—	—	10S	.065	.410	1.70	1.29	.132	.33	.057	.007	.01032	1/4
		STD	40	40S	.088	.364	1.14	.104	.42	.045	.005	.01227		
		XS	80	80S	.119	.302	.95	.072	.54	.031	.004	.01395		
3/8	.675	—	—	10S	.065	.545	2.12	1.71	.233	.42	.101	.012	.01736	3/8
		STD	40	40S	.091	.493	1.55	.191	.57	.083	.010	.0216		
		XS	80	80S	.126	.423	1.33	.141	.74	.061	.007	.0255		
1/2	.840	—	—	5S	.065	.710	2.64	2.23	.396	.54	.172	.021	.0285	1/2
		—	—	10S	.083	.674	2.12	.357	.67	.155	.019	.0341		
		STD	40	40S	.109	.622	1.95	.304	.85	.132	.016	.0407		
3/4	1.050	—	—	80S	.147	.546	3.30	2.78	.614	.86	.266	.032	.0566	3/4
		STD	40	40S	.113	.824	2.59	.533	1.13	.231	.028	.0706		
		XS	80	80S	.154	.742	2.33	.433	1.47	.188	.022	.0853		
1	1.315	—	—	160	.219	.612	4.13	3.30	.864	1.68	.375	.045	.1328	1
		—	—	XXS	.294	.252	1.46	.171	1.31	.074	.009	.0527		
		—	—	5S	.065	1.185	3.72	1.103	.87	.478	.057	.0760		
1 1/4	1.660	—	—	10S	.109	1.097	5.22	4.81	1.839	1.11	.797	.096	.1250	1 1/4
		STD	40	40S	.140	1.380	4.34	1.495	2.27	.649	.078	.2346		
		XS	80	80S	.191	1.278	4.02	1.283	3.00	.555	.067	.2913		
1 1/2	1.900	—	—	160	.250	1.160	5.97	3.64	1.057	3.76	.458	.055	.3421	1 1/2
		—	—	XXS	.382	.896	2.81	.630	5.21	.273	.033	.4110		
		—	—	5S	.065	1.770	5.56	2.461	1.28	1.066	.128	.1662		
2	2.375	—	—	10S	.109	1.682	7.46	5.28	2.222	2.09	.963	.115	.2598	2
		STD	40	40S	.145	1.610	5.06	2.036	2.72	.882	.106	.3262		
		XS	80	80S	.200	1.500	4.71	1.767	3.63	.765	.092	.4118		
2 1/2	2.875	—	—	160	.281	1.338	9.03	4.20	1.406	4.86	.608	.073	.5078	2 1/2
		—	—	XXS	.400	1.100	3.46	.950	6.41	.420	.049	.5977		
		—	—	5S	.065	2.245	7.05	3.958	1.61	1.72	.206	.2652		
3	3.540	—	—	10S	.109	2.157	11.03	6.78	3.654	2.64	1.58	.190	.4204	3
		STD	40	40S	.154	2.067	6.49	3.355	3.65	1.45	.174	.5606		
		XS	80	80S	.218	1.939	6.09	2.953	5.02	1.28	.153	.7309		
3 1/2	4.315	—	—	160	.344	1.687	13.03	5.30	2.241	7.46	.97	.116	.9790	3 1/2
		—	—	XXS	.436	1.503	4.72	1.774	9.03	.77	.092	1.1040		
		—	—	5S	.083	2.709	8.51	5.764	2.48	2.50	.299	.4939		
4	5.310	—	—	10S	.120	2.635	16.03	8.28	5.453	3.53	2.36	.283	.6868	4
		STD	40	40S	.203	2.469	7.76	4.788	5.79	2.07	.249	1.064		
		XS	80	80S	.276	2.323	7.30	4.238	7.66	1.87	.220	1.339		
4 1/2	6.315	—	—	160	.375	2.125	19.03	6.68	3.546	10.01	1.54	.184	1.638	4 1/2
		—	—	XXS	.552	1.771	5.56	2.464	13.69	1.07	.128	1.997		
		—	—	5S	.065	3.175	10.51	6.913	3.11	3.11	.311	.911		

Fuente: Spence. Steam trap and specialties designer's guide. 2a edición. Estados Unidos 2004. pág V.7.

3.2.5 Instalación del sistema de purga

Ésta debe ser realizada por personal calificado y capacitado en normas de seguridad para trabajos con recipientes presurizados. La instalación debe realizarse con sumo cuidado de no dejar puntos de posibles fugas, ya que una fuga en cualquier parte de la nueva instalación puede ocasionar daños a los operarios y daños a la caldera.

Para la instalación de tubería donde se deba utilizar juntas roscadas, se debe aplicar previamente un sellante de teflón para garantizar que las juntas queden herméticamente selladas. Se debe eliminar toda la rebaba interior que usualmente se forma al momento de hacer las roscas. Las roscas deben ser acorde a la norma NPT. En los tramos de tubería donde sea necesario reducir el diámetro, se deben utilizar reductores de campana, cuyo material debe ser acero al carbón. Para cambios de dirección de tubería se deben emplear codos de 90° del mismo material.

En la instalación de la válvula de purga se deben usar bridas acorde a la norma ANSI, en la junta de la brida de la válvula de purga con la brida de conexión de la tubería no se deben usar ninguna clase de sellante, debido a que la unión entre las dos bridas garantiza un sello hermético y cualquier sobrante de sellante puede interferir con el desempeño de la válvula. Las dimensiones de las bridas acorde a la norma ANSI se especifican en la Tabla IV. Se deben colocar soportes para prevenir que el peso de la válvula pueda ocasionar una desnivelación de la tubería provocado por el peso de ésta, asimismo para prevenir la vibración de la válvula provocado por el funcionamiento

de la caldera. Es importante revisar que la válvula sea instalada en la dirección correcta al flujo.

Tabla IV. Dimensiones de bridas acorde a norma ANSI

150 lb. ACERO ANSI B16.5

Pipe Size	1/2	3/4	1	1 1/4	1 1/2	2	2 1/2	3	3 1/2	4	5	6	8	10	12
Diametro de la brida	-	-	4	4 7/8	5	6	7	7 1/2	8 1/2	9	10	11	13 1/2	16	19
Grosor de la brida (min)	e	-	7/16	1/2	9/16	5/8	11/16	3/4	13/16	15/16	15/16	1	1 1/8	1 3/16	1 1/4
Diametro de elevación de la cara.	-	-	2	2 1/2	2 7/8	3 5/8	4 1/8	5	5 1/2	6 3/16	7 5/16	8 1/2	10 9/8	12 3/4	15
Diametro de los orificios	-	-	3 1/8	3 1/2	3 7/8	4 3/4	5 1/2	6	7	7 1/2	8 1/2	9 1/2	11 3/4	14 1/4	17
Numero de orificios	-	-	4	4	4	4	4	4	8	8	8	8	8	12	12
Diametro de los pernos	-	-	1/2	1/2	1/2	5/8	5/8	5/8	5/8	3/4	3/4	3/4	3/4	7/8	7/8

¹ 150 lb. bridas de acero tienen 1/16" de elevación de la cara la cual se incluye en la medida del grosor de la brida

300 lb. ACERO ANSI B16.5

Pipe Size	1/2	3/4	1	1 1/4	1 1/2	2	2 1/2	3	3 1/2	4	5	6	8	10	12
Diametro de la brida	-	-	4 7/8	5 1/4	6 1/8	6 1/2	7 1/2	8 1/4	9	10	11	12 1/2	15	17 1/2	20 1/2
Grosor de la brida (min)	f	-	1 1/16	3/4	13/16	7/8	1	1 1/8	1 9/16	1 1/4	1 3/8	1 7/16	1 9/8	1 7/8	2
Diametro de elevación de la cara.	-	-	2	2 1/2	2 7/8	3 5/8	4 1/8	5	5 1/2	6 3/16	7 5/16	8 1/2	10 9/8	12 3/4	15
Diametro de los orificios	-	-	3 1/2	3 7/8	4 1/2	5	5 7/8	6 5/8	7 1/4	7 7/8	9 1/4	10 5/8	13	15 1/4	17 3/4
Numero de orificios	-	-	4	4	4	8	8	8	8	8	8	12	12	16	16
Diametro de los pernos	-	5/8	5/8	3/4	5/8	3/4	3/4	3/4	3/4	3/4	3/4	3/4	7/8	1	1 1/8

¹ 300 lb. bridas de acero tienen 1/16" de elevación de la cara la cual se incluye en la medida del grosor de la brida

400 lb. ACERO ANSI B16.5

Pipe Size	1/2	3/4	1	1 1/4	1 1/2	2	2 1/2	3	3 1/2	4	5	6	8	10	12
Diametro de la brida	-	-	4 7/8	5 1/4	6 1/8	6 1/2	7 1/2	8 1/4	9	10	11	12 1/2	15	17 1/2	20 1/2
Grosor de la brida (min)	g	33/4	5/8	1 1/16	13/16	7/8	1	1 1/8	1 1/4	1 3/8	1 7/16	1 9/8	1 7/8	2 1/8	2 1/4
Diametro de elevación de la cara.	-	1/38	1 11/16	2	2 1/2	2 7/8	3 5/8	4 1/8	5	5 1/2	6 3/16	7 5/16	8 1/2	10 9/8	12 3/4
Diametro de los orificios	-	25/8	3 1/4	3 1/2	3 7/8	4 1/2	5	5 7/8	6 5/8	7 1/4	7 7/8	9 1/4	10 5/8	13	15 1/4
Numero de orificios	-	4	4	4	4	8	8	8	8	8	8	12	12	16	16
Diametro de los pernos	-	1/2	5/8	5/8	3/4	5/8	3/4	3/4	3/4	7/8	7/8	7/8	1	1 1/8	1 1/4

¹ 400 lb. bridas de acero tienen 1/16" de elevación de la cara la cual se incluye en la medida del grosor de la brida

Fuente: Spence. Steam trap and specialties designer's guide. 2a edición. Estados Unidos 2004. pág. V.4.

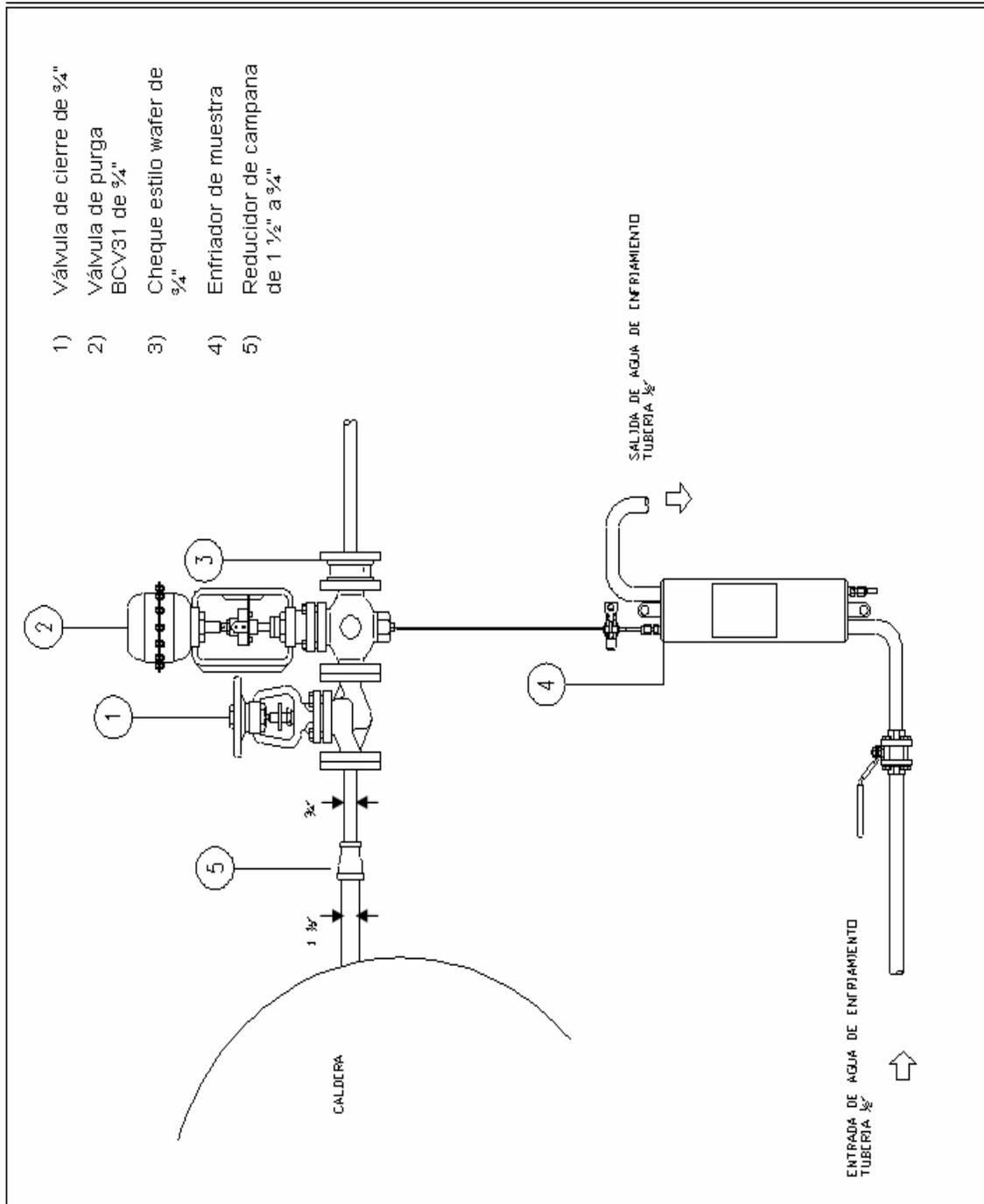
El enfriador de muestra debe ser instalado a una distancia desde el suelo hasta la salida de la toma de muestra de 1.20 metros. Esta distancia es la recomendada para permitir al personal encargado de los análisis tomar la muestra con comunidad y seguridad.

Los elementos auxiliares que se necesitan para completar la instalación son, una válvula de cierre del tipo globo, una válvula de retención ó cheque y válvulas de bola para la entrada y la salida del agua de enfriamiento. Estos

accesorios deben cumplir con las mismas características que la válvula de purga, respecto a presión, temperatura y coeficiente de flujo.

Es importante que todo el sistema sea instalado en una forma que sea fácil dar mantenimiento o comprobar la operación del mismo en la Figura 6. se presenta el plano de instalación del sistema de purga. El diagrama de instalación se presenta en la figura 6.

Figura 6. Esquema de instalación del sistema de purga



3.3 Diseño del controlador de sólidos disueltos

Para el correcto diseño del controlador de sólidos disueltos totales, es necesario considerar la naturaleza del medio a controlar, en el caso del control de TDS en el agua de las calderas, se debe considerar un medio variable y de cambio rápido.

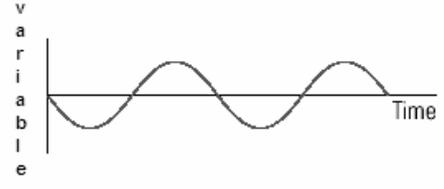
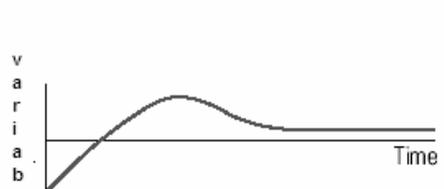
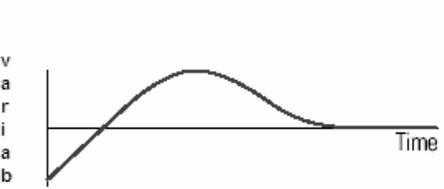
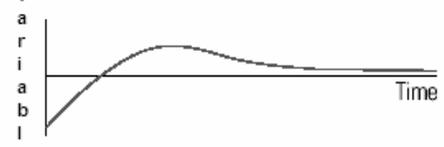
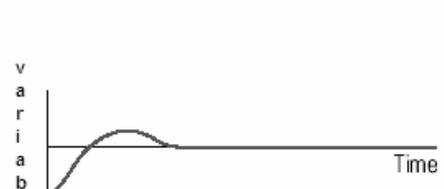
3.3.1 Controlador de sólidos disueltos

Los tipos de control de los diferentes procesos industriales se basan en dos tipos, control todo o nada y control continuo. El primero es el modo de control básico, consiste en dos parámetros básicos un máximo y un mínimo, para los cuales toma una acción determinada; esto limita a la válvula de control a dos posiciones, cerrada y abierta. El control continuo es comúnmente llamado control modulante, este control permite el cambio continuo de la operación de la válvula. Existen tres acciones básicas de control modulante:

- a. Proporcional: Este es la acción básica del sistema de control modulante, el control del proceso cambia proporcionalmente al cambio de la condiciones de este. Necesita estar constantemente ajustando el punto de referencia conforme el medio cambie.
- b. Integral: Es la acción que permite a un control modulante proporcional ajustar automáticamente el punto de referencia conforme el medio cambie.
- c. Derivativa: Mide y reporta el porcentaje de cambio del proceso y ajusta el parámetro del controlador para minimizar el cambio brusco de control.

En la Figura 7. se muestran las gráficas de los distintos controles.

Figura 7. Resumen de los distintos modos de control y sus respuestas

Modo de control	Respuesta típica del sistema	Ventajas/desventajas
Todo/Nada	 <p>The graph shows a square wave oscillating around a horizontal reference line. The vertical axis is labeled 'variable' and the horizontal axis is labeled 'Time'.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ■ No costoso ■ Simple ■ El control puede encontrarse fuera de los requerimientos.
Proporcional	 <p>The graph shows a smooth curve starting from a low value, rising to a peak above the reference line, and then settling to a steady state slightly above the reference line. The vertical axis is labeled 'variable' and the horizontal axis is labeled 'Time'.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ■ Simple y estable ■ Poca supervisión ■ Facil de ajustar ■ El control puede encontrarse fuera de los requerimientos
Proporcional + Integral P + I	 <p>The graph shows a smooth curve starting from a low value, rising to a peak above the reference line, and then settling to a steady state exactly on the reference line. The vertical axis is labeled 'variable' and the horizontal axis is labeled 'Time'.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ■ No necesita ajustarse ■ Puede ser inestable ■ En arranques puede encontrarse fuera de los requerimientos
Proporcional + derivativo P + D	 <p>The graph shows a smooth curve starting from a low value, rising to a peak above the reference line, and then settling to a steady state slightly above the reference line. The vertical axis is labeled 'variable' and the horizontal axis is labeled 'Time'.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ■ Estable ■ No necesita ajustarse ■ Responde rapidamente a los cambios
Proporcional, Integral + derivativo P+I+D	 <p>The graph shows a smooth curve starting from a low value, rising to a peak above the reference line, and then settling to a steady state exactly on the reference line. The vertical axis is labeled 'variable' and the horizontal axis is labeled 'Time'.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ■ Mejor opción para un sistema de control ■ Necesita personal calificado para su operación y mantenimiento ■ Costo elevado en comparación con otros controles

Fuente: Spirax Sarco. Design of fluid systems: steam utilization. Estados Unidos. 1981

Cuando los sistemas de control son complejos, se hace necesario el uso de controladores para satisfacer los requerimientos. El controlador recibe una señal del sensor, dependiendo de la señal y los parámetros que tiene programados, decide que acción es necesaria y envía una señal al actuador de la válvula para accionarlo. La mayoría de los controladores son digitales, basados en la tecnología del microprocesador, actualmente todavía existen algunos controladores neumáticos, pero su uso se hace cada vez más reducido, o delimitado a las áreas con peligro de explosión.

Existen muchas variantes en cuanto a las funciones y características de los controladores, entre las más comunes se encuentra:

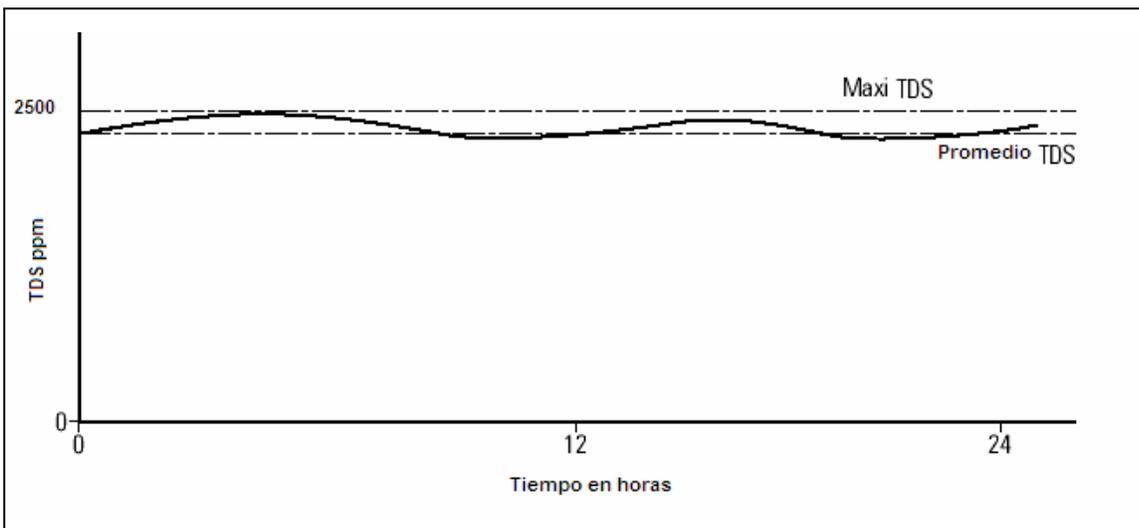
- a. Lazo simple de control: Opera una válvula y un actuador de un solo sensor.
- b. Lazo múltiple de control: Puede operar más de una válvula y actuador de varios sensores.
- c. Salida/Entrada simple: Puede aceptar solo una señal del sensor y envía una sola señal al actuador.
- d. Salida/Entrada múltiple: Acepta múltiples entradas y envía múltiples señales.
- e. Tiempo real: Puede incluir un reloj y accionarse a determinado tiempo programado.
- f. Lapso de tiempo: Puede cambiar la señal a un predeterminado lapso de tiempo antes de que el sistema haya sido apagado o encendido.

El control automático de los TDS requiere de control continuo, el cual debe tener un modo de control proporcional, integral y derivativo para poder tener la

concentración en el límite máximo de concentración permitido, la combinación de estos tres modos de control dan una mayor estabilidad en el control cuando las condiciones del agua de la caldera son cambiantes y, asimismo, dan una mayor contabilidad en el control. En la Figura 8 se muestra el comportamiento deseado del control de la concentración de TDS en el agua de la caldera. El control debe ser continuo para que la cantidad de agua purgada no repercuta en la estabilidad de temperatura y presión de la caldera.

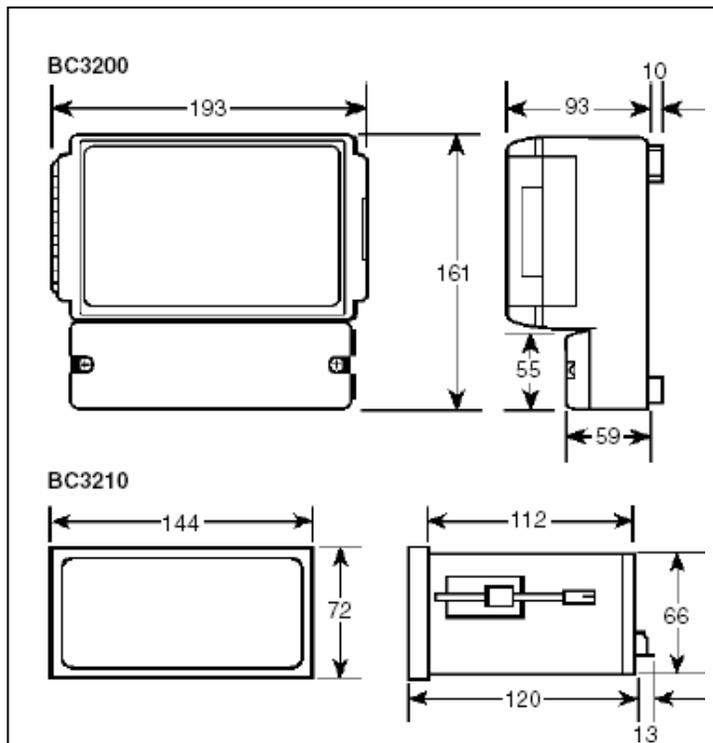
El controlador de conductividad BC3200 es un controlador continuo, y opera bajo el modo de control proporcional, integral y derivativo que se requiere. La entrada de la señal como la salida es de 4 a 20 mA. La alimentación de voltaje puede ser de 230 ó 115 V. Las dimensiones del controlador se presentan en la figura 8. Este controlador tiene un diseño para ser montado en un panel ó en el lugar del control. La medición de la conductividad la puede expresar tanto en ppm como en $\mu S/cm$.

Figura 8. Gráfica de comportamiento deseado en la concentración de agua de las calderas.



Fuente: Spirax Sarco. Designo f fluid systems: steam utilization. Estados Unidos 2000. pág 46.

Figura 9. Dimensiones en milímetros del controlador BC3200



Fuente: Spirax Sarco. Design of fluid systems: steam utilization. Estados Unidos 2000. pág 46.

3.3.2 Sensor de conductividad

El sensor de conductividad mide la capacidad de una solución de conducir una corriente eléctrica entre dos electrodos. En la solución, la corriente fluye por el transporte del ion. Por lo tanto, una gran concentración de iones en la solución dará lugar a valores más altos de conductividad.

El sensor de conductividad está midiendo realmente la conductancia, definida como el recíproco de la resistencia. Cuando la resistencia se mide en ohms, la conductancia se mide utilizando la unidad SI, Siemens (formalmente

conocida como mho). Puesto que los Siemens es una unidad muy grande, las muestras acuosas son medidas comúnmente en microsiemens.

Una de las aplicaciones más comunes del sensor de conductividad es encontrar la concentración de sólidos disueltos totales, o TDS., en una muestra de agua. Esto puede ser logrado porque se genera una relación entre conductividad y concentración iónica en una solución, como aquí se muestra. La relación persiste hasta que se alcanzan concentraciones iónicas muy grandes.

Para el sistema de control de TDS es necesario un sensor de conductividad que genera una salida de 4 a 20 mA, para que pueda ser interpretada por el controlador. Es importante que el sensor esté diseñado para la presión y temperatura de operación de la caldera.

3.3.3 Instalación del controlador de sólidos disueltos

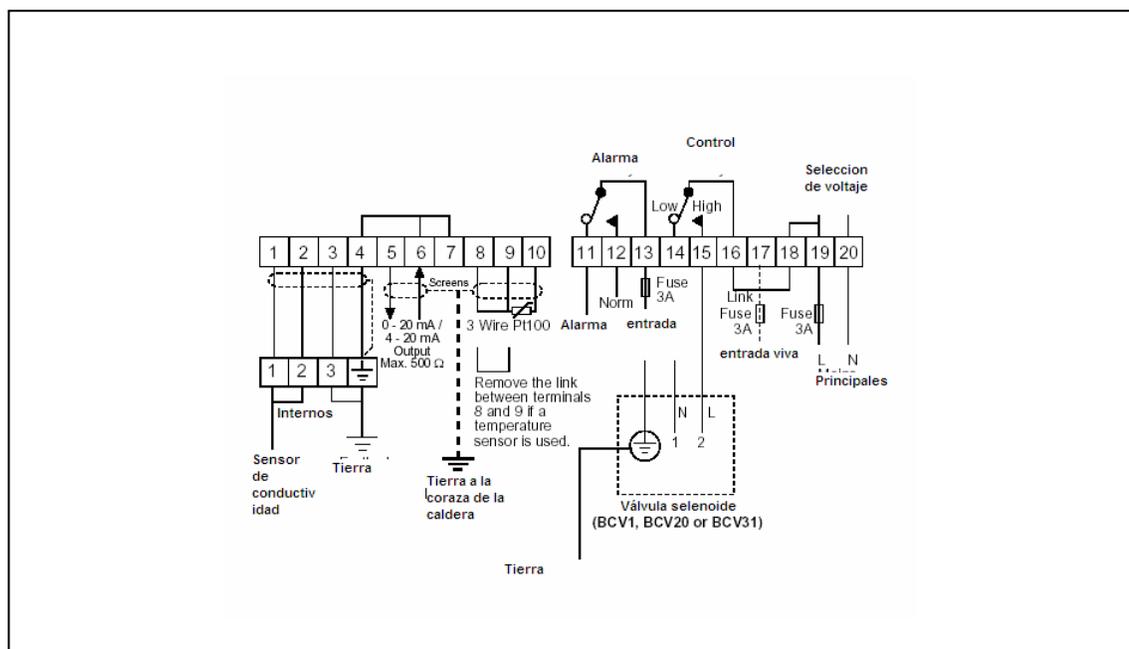
El controlador debe ser instalado donde sea fácil el acceso y la lectura por el personal autorizado. El lugar de instalación debe ser seguro, para evitar que sufra daños por el paso de personal ó vehículos y debe estar aislado de cualquier humedad. El controlador debe ser montado en un panel industrial protegido de cualquier suciedad del ambiente. Las dimensiones del orificio en el panel deben ser 137mm X 67 mm. Este panel debe ser instalado lo mas cercano posible a la caldera.

Para la instalación eléctrica del controlador se debe seguir el diagrama presentado en la Figura 10, es importante recordar que el voltaje del controlador debe ser 115 ó 230 Voltios. Es importante que la instalación eléctrica impida

interferencia por frecuencias de radio o RFI por sus siglas en inglés. Las RFI pueden causar interferencia en las señales de control y afectar la operación de los controladores electrónicos. Estas son algunas recomendaciones para evitar las interferencias por frecuencia de radio:

- El cableado del instrumento debe estar separado del cable de suministro de poder de éste.
- Cables en paralelo deben ser evitados. En caso de hacerse una instalación en paralelo, una separación física debe existir entre los dos cables.
- Cuando sea inevitable la intersección de un cable de señal con uno de poder debe existir una separación de por lo menos 250 mm.

Figura 10. Diagrama de instalación eléctrico del controlador



Fuente: Spirax Sarco. Product Manual. Estado Unidos 2000. pág. 40.

3.4 Equipo auxiliar

3.4.1 Conductivimetro

Es necesario medir la conductividad en el agua de la caldera para poder calibrar el sistema de control de TDS y su concentración dentro de la caldera. Para esto es necesario contar con un elemento de medición portátil, que pueda ser utilizado por el analista como instrumento de medición de la conductividad. Este equipo se conoce con el nombre del conductivimetro, el cual consiste de un sensor de conductividad y una terminal en la cual se muestran los resultados. Dependiendo del fabricante del conductivimetro, este pueda dar el resultado en ppm ó $\mu S/cm$. En la Tabla V se muestra las equivalencias entre estas dos dimensionales.

3.4.2 Uso del conductivimetro

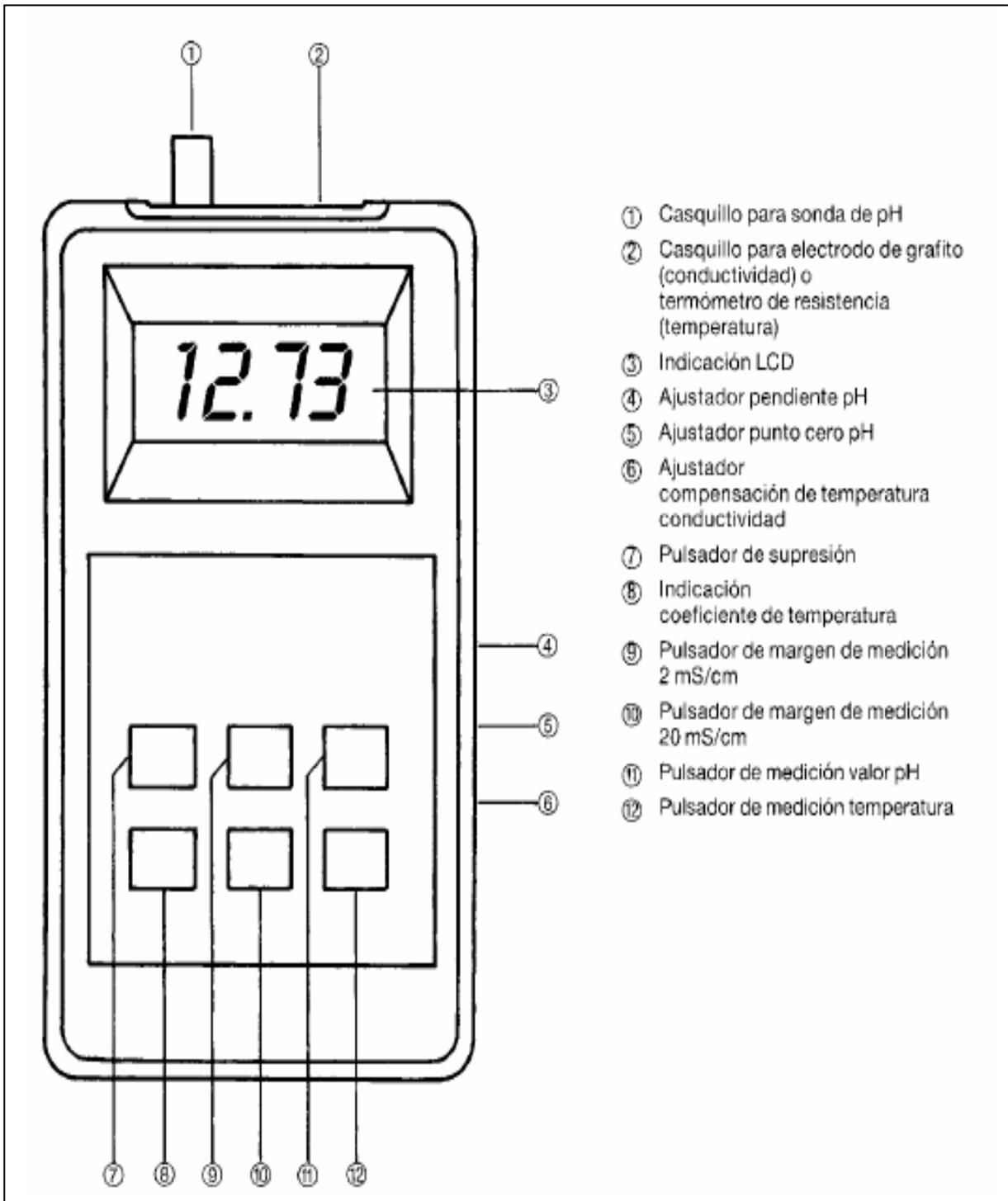
Para la medición de la conductividad con el conductivimetro se deben seguir los siguientes pasos. En la Figura 11. se muestran las partes del conductivimetro.

- a. Sumergir en el medio el electrodo de grafito.
- b. Compensación de temperatura con electrodo de grafito conectado.

Pulsando continuamente el pulsador (8) se produce la indicación del coeficiente de la temperatura. El calor se ajusta de 0 a 10% girando el ajustador (6) con un destornillador.

- c. Accionando el pulsador del margen de medida deseado (9 ó 10), aparece en la indicación el valor de conductividad medio.

Figura 11. Partes del conductivimetro



- ① Casquillo para sonda de pH
- ② Casquillo para electrodo de grafito (conductividad) o termómetro de resistencia (temperatura)
- ③ Indicación LCD
- ④ Ajustador pendiente pH
- ⑤ Ajustador punto cero pH
- ⑥ Ajustador compensación de temperatura conductividad
- ⑦ Pulsador de supresión
- ⑧ Indicación coeficiente de temperatura
- ⑨ Pulsador de margen de medición 2 mS/cm
- ⑩ Pulsador de margen de medición 20 mS/cm
- ⑪ Pulsador de medición valor pH
- ⑫ Pulsador de medición temperatura

Fuente: Spirax Sarco. Product Manual. Estados Unidos. 2000. pág.54

Tabla V. Equivalencias dentro de las distintas unidades de medición de los TDS.

Sólidos disueltos totales ppm	Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$)		Densidad relativa a 15.5°C	Grados Baumé °Be	Grados °Tw
	Neutralizada	Sin neutralizar			
0	0	0	1.000 00	0.000	0.000
200	286	400	1.000 18	0.026	0.036
400	571	800	1.000 36	0.052	0.073
600	857	1 200	1.000 55	0.079	0.109
800	1 143	1 600	1.000 73	0.105	0.145
1 000	1 429	2 000	1.000 91	0.131	0.182
1 200	1 714	2 400	1.001 09	0.157	0.218
1 400	2 000	2 800	1.001 27	0.184	0.255
1 600	2 286	3 200	1.001 45	0.210	0.291
1 800	2 571	3 600	1.001 64	0.236	0.327
2 000	2 857	4 000	1.001 82	0.262	0.364
2 200	3 143	4 400	1.002 00	0.289	0.400
2 400	3 429	4 800	1.002 18	0.315	0.436
2 600	3 714	5 200	1.002 36	0.341	0.473
2 800	4 000	5 600	1.002 55	0.367	0.509
3 000	4 286	6 000	1.002 73	0.393	0.545
3 200	4 571	6 400	1.002 91	0.420	0.582
3 400	4 857	6 800	1.003 09	0.446	0.618
3 600	5 143	7 200	1.003 27	0.472	0.655
3 800	5 429	7 600	1.003 45	0.498	0.691
4 000	5 714	8 000	1.003 64	0.525	0.727
4 200	6 000	8 400	1.003 82	0.551	0.764
4 400	6 286	8 800	1.004 00	0.577	0.800
4 600	6 571	9 200	1.004 18	0.603	0.836
4 800	6 857	9 600	1.004 36	0.630	0.873
5 000	7 143	10 000	1.004 55	0.656	0.909
5 200	7 429	10 400	1.004 73	0.682	0.945
5 400	7 714	10 800	1.004 91	0.708	0.982
5 600	8 000	11 200	1.005 09	0.735	1.018
5 800	8 286	11 600	1.005 27	0.761	1.055
6 000	8 571	12 000	1.005 45	0.787	1.091
6 200	8 857	12 400	1.005 64	0.813	1.127

Fuente: Spirax Sarco. Design of fluid systems: steam utilization. Estados Unidos. 2000. pág 30.

3.5 Calibración del sistema de control automático de sólidos disueltos totales

3.5.1 Manual de calibración

Finalidad:

Este manual tiene como finalidad, ser una guía de apoyo para el personal encargado de la calibración del sistema automático de control de sólidos disueltos totales. Se debe considerar todos los pasos especificados en este manual para garantizar un funcionamiento adecuado del sistema.

Advertencia de Seguridad:

Todas las operaciones de calibración y operación del sistema automático de purga de las calderas, debe ser realizado por personal calificado y entrenado en dichas tareas. Se debe considerar que todos los equipos, elementos y componentes del sistema están bajo presión y temperaturas peligrosas para el ser humano. Cualquier parte de tubería, válvula, controlador, y cualquier otro elemento, debe ser considerado elemento a temperaturas superiores a los 100°C.

Calibración:

- a. Realice un análisis de concentración de TDS con el conductivímetro del agua de la caldera y del agua de alimentación.
- b. Registre la lectura de concentración de TDS, en los registros para tal fin.
- c. Siga el procedimiento mostrado en la Figura 12. En la Figura 13 se muestra el controlador.

Figura 12. Diagrama de calibración del controlador de TDS

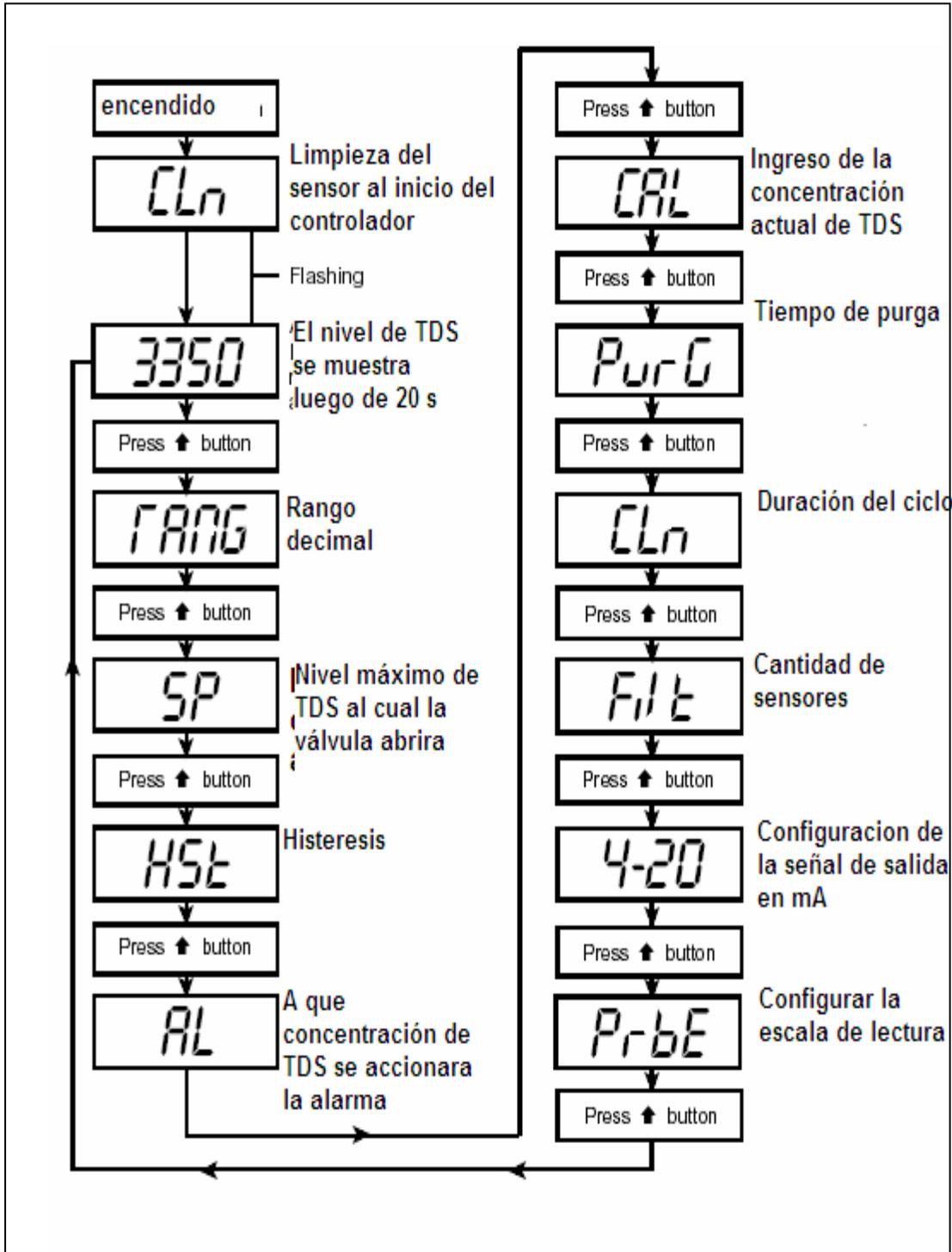
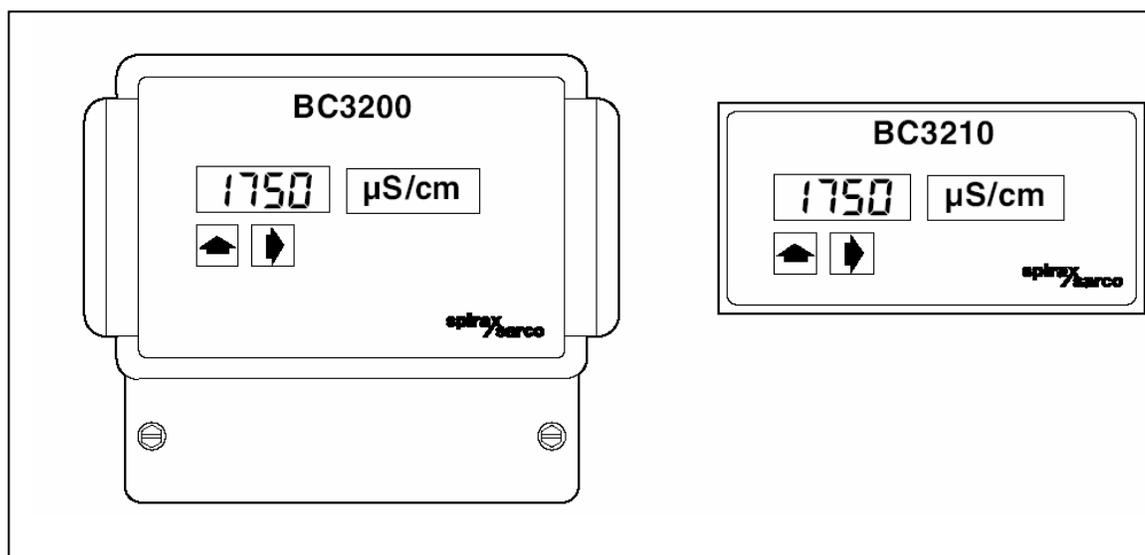


Figura 13. Controlador BC3200



Fuente: Spirax Sarco. Product Manual. Estados Unidos 2000. pág 41.

3.6 Mantenimiento del sistema de control de sólidos disueltos totales

3.6.1 Manual de mantenimiento preventivo

Finalidad:

La finalidad del manual de mantenimiento preventivo, es dar solución a los problemas que el sistema pueda presentar antes de que estos sucedan.

Advertencia de seguridad

Todas las operaciones de mantenimiento del sistema automático de purga de las calderas, debe ser realizado por personal calificado y entrenado en dichas tareas. Se debe considerar que todos los equipos, elementos y

componentes del sistema están bajo presión y temperaturas peligrosas para el ser humano. Cualquier parte de tubería, válvula, controlador, y cualquier otro elemento, debe ser considerado elemento a temperaturas superiores a los 100°C. En la manipulación de los equipos electrónicos se debe considerar posibles descargas eléctricas y tomar las precauciones necesarias.

Válvula de control y actuador

Antes de cualquier mantenimiento, la válvula de control debe ser aislada por medio de la válvula de cierre. La válvula de control y actuador no necesitan ser desmontados de la tubería para realizar cualquier limpieza de los internos de la misma. Se recomienda inspeccionar una vez al año las válvulas de purga. No es necesaria una rutina de inspección de estos dos elementos. En caso de que sea necesario el reemplazo de alguna parte de la válvula tomar como referencia el manual de mantenimiento correctivo.

Controlador y Sensor:

El controlador y sensor no requieren de mayor mantenimiento durante su vida útil; pero es importante mantener libre de cualquier suciedad los componentes internos del controlador. El polvo y cualquier otra suciedad pueden ser retirados con aire comprimido, se puede utilizar el aire comprimido para limpieza de equipos de cómputo.

3.6.2 Manual de mantenimiento correctivo

Finalidad:

La finalidad de este manual es dar a conocer las distintas acciones para la reparación de los distintos componentes del sistema de control de sólidos disueltos totales.

Advertencia de seguridad:

Todas las operaciones de mantenimiento del sistema automático de purga de las calderas deben ser realizadas por personal calificado y entrenado en dichas tareas. Se debe considerar que todos los equipos, elementos y componentes del sistema están bajo presión y temperaturas peligrosas para el ser humano. Cualquier parte de tubería, válvula, controlador y cualquier otro elemento, debe ser considerado elemento a temperaturas superiores a los 100°C. En la manipulación de los equipos electrónicos se debe considerar posibles descargas eléctricas y tomar las precauciones necesarias.

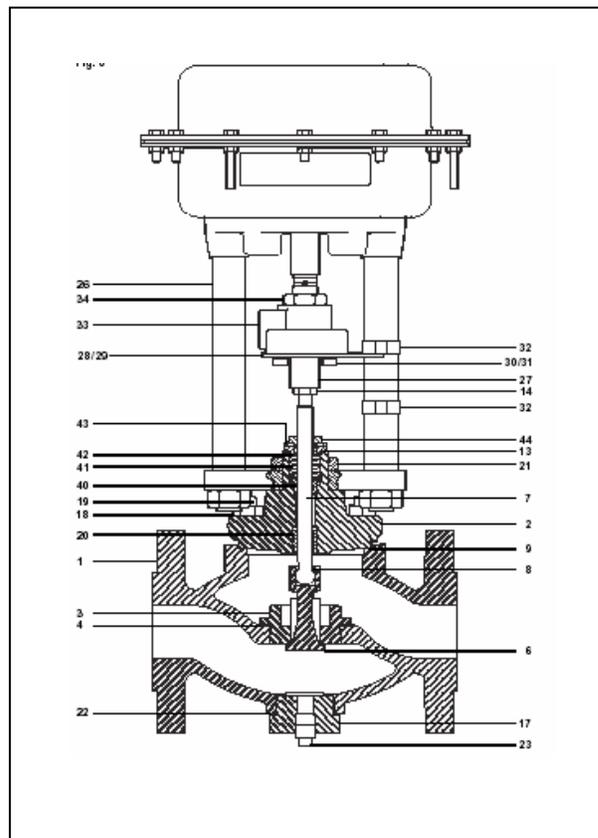
Válvula de control y actuador

Los componentes de la válvula de control son los que se muestra a continuación en la Figura 14, y la descripción de cada elemento se presenta en la Tabla VI . Cualquier elemento debe ser remplazado al presentar fractura, rajaduras, deformación ó signos de fatiga.

Controlador y Sensor

En caso que el sensor esté dando lecturas erróneas o sufre de desgaste, se debe reemplazar el electrodo. En el caso del controlador, existen solamente dos elementos cambiables, la tarjeta del controlador y la pantalla de despliegue de información. Si cualquiera de estos dos elementos fallaran se deben reemplazar.

Figura 14. Partes de válvula de purga



Fuente: Spirax Sarco. Product Manual. Estados Unidos 2000. pág 45.

Tabla. VI. Descripción de los componentes de la válvula de purga.

No.	Descripción	No.	
1	Cuerpo	23	Plug BSPT 1/2"
2	Bonnet	26	Actuador
3	Sello de la válvula	27	Adaptador
4	Asiento	28	Seguro
6	Plug de la válvula	29	indicador
7	Stem de la válvula	30	Rosca
8	Circlip	31	Washer
9	junta del bonnet	32	Indicador de carrera
13	junta	33	Conector del actuador
14	M8	34	Bloqueo
17	BC	40	Anillo de soporte
18	M10	41	Sello de grafito
19	Perno		Anillo de soporte superior
20	Guía	42	superior
21	M30 nut	43	Caja
22	Junta	44	tuerca

Fuente: Spirax Sarco. Product Manual. Estados Unidos 2000. pág 45.

3.7 Evaluación económica

3.7.1 Evaluación de la razón beneficio costo

El método de análisis beneficio costo está basado en la razón de los beneficios a la razón de los costos de un proyecto en particular. Por tanto, el primer paso en una evaluación es determinar cuales son los beneficios positivos y negativos, así también los costos. Un beneficio positivo es aquel que da ventajas experimentadas por el propietario y un negativo es aquel que da desventajas cuando el proyecto es implementado. Por costo se entiende todos los gastos anticipados por construcción, operación, mantenimiento, menos cualquier valor de salvamento.

Un proyecto se justifica cuando su razón B/C es mayor a 1. La fórmula para el cálculo de la razón B/C es:

$$B/C = \frac{(\text{beneficio} - \text{positivo}) - (\text{beneficios} - \text{negativos})}{\text{costos}} = \frac{B - BN}{C}$$

Para el cálculo de la razón B/C de este proyecto se debe considerar el costo del sistema y todos sus componentes, así como los ahorros producidos en concepto de combustible generados por la implementación de éste. Un sistema tiene un costo aproximado de Q 89,000.00 incluyendo la instalación del mismo. Con la implementación del sistema de control de TDS se ahorra Q 200,862.62 de la facturación anual de energía. Los beneficios positivos del sistema son el ahorro en la facturación energética, en este proyecto no hay beneficios negativos y los costos es el valor del proyecto.

$$B/C = \frac{Q200,862.62 - 0}{Q89,000} = 2.25$$

dado que la razón B/C es mayor a 1 el proyecto es justificable.

3.7.2 Ahorro en la facturación de combustible

El ahorro en la facturación energética se calcula en base al ahorro energético de la implementación del sistema. Con el sistema manual de control de TDS, existe una pérdida de energía de 147.59 KW, esto es igual a una pérdida de 531,309.27 KJ/h. Dado que la caldera está operando las 24 horas del día los 365 días del año, la cantidad anual de energía que se pierde es de 4,654,269,205.20 KJ. Con el sistema automático, existe una pérdida de 61.13 KW, esto es igual a una pérdida de 220,071.78 KJ/h, y representa una pérdida

anual de 1,927,828,792.80 KJ. La diferencia dentro la pérdida con el sistema de control manual y el automático representa el ahorro anual en energía. Esta diferencia es de:

$$\text{Ahorro anual} = 4,654,269,205.20\text{KJ} - 1,927,828,792.80\text{KJ} = 2,726,440,412.40\text{KJ}$$

Para calcular en ahorro, en términos monetarios, se debe calcular el costo de un KJ. El bunker tiene una capacidad calorífica por galón de 152,983.10 KJ y un costo de Q 9.58 por galón en septiembre de 2005. Se debe considerar también la eficiencia de combustión de las calderas que es del 85%. Entonces, para calcular el costo por KJ utilizamos la siguiente fórmula:

$$\text{Costo}_{KJ} = \frac{\text{costo}_{\text{galón}_{\text{bunker}}}}{\text{poder}_{\text{calorífico}} * \text{eficiencia}}$$

$$\text{Costo}_{KJ} = \frac{Q9.58}{152,983\text{KJ} * 0.85} = Q7.36E - 5$$

Con el dato de costo de un KJ, procedemos a calcular el ahorro en la facturación energética:

$$\text{Ahorro} = \text{ahorro en KJ anuales} * \text{costo de KJ en Q}$$

$$\text{Ahorro} = 2,726,440,412.40 \text{ KJ} * Q 7.36 E -5 \text{ Q/KJ} = Q 200,862.00$$

El ahorro en la facturación energética es de Q 200,862.00 anuales.

3.7.3 Retorno de la inversión

El periodo de reintegro o de pago, n , para un activo o alternativa es el tiempo estimado, generalmente en años, que tardarán para que los ingresos y otros beneficios económicos, reintegren la inversión inicial y un retorno determinado. Para calcular el período de reintegro se deben determinar los años n , utilizando la siguiente fórmula:

$0 = P + FEN (P/A, i, n)$ donde,

FEN = es el flujo de efectivo neto estimado al final de cada año

(P/A) = factor para pasar de una anualidad a un valor presente

i = tasa de retorno mínima, se toma la tasa de inflación

P = costo de la inversión.

n = años de retorno de la inversión

Para calcular el retorno tenemos,

$P = Q 89,000.00$

$FEN = Q 200,862.00$

$i = 9\%$

$0 = Q 89,000.00 + Q 200,862.00 (P/A, 9\%, n)$

El factor $(P/A, 9\%, n)$, debe ser igual a 0.4430 para poder cumplir con la ecuación anterior. Este dato nos sirve para encontrar el valor de n en la tabla de factores de interés compuesto. El valor de n para este factor es menor a 1 año.

$n < 1$ año

El retorno de la inversión es menor a un año con lo cual el proyecto es rentable.

4. IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA AUTOMÁTICO DE SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES

4.1 Procedimientos de operación

4.1.1 Funcionamiento del sistema

El funcionamiento del sistema automático de control de sólidos disueltos totales, comprende las diferentes operaciones realizadas por sus elementos; estas operaciones se enumeran a continuación y se representan en la Figura 15.

El sensor S1,

Paso 1: Mide la conductividad del agua de la caldera y envía la señal de 4 a 20 mA con la información de la conductividad del agua de la caldera al controlador.

El controlador C1,

Analiza la señal de conductividad del agua de la caldera, compara el valor enviado con el parámetro establecido.

Paso 2: Si la lectura de conductividad es mayor al parámetro establecido,

Paso 3: El controlador envía una señal de apertura al actuador de la válvula de control.

El actuador,

Paso 4: Acciona el mecanismo para abrir la válvula de control.

La válvula de control,

Paso 5: Abre

Paso 6: Si la lectura es menor.

El controlador,

Paso 7: Envía una señal de conformidad con las condiciones actuales.

El actuador,

Paso 8: No acciona el mecanismo para abrir la válvula de control

La válvula de control,

Paso 9: Permanece cerrada.

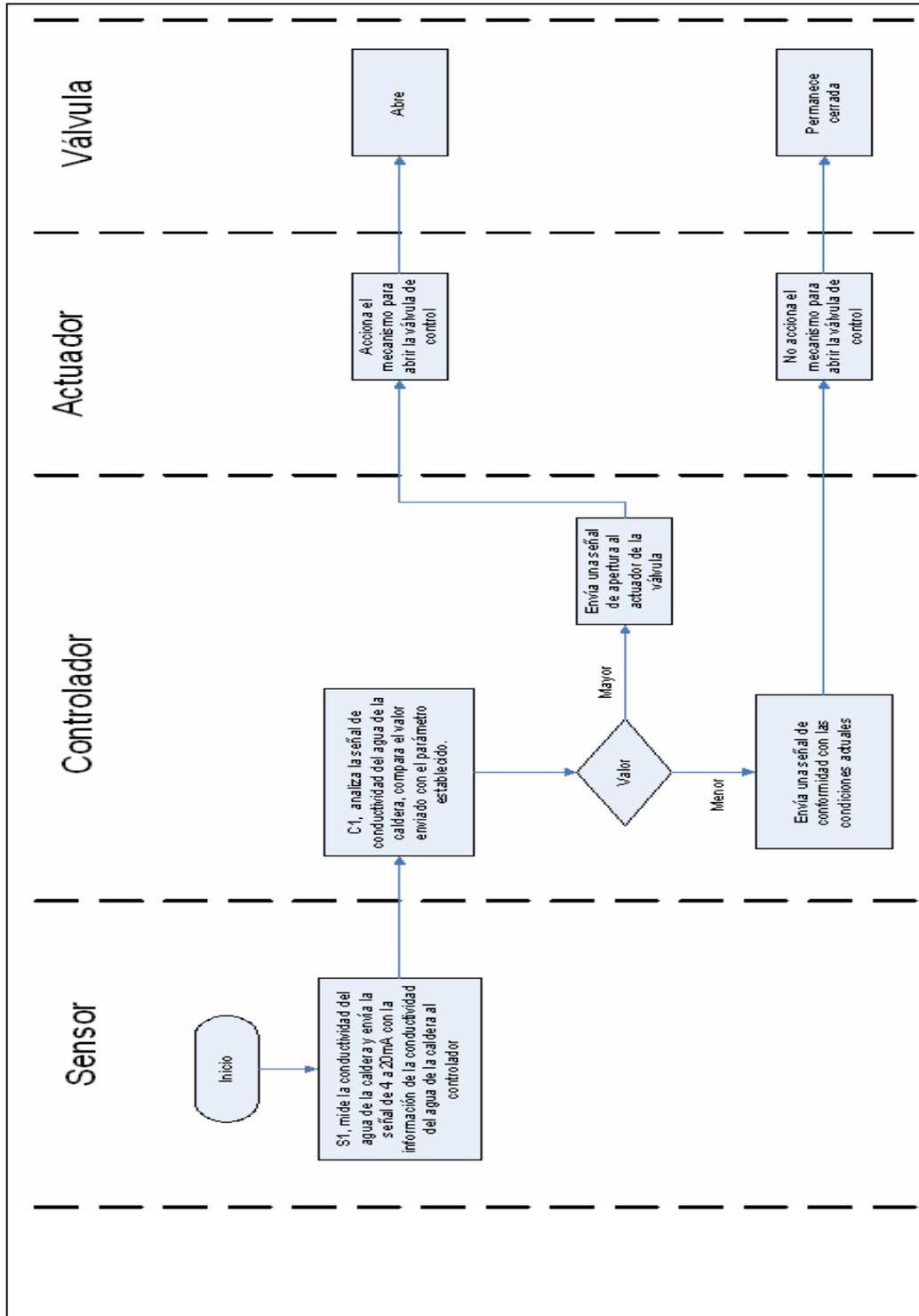
4.1.1 Calibración del controlador automático de sólidos disueltos totales

Para la calibración del controlador de sólidos disueltos totales se debe tener en cuenta el procedimiento y el manual de calibración. El procedimiento de calibración se detalla a continuación y se representa en la Figura 16.

El analista calibrador.

Paso 1: Revisa que el parámetro de máxima concentración de sólidos disueltos totales en el controlador sea igual 2500 ppm.

Figura 15. Operación del sistema de control



Paso 2: Si el parámetro es mayor o menor a 2500 ppm,

Paso 3: Ajusta el parámetro a 2,500 ppm.

Paso 4: Revisa la concentración de TDS que registra el controlador y la registra.

Paso 5: Toma una muestra del agua de la caldera.

Paso 6: Realiza un análisis de conductividad al agua de la caldera y compara el resultado con el dato que registra el controlador.

Paso 7: Si el dato del análisis y el que registra el controlador son iguales, el controlador esta calibrado.

Paso 8: No realiza ningún ajuste en el controlador respecto a este parámetro.

Paso 9: Si el dato del análisis y el que registra el controlador son diferentes,

Paso 10: Ajusta el dato obtenido en el análisis de conductividad del agua de la caldera en el controlador.

Paso 11: Revisa la concentración de TDS del agua de alimentación que registra el controlador.

Paso 12: Toma una muestra del agua de alimentación.

Paso 13: Realiza un análisis de conductividad al agua de alimentación y compara el resultado con el dato que registra el controlador.

Paso 14: Si el dato del análisis y el que registra el controlador son iguales.

Paso 15: No realiza ningún ajuste en el controlador respecto a este parámetro.

Paso 16: Si el dato del análisis y el que registra el controlador son diferentes.

Pas 17: Ajusta el dato obtenido en el análisis de conductividad del agua de alimentación en el controlador.

4.1.2 Toma de muestra

Es importante que la muestra salga del enfriador con una temperatura de 25 °C, para que sea representativa de las condiciones del agua de la caldera. En caso la muestra no tuviese a la temperatura deseada, se debe revisar que la temperatura del agua de enfriamiento no sea superior a 21°C. El recipiente en donde se tome la muestra debe ser neutralizado para que no exista ninguna suciedad en el. Para cada toma de muestra el recipiente debe ser neutralizado.

4.1.3 Mantenimiento Preventivo

El objetivo del procedimiento es mejorar las técnicas para la optimización del mantenimiento preventivo. Para que el mantenimiento preventivo sea lo más eficaz posible, es muy importante disponer de la mayor cantidad de información sobre el sistema de control automático de sólidos disueltos totales; para ello, es básico realizar revisiones programadas en el sistema. Para desarrollar de forma práctica los procedimientos, se puede obtener información de tres fuentes:

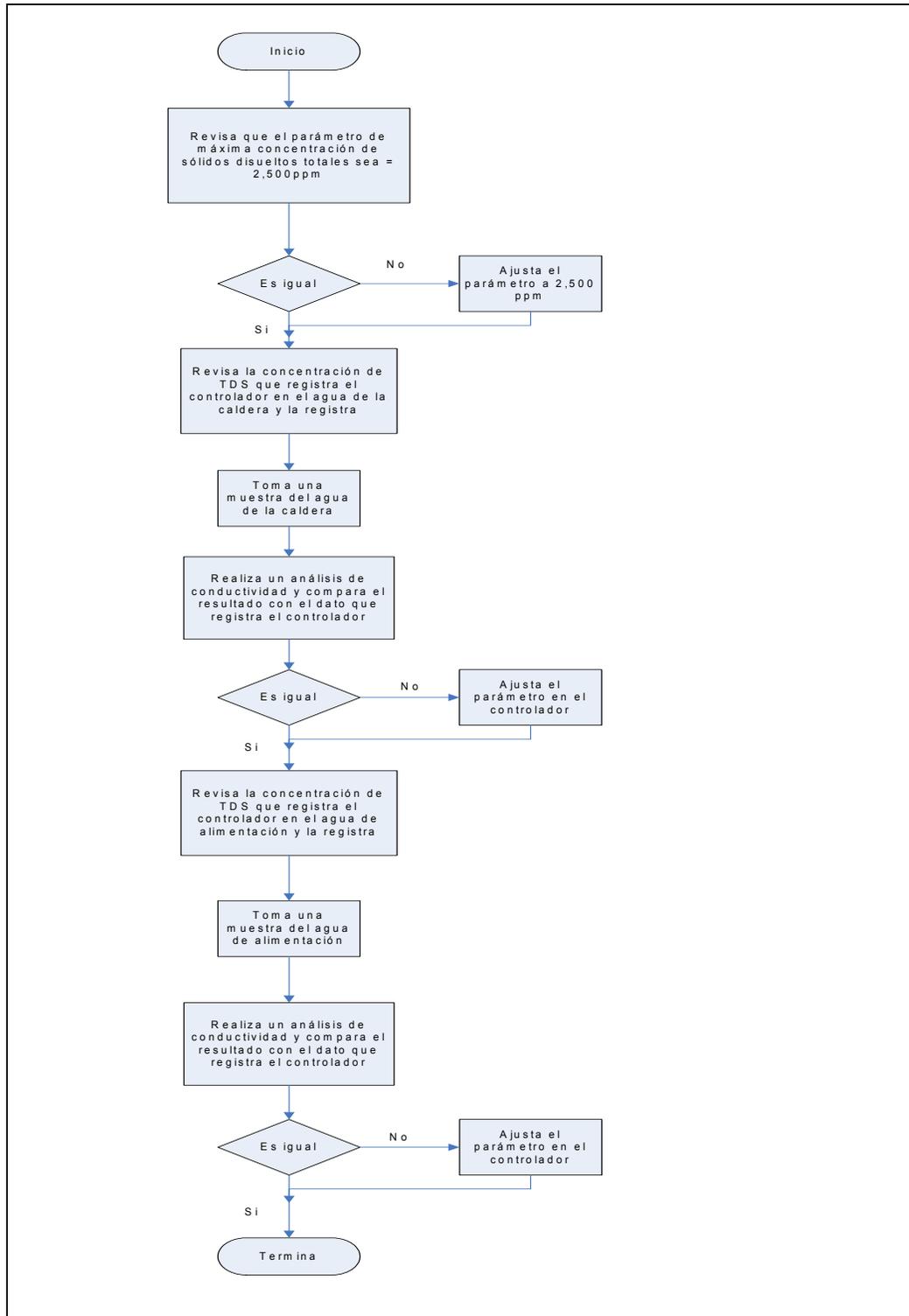
- a. Trabajos planificados: Consiste en dividir los elementos del sistema, creando para cada uno de ellos una serie de revisiones preventivas.
- b. Identificación de averías: Consiste en tener identificadas todas las averías asignando un código y asignando una operación de mantenimiento para cada una de ellas.
- c. Resultados de las revisiones preventivas: Cuando en el curso de una revisión planificada se detectan anomalías, éstas se deben tratar tomando nota del elemento con su código y, por otro lado, se identifica la probabilidad de ocurrencia de la avería según las consecuencias que la ocasionan. La detección de anomalías no prevista servirá al departamento para corregir y actualizar los procedimientos.

Las actividades de mantenimiento preventivo se deben realizar bajo normas de seguridad industrial. Los encargados de mantenimiento deben conocer normas para trabajar con recipientes presurizados.

4.1.4 Mantenimiento Correctivo

Las reparaciones en el sistema de control de sólidos disueltos totales, se deben basar en el manual de mantenimiento correctivo y en los manuales de mantenimiento y reparación proporcionados por los diferentes fabricantes de los elementos del sistema. Al igual que el mantenimiento preventivo, las actividades se deben realizar bajo normas de seguridad.

Figura 16. Procedimiento de calibración del controlador de TDS



4.2 Utilización de los manuales de mantenimiento y calibración

Para la utilización de los manuales es importante que el personal esté familiarizado con los distintos elementos del sistema de control, para esto es necesario realizar cursos de capacitación, en los cuales se den a conocer los distintos elementos del sistema y el uso de cada uno de los manuales y procedimientos para el funcionamiento del mismo.

La capacitación no se debe limitar a dar información sobre los manuales, sino se deben realizar prácticas con el personal encargado en la utilización de los manuales aplicada al sistema. Todo el personal relacionado con el sistema debe conocer en que manual se encuentra la información que requieren las actividades que le competen.

5. SEGUIMIENTO Y MEJORA CONTINUA

5.1 Medición y calibración periódica de los niveles de sólidos disueltos totales

5.1.1.1 Registro de concentración de sólidos disueltos totales del agua de la caldera

La medición y calibración del controlador de sólidos disueltos totales se debe realizar por lo menos una vez por semana, para garantizar la fiabilidad del sistema de control. Se debe cumplir con el procedimiento de calibración para garantizar que el controlador este calibrado de forma correcta. Todos los resultados de análisis de concentración de TDS deben ser registrados y llevados en archivo, para poder realizar estadísticas de comportamiento relacionas a las condiciones del agua de la caldera y el agua de reposición ó de alimentación.

Con estos registros se puede evaluar el desempeño del sistema, ya que se conocerá en base al comportamiento en el control, su estabilidad y fiabilidad; en el caso de existir variabilidades respecto a registros anteriores, se pueden buscar las causas de estas, en base al comportamiento anterior del sistema. Es por esto que es de suma importancia el registro y archivo de la concentración de sólidos disueltos totales en el agua de la caldera y agua de alimentación.

5.1.2 Control de sólidos disueltos totales

El sistema de control de sólidos disueltos totales en el agua de las calderas controla la cantidad de agua a purgar que se necesita para tener un máximo admisible de concentración. La cantidad de agua a purgar

depende de las características de concentración del agua de alimentación de la caldera. Esto significa que si la concentración de TDS en el agua de alimentación aumenta, la cantidad de purga aumentará. Es por ello que el tratamiento del agua de alimentación de las calderas es otro punto de mejora adicional al sistema automático de control, ya que si la concentración de TDS en el agua de la caldera disminuye, la cantidad de purga de agua disminuirá aumentando los ahorros energéticos en concepto de combustible.

5.2 Plan de mantenimiento preventivo

Se debe realizar un plan de mantenimiento preventivo, en el cual se defina la política y los procedimientos para mantener el sistema en marcha y el personal necesario para llevar a cabo las actividades de mantenimiento. El plan debe incluir todos los elementos del sistema de control. Se debe analizar las actuaciones inseguras tanto para el personal como para el equipo, en las cuales los responsables del mantenimiento puedan incurrir con el fin de evitarlas.

En el plan de mantenimiento correctivo se debe tomar en cuenta para la realización de los distintos tipos de revisiones los siguientes aspectos:

- Periodicidad: Cada elemento del sistema necesita revisiones y mantenimiento en diferentes intervalos de tiempo. No se debe considerar a todos los elementos por igual.
- Partes a inspeccionar: En base al manual de mantenimiento preventivo y los manuales y recomendaciones de los fabricantes se deben determinar los elementos a inspeccionar.
- Personal encargado: Definir las funciones y responsabilidades de cada uno de las personas que intervendrán en el plan de mantenimiento preventivo.

5.2.1 Planificación

Para cualquier mantenimiento, en el cual sea necesario cortar el suministro de vapor en las áreas que lo consumen, es necesario planificar conjuntamente con ellas las actividades de mantenimiento a fin de evitar problemas.

En base a las inspecciones realizadas al sistema de control, se deben elaborar órdenes de trabajo en las cuales se especifique, la fecha de realización, duración y si necesitan trabajo posterior ó trabajo de reparación. Para cada actividad de mantenimiento se puede elaborar una hoja de trabajo en la que se indique la necesidad, indicado su prioridad dentro de la planificación general de trabajos. La planificación de los trabajos comprende:

- Por qué debe hacerse y quién lo hará
- En qué consiste y como debe hacerse
- Donde debe hacerse
- Materiales necesarios
- Calendario de realización
- Planificar cuidadosamente y de forma completa cada operación
- Dotar de equipo apropiado a cada tipo de trabajo u operación
- Mantener todos los equipos en perfecto estado
- Prever los riesgos de cada operación de mantenimiento y dictar las normas de seguridad necesarias para cada caso
- Seleccionar y formar al personal idóneo para efectuar las distintas operaciones de mantenimiento
- Atención especial sobre la utilización y el mantenimiento de los equipos de protección individual
- Control de piezas de recambio

El mantenimiento del sistema de control debe realizarse teniendo en cuenta los tiempos de entrega o existencia de los elementos de recambio. Es recomendable tener en almacén aquellas piezas que son críticas en el sistema de control.

5.2.2 Capacitación continua del personal de mantenimiento

Como primer paso de la capacitación, se debe obtener un listado del personal encargado de la operación, mantenimiento y reparación del sistema automático de control de sólidos disueltos totales. Una vez obtenida esta lista, se debe capacitar al personal, no solo en el área de interés de cada uno, sino en el funcionamiento de todo el sistema. Se debe dar a conocer el objetivo que se persigue con la capacitación.

El objetivo de la capacitación es que el personal técnico del departamento de ingeniería de IGGS sea autosuficiente en la operación, mantenimiento y reparación del sistema automático de control de sólidos disueltos totales.

La capacitación comprenderá todos los aspectos técnicos de los elementos que integran el sistema de control, los procedimientos de operación y manuales de mantenimiento tanto los presentados en esta tesis como los manuales proporcionados por el fabricante.

Es importante que la capacitación del personal se realice de forma continua, para informar sobre cualquier cambio en el sistema, variación de algún elemento, nuevos procedimientos de operación y nuevas técnicas de mantenimiento.

Se debe considerar también en la capacitación la motivación del personal en forma de incentivos, para mantener a todos responsables del mantenimiento del sistema de control interesados en efectuar su trabajo de la forma más eficaz.

5.3 Mejoras obtenidas por el sistema automático de control de sólidos disueltos totales.

5.3.1 Evaluación del ahorro energético

La evaluación del ahorro energético se debe hacer bajo condiciones similares de operación de la caldera, debe ser realizada mensualmente. Entre las consideraciones que se deben tomar para la evaluación están:

- El consumo de vapor debe ser estable.
- El combustible usado en la caldera debe ser el mismo.
- Tomar en cuenta el aumento del precio del combustible, para poder registrar el ahorro real.

Para realizar la evaluación se debe registrar el consumo de combustible en los meses anteriores a la puesta en marcha del sistema y compararlo con el consumo después de la puesta en marcha.

5.3.2 Evaluación de la calidad del vapor

El sistema de control de sólidos disueltos totales contribuye a que la calidad del vapor generado en la caldera sea mejor. La calidad del vapor se refiere a que tan seco es el vapor generado en la caldera. Para poder evaluar la calidad del vapor, es importante utilizar un instrumento de medición, en este caso el calorímetro el cual mide el porcentaje de humedad del vapor. Entre menor sea el porcentaje de humedad del vapor mejor será la calidad de éste.

Para poder evaluar el sistema, desde el punto de vista de los beneficios de una generación de vapor seco, se pueden observar los siguientes aspectos de mejoras en el sistema de vapor:

1. Eliminación de golpes de ariete en la tubería desde la caldera hasta el distribuidor principal de vapor.
2. Menor descarga del sistema de trampeo de la línea principal de vapor.
3. Disminución de consumo de vapor de los equipos.
4. Disminución de incrustaciones en válvulas, trampas y demás accesorios del sistema de vapor.

5.3.3 Evaluación de las calderas

Para evaluar el correcto funcionamiento del sistema de control de sólidos disueltos totales, desde el punto de vista del estado físico de las calderas, se debe observar lo siguiente:

1. No deben existir incrustaciones en los tubos de gases calientes, del lado del agua.
2. Menor fatiga en las paredes de la caldera debido a cambios bruscos de temperatura.
3. Mejor transferencia térmica entre los gases calientes y el agua.
4. Nivel del agua de la caldera estable.
5. Eliminación de los arrastres de agua.

Tabla VII. Propiedades del vapor saturado

Presión manométrica		Presión absoluta		Temperatura de saturación t_s		Entalpías específicas				Volumen específico del vapor	
bar g	psi g	bar a	psi a	°C	°F	líquido hf	Evaporación, hfg	líquido hf	Evaporación, hfg	m³/kg	ft³/lb
						KJ/kg	KJ/kg	Btu/lb	Btu/lb		
-0.96	28.4	0.05	0.725	32.9	91	138	2423	59	1042	28.2	452
-0.91	27.0	0.1	1.45	45.8	114	192	2392	82	1029	14.7	236
-0.86	25.5	0.15	2.18	54.0	129	226	2373	97	1020	10.0	160
-0.81	24.0	0.2	2.90	60.1	140	251	2358	108	1014	7.65	123
-0.76	22.5	0.25	3.63	65.0	149	272	2346	117	1009	6.20	99.3
-0.71	21.1	0.3	4.35	69.1	156	289	2336	124	1004	5.23	83.8
-0.66	19.6	0.35	5.08	72.7	163	304	2327	131	1000	4.53	72.6
-0.61	18.1	0.4	5.80	75.9	169	318	2319	137	997	3.99	63.9
-0.56	16.6	0.45	6.53	78.7	174	330	2312	142	994	3.58	57.3
-0.51	15.1	0.5	7.25	81.3	178	341	2305	147	991	3.24	51.9
-0.46	13.7	0.55	7.98	83.7	183	351	2299	151	988	2.96	47.4
-0.41	12.2	0.6	8.70	85.9	187	360	2294	155	986	2.73	43.7
-0.36	10.7	0.65	9.43	88.0	190	369	2288	159	984	2.54	40.7
-0.31	9.24	0.7	10.2	90.0	194	377	2283	162	982	2.37	38.0
-0.26	7.77	0.75	10.9	91.8	197	384	2279	165	980	2.22	35.6
-0.21	6.29	0.8	11.6	93.5	200	392	2274	169	978	2.09	33.5
-0.16	4.81	0.85	12.3	95.1	203	399	2270	172	976	1.97	31.6
-0.11	3.34	0.9	13.1	96.7	206	405	2266	174	974	1.87	30.1
-0.06	1.86	0.95	13.8	98.2	209	411	2262	177	972	1.78	28.5
-0.01	0.38	1.0	14.5	99.6	211	418	2258	179	971	1.69	27.1
0	0	1.013	14.696	100	212	419	2257	180	970	1.67	26.8
0.1	1.45	1.11	16.1	103	217	430	2250	185	967	1.53	24.5
0.2	2.90	1.21	17.5	105	221	441	2243	190	964	1.41	22.6
0.3	4.35	1.31	19.0	107	225	450	2237	194	962	1.31	21.0
0.4	5.80	1.41	20.5	110	230	460	2231	198	959	1.23	19.7
0.5	7.25	1.51	21.9	112	234	468	2226	201	957	1.15	18.4
0.6	8.70	1.61	23.4	114	237	476	2220	205	954	1.08	17.3
0.7	10.2	1.71	24.8	115	239	484	2215	208	952	1.02	16.3
0.8	11.6	1.81	26.3	117	243	492	2211	212	951	0.971	15.6
0.9	13.1	1.91	27.7	119	246	499	2206	215	948	0.923	14.8
1.0	14.5	2.01	29.2	120	248	506	2201	218	946	0.881	14.1
1.1	16.0	2.11	30.6	122	252	512	2197	220	945	0.841	13.5
1.2	17.4	2.21	32.1	123	253	519	2193	223	943	0.806	12.9
1.3	18.9	2.31	33.5	125	257	525	2189	226	941	0.773	12.4
1.4	20.3	2.41	35.0	126	259	531	2185	228	939	0.743	11.9
1.5	21.8	2.51	36.4	128	262	536	2181	230	938	0.714	11.4
1.6	23.2	2.61	37.9	129	264	542	2177	233	936	0.689	11.0
1.7	24.7	2.71	39.3	130	266	547	2174	235	935	0.665	10.7
1.8	26.1	2.81	40.8	131	268	552	2170	237	933	0.643	10.3
1.9	27.6	2.91	42.2	133	271	557	2167	240	932	0.622	9.96
2.0	29.0	3.01	43.7	134	273	562	2163	242	930	0.603	9.66
2.2	31.9	3.21	46.6	136	277	572	2157	246	927	0.568	9.10
2.4	34.8	3.41	49.5	138	280	581	2151	250	925	0.536	8.59
2.6	37.7	3.61	52.4	140	284	589	2145	253	922	0.509	8.15
2.8	40.6	3.81	55.3	142	288	597	2139	257	920	0.483	7.74
3.0	43.5	4.01	58.2	144	289	605	2133	260	917	0.461	7.38
3.2	46.4	4.21	61.1	146	293	613	2128	264	915	0.440	7.05
3.4	49.3	4.41	64.0	147	297	620	2123	267	913	0.422	6.76
3.6	52.2	4.61	66.9	149	298	627	2118	270	911	0.405	6.49
3.8	55.1	4.81	69.8	150	302	634	2113	273	908	0.389	6.23
4.0	58.0	5.01	72.7	152	304	641	2108	276	906	0.374	5.99
4.2	60.9	5.21	75.6	153	307	647	2104	278	905	0.361	5.78
4.4	63.8	5.41	78.5	155	309	653	2099	281	902	0.348	5.57
4.6	66.7	5.61	81.4	156	313	659	2095	283	901	0.336	5.38
4.8	69.6	5.81	84.3	158	315	665	2090	286	899	0.325	5.21
5.0	72.5	6.01	87.2	159	316	671	2086	289	897	0.315	5.01
5.5	79.8	6.51	94.4	162	324	685	2076	295	893	0.292	4.68
6.0	87.0	7.01	102	165	329	698	2066	300	888	0.272	4.36
6.5	94.3	7.51	109	168	333	710	2057	305	884	0.255	4.09
7.0	102	8.01	116	171	338	721	2048	310	880	0.240	3.84
7.5	109	8.51	123	173	343	733	2039	315	877	0.227	3.64
8.0	116	9.01	131	175	347	743	2031	319	873	0.215	3.44
8.5	123	9.51	138	178	351	753	2023	324	870	0.204	3.27
9.0	131	10.0	145	180	354	763	2015	328	866	0.194	3.11
9.5	138	10.5	152	182	360	773	2008	332	863	0.185	2.96
10.0	145	11.0	160	184	363	782	2000	336	860	0.177	2.84
10.5	152	11.5	167	186	367	790	1993	340	857	0.171	2.74
11.0	160	12.0	174	188	370	798	1986	344	854	0.163	2.61
11.5	167	12.5	181	190	374	807	1979	347	851	0.157	2.51
12.0	174	13.0	189	192	376	815	1973	350	848	0.151	2.42
12.5	181	13.5	196	193	379	823	1966	354	845	0.146	2.34
13.0	189	14.0	203	195	383	830	1960	357	843	0.141	2.26
13.5	196	14.5	210	197	385	838	1953	360	840	0.136	2.18
14.0	203	15.0	218	198	388	845	1947	363	837	0.132	2.11
14.5	210	15.5	225	200	392	852	1941	366	834	0.128	2.05
15.0	218	16.0	232	202	394	859	1935	369	832	0.124	1.99
15.5	225	16.5	239	203	397	866	1929	372	829	0.120	1.92
16.0	232	17.0	247	204	399	872	1923	375	827	0.117	1.87
16.5	239	17.5	254	205	401	879	1918	378	824	0.114	1.83
17.0	247	18.0	261	207	405	885	1912	381	822	0.110	1.76
17.5	254	18.5	268	209	408	891	1907	383	820	0.108	1.73

Fuente: Wark Kenneth. Termodinámica. 5ª. Edición. México: Editorial MacGraw-Hill. 1991.pág. 824

CONCLUSIONES

1. Debido al aumento constante en los combustibles derivados del petróleo, es de suma importancia recuperar energía de los puntos posibles, como lo es el control de sólidos disueltos totales del agua de la caldera. La implementación del sistema automático genera ahorros del 25% sobre la facturación de combustible.
2. Los manuales de mantenimiento correctivo y preventivo, así como los manuales proporcionados por los fabricantes de los distintos elementos que componen el sistema de control de sólidos disueltos totales, son la guía para todas las acciones correctivas y preventivas de mantenimiento para el personal encargado de realizarlas.
3. Actualmente, para controlar los sólidos disueltos totales se está purgando más agua de la necesaria, lo cual genera una pérdida energética 2,726,440,412.40 KJ anuales.
4. El procedimiento descrito en el manual de calibración del sistema de sólidos disueltos totales garantiza la fiabilidad en la calibración del controlador de sólidos disueltos totales.
5. El retorno de la inversión es de 5.34 meses, por lo cual el proyecto se pagará con los ahorros conseguidos en combustible en menos de un año.

6. La inversión para la implementación del sistema automático de control de sólidos disueltos totales es de Q 89,000.00 y el ahorro que genera actualmente, en concepto de combustible es de Q 200,862.00, con estos datos el resultado de la razón beneficio costo es de 2,25, por lo cual la realización del proyecto se justifica, debido a que es mayor a uno.

RECOMENDACIONES

1. Para garantizar el óptimo funcionamiento y prolongar la vida útil del sistema de control, es imprescindible implementar un plan de mantenimiento, guiándose por los manuales del fabricante de cada elemento que compone al sistema y por los manuales presentados en este informe.
2. Debido al avance acelerado de la tecnología, se debe estar informado en nuevos controladores, sensores y válvulas para ir actualizando y mejorando el sistema de control. Las especificaciones presentadas en este informe deben tomarse como base para la selección de nuevos elementos para el sistema.
3. Para realizar el mantenimiento del sistema, el personal encargado se debe basar en los manuales de mantenimiento correctivo y preventivo, así como en los manuales proporcionados por los fabricantes de cada uno de los elementos del sistema.
4. Para realizar la calibración del sistema de sólidos disueltos totales, el personal encargado se debe basar en los manuales de calibración que describen las operaciones a seguir y en el procedimiento de toma de muestra y calibración especificados en este informe.

BIBLIOGRAFÍA

1. ICAITI. **Ahorro de energía en sistemas de vapor.** Estados Unidos. 1981.
2. ICAITI. **Mejoramiento de la eficiencia de operación de caldera de vapor.** Estados Unidos 1981.
3. Nicholson. **Steam traps and specialties designer's guide.** 2a. edición. Estados Unidos. 2004.
4. Nordhaus. William. Samuelson, Paul. **Economía.** 17a. edición. España. Editorial McGraw-Hill.2002.
5. Spence. **Steam and fluid control designer's guide.** 2a. edición. Estados Unidos. 2004.
6. Serverns, W.H. Degler, J.C. Miles, J.C. **La producción de energía mediante el vapor de agua, el aire y los gases.** 5ª. Edición. México: Editorial Reverte, S.A. 1976
7. Spirax Sarco. **Design of fluid system: hook ups.** Estados Unidos. 2000.
8. Spirax Sarco. **Design of fluid system: steam utilization.** Estados Unidos. 2000
9. Spirax Sarco. **Product Manual.** Estados Unidos. 2000

10. Wark Kenneth. **Termodinámica**. 5^a. Edición. México: Editorial MacGraw-Hill. 1991.