



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ
FACULTAD DE CIENCIAS MATEMÁTICAS FÍSICAS Y
QUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
TRABAJO DE TITULACIÓN

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:

INGENIERO QUÍMICO
Modalidad: Trabajo Comunitario

TEMA:

“MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE GENERACIÓN DE VAPOR
DEL LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS DE LA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA, DE LA FACULTAD DE
CIENCIAS MATEMÁTICAS, FÍSICAS Y QUÍMICAS, DE LA
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ”

AUTORES:

CUSME CHINGA GABRIEL ANTONIO
VALENCIA MACIAS GUILLERMO RAFAEL

DIRECTOR DE TESIS:

ING. FRANCISCO SANCHEZ

PRTOVIEJO-MANABÍ-ECUADOR
2014

DEDICATORIA

Este trabajo de tesis de grado está dedicado a **DIOS**, por darme la vida a través de mis queridos **PADRES** quienes con mucho cariño, amor y ejemplo han hecho de mi una persona con valores para poder desenvolverme a lo largo del camino.

A mi familia, que ha estado a mi lado dándome cariño, confianza y apoyo incondicional para seguir adelante y poder completar esta etapa en mi vida y que me ha llevado a seguir superándome día a día, para alcanzar mis más apreciados ideales de superación.

Ellos fueron quienes en los momentos más difíciles me dieron su amor y comprensión para poderlos superar.

Por todo esto, dedico a ellos este trabajo, producto de mi esfuerzo.

Guillermo Valencia

DEDICATORIA

Dedico este trabajo principalmente a Dios que es quien nos da fuerza, sabiduría, amor y paciencia; sobre todo porque nos ayuda a ser mejores y afrontar cualquier problema que se nos presente en nuestra vida.

A mis Padres porque gracias a ellos soy quien soy por sus buenos consejos por sus sacrificios de que nunca me faltó nada, por el mejor regalo que me pudieron haber dado la vida y mis estudios gracias a ellos porque me ayudan a ser mejor persona y son el pilar fundamental de mi vida.

A mi hermano que ha sido mi guía y mi apoyo a mi hermana que está en cielo que ella desde arriba me cuida.

A mi enamorada Mary Carmen quien me ha ayudado y apoyado en lo largo de mi carrera.

Gabriel Cusme

AGRADECIMIENTOS

Les agradecemos a Dios por habernos acompañado y guiado a lo largo de esta carrera, por darnos fuerzas y voluntad en los momentos difíciles.

A nuestros padres por el apoyo brindado en todo momento y por ser un ejemplo a seguir.

Les agradecemos la confianza, el apoyo y la dedicación del tiempo a nuestros profesores por haber compartido con nosotros sus conocimientos, pero sobre todo, su amistad.

Gracias al Ing. Francisco Sánchez por creer en nosotros y habernos brindado la oportunidad de desarrollar nuestra tesis profesional, y por el apoyo y facilidades que nos fueron brindadas por la Universidad. Gracias por darnos la oportunidad de crecer profesionalmente y aprender cosas nuevas.

A los compañeros de tesis, por la paciencia y el esfuerzo dedicado.

A los miembros del jurado Ing. Rodolfo Rivadeneira, Ing. Iván Cisneros e Ing. Alexandra Córdova; por sus enseñanzas impartidas a lo largo de los años y el tiempo dedicado a convertirnos en profesionales de éxito en una carrera tan exigente.

A todos ellos, gracias.

Los Autores

CERTIFICACIÓN

Ingeniero FRANCISCO SANCHEZ, catedrático de la Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas de la Universidad Técnica de Manabí, para los fines legales

CERTIFICA:

Que la tesis titulada "MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE GENERACIÓN DE VAPOR DEL LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA, DE LA FACULTAD DE CIENCIAS MATEMÁTICAS, FÍSICAS Y QUÍMICAS, DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ." fue desarrollada bajo mi dirección y control por los señores CUSME CHINGA GABRIEL ANTONIO, VALENCIA MACÍAS GUILLERMO RAFAEL, previo a la obtención del Título de INGENIERO QUÍMICO, cumpliendo con todos los requisitos del nuevo Reglamento para la Elaboración de Tesis de Grado que exige la Universidad, alcanzado mediante el esfuerzo, dedicación y perseverancia demostrado por los autores de este trabajo.

ING. FRANCISCO SANCHEZ

DIRECTOR DE TESIS

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABI
FACULTAD DE CIENCIAS MATEMÁTICAS, FÍSICAS Y QUÍMICAS
CARRERA DE INGENIERIA QUÍMICA

TEMA:

MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE GENERACIÓN DE VAPOR DEL LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA, DE LA FACULTAD DE CIENCIAS MATEMÁTICAS, FÍSICAS Y QUÍMICAS, DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ

TESIS DE GRADO

Sometida a consideración del Tribunal de Revisión u Sustentación, y Legalizado por el Honorable Consejo Directivo como requerimiento previo a la obtención del título de:

INGENIERO QUÍMICO

TRIBUNAL EXAMINADOR

ING. RODOLFO RIVADENEIRA

PRES. TRIBUNAL DE REVISIÓN Y EVALUACIÓN

**ING. ALEXANDRA CÓRDOVA
PÉREZ**

MIEMBRO DOCENTE

ING. IVÁN CISNEROS

MIEMBRO DOCENTE

DECLARACIÓN SOBRE LOS DERECHOS DE AUTOR

Los autores de la presente tesis ceden todos sus derechos de autoría sobre el tema:
“MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE GENERACIÓN DE VAPOR DEL LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA, DE LA FACULTAD DE CIENCIAS MATEMÁTICAS, FÍSICAS Y QUÍMICAS, DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ”, a la Universidad Técnica de Manabí.

.....

Cusme Chinga Gabriel Antonio

AUTOR DE TESIS

.....

Valencia Macías Guillermo Rafael

AUTOR DE TESIS

INDICE

CONTENIDO

RESUMEN.....	12
SUMMARY	13
1 TEMA.	14
2 LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO.....	15
2.1 MACROLOCALIZACIÓN.....	15
2.2 MICROLOCALIZACIÓN.	16
3 FUNDAMENTACION.	17
3.1 DIAGNOSTICO DE LA COMUNIDAD.	17
3.2 IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA.	18
3.3 PRIORIZACIÓN DEL PROBLEMA.	18
4 DELIMITACION.	19
5 ANTECEDENTES.....	20
6 JUSTIFICACIÓN.....	21
7 OBJETIVOS:	22
7.1 OBJETIVO GENERAL.	22
7.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.	22
8 MARCO DE REFERENCIA.....	23
8.1 LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS.....	23
8.2 SISTEMA DE GENERACIÓN DE ENERGIA.....	25
8.2.1 IMPORTANCIA DE LAS CALDERAS.....	28
8.2.2 FUNCIONAMIENTO DEL GENERADOR DE VAPOR	28
8.2.3 EL AGUA COMO SUSTANCIA DE TRABAJO.	30
8.2.4 CARACTERÍSTICAS QUE DIFERENCIAN LAS FASES VAPOR Y LÍQUIDO.....	30
8.2.5 TIPOS DE CALDERAS	31
8.2.6 COMPONENTES Y PRINCIPIOS DE FUNCIONAMIENTO DE LOS GENERADORES DE VAPOR	35
8.2.6.1 DESCRIPCIÓN Y PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DE LAS CALDERAS PIROTUBULARES.....	35

8.2.6.2	DESCRIPCIÓN Y PRINCIPIOS DE FUNCIONAMIENTO DE UNA CALDERA ACUOTUBULAR DE CIRCULACIÓN NATURAL.	37
8.2.6.3	PARTES COMPONENTES DE UNA CALDERA ACUOTUBULAR:	39
8.2.7	COMPARATIVA DE CALDERA PIROTUBULAR Y CALDERA ACUOTUBULAR	39
8.2.8	VARIABLES DE CONTROL DE LA CALDERA	43
8.3	AGUA DE ALIMENTACIÓN DE CALDERAS	43
8.3.1	GENERALIDADES DEL AGUA	45
8.3.2	FUENTES DE AGUA	45
8.3.3	CONSTITUYENTES DEL AGUA	46
8.3.4	LAS IMPUREZAS EN EL AGUA DE ALIMENTACIÓN SE CONCENTRAN EN LA CALDERA.....	47
8.3.5	TRATAMIENTO DEL AGUA DE CALDERAS	50
8.3.6	PARÁMETROS TRATAMIENTO DEL AGUA.....	50
8.3.7	DUREZA DEL AGUA	51
8.3.8	INCRUSTACIONES	52
8.3.8.1	PREVENCIÓN DE LA FORMACIÓN DE INCRUSTACIONES .	53
8.3.8.2	INCRUSTACIONES MÁS COMUNES	53
8.3.9	CAVITACIÓN.....	54
8.3.10	INTERCAMBIO IÓNICO.....	54
8.3.10.1	REGENERACIÓN	55
8.3.10.2	RESINAS INTERCAMBIADORAS DE IONES	55
8.3.10.3	CONTROL FÍSICO-QUÍMICO DEL AGUA.....	56
8.3.11	CORROSIÓN DEL SISTEMA DE CONDENSADO.....	56
8.3.12	ARRASTRE DE AGUA.....	57
8.3.13	TRATAMIENTO EXTERNO.....	58
8.3.14	TRATAMIENTO INTERNO.....	58
8.3.15	PROBLEMAS DERIVADOS DE LA UTILIZACIÓN DEL AGUA EN CALDERAS.....	58
8.3.16	PROBLEMAS FRECUENTES QUE INFLUYEN EN LA EN LA OPERACIÓN DE LA CALDERA.....	59

8.3.17	LA CONTAMINACIÓN AMBIENTAL EN LA GENERACIÓN DE VAPOR.....	59
8.3.17.1	PRINCIPALES FUENTES DE CONTAMINACIÓN.....	59
8.3.17.2	REGULACIONES SOBRE EMISIONES CONTAMINANTES.....	63
8.3.17.3	MÉTODOS DE REDUCCIÓN DE LAS EMISIONES CONTAMINANTES	63
8.3.18	OBJETIVOS DEL ACONDICIONAMIENTO DEL AGUA.....	66
8.4	TRATAMIENTO PREVENTIVO PARA CALDERAS.....	66
8.4.1	GENERALIDADES	66
8.4.2	MANTENIMIENTO MÍNIMO A REALIZARSE A UNA CALDERA.....	67
8.4.2.1	RUTINAS DIARIAS.....	67
8.4.2.2	RUTINAS MENSUALES.....	67
8.4.2.3	RUTINAS BIMESTRALES.....	67
8.4.2.4	RUTINAS SEMESTRALES.....	68
8.4.2.5	RUTINAS ANUALES.....	68
9	BENEFICIARIOS.....	69
9.1	DIRECTOS.....	69
9.2	INDIRECTOS.....	69
10	METODOLOGÍA.....	70
10.1	CARACTERIZACIÓN DEL SISTEMA DE GENERACIÓN DE VAPOR Y ACCESORIOS.....	70
10.2	OPTIMIZACIÓN DEL EQUIPO.....	71
10.2.1	MANTENIMIENTO ANUAL DE CALDERA PIROTUBULAR TERMPAK 12HP VERTICAL.....	71
10.3	DISTRIBUIDOR DE VAPOR PRINCIPAL	72
10.4	FILTRO DE ARENA Y ABLANDADOR DE H ₂ O.....	73
10.5	DIAGRAMA DE LA CALDERA	74
10.6	IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA PROBLEMA	77
10.7	PUESTA EN FUNCIONAMIENTO EL EQUIPO.....	77
10.8	PRÁCTICAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS PARA CALDERA, PARÁMETROS FÍSICOS	78

10.8.1	OXÍGENO DISUELTO	78
10.8.2	DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE HIDROGENO (PH)	79
10.8.3	DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS (TDS)	80
10.9	PRÁCTICAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS PARA CALDERA, PARÁMETROS QUÍMICOS.	81
10.9.1	DETERMINACIÓN DE ALCALINIDAD.	81
10.9.2	DETERMINACIÓN DE DUREZA TOTAL.....	82
10.9.3	DETERMINACIÓN DE CLORUROS.....	83
10.9.4	DETERMINACIÓN DE SÍLICE.....	84
10.9.5	DETERMINACIÓN DE HIERRO	85
11	RECURSOS.....	86
11.1	RECURSOS HUMANOS.	86
11.2	RECURSOS OPERATIVOS.	86
11.3	RECURSOS FINANCIEROS.....	86
12	RESULTADOS OBTENIDOS.	87
12.1	DETERMINACION DE CLORUROS	87
12.2	DETERMINACIÓN DE LA ALCALINIDAD	88
12.3	DETERMINACIÓN DE LA DUREZA.....	89
12.4	DETERMINACIÓN DE DIVERSOS PARAMETROS.....	90
12.5	COMPARATIVA DE VALORES REQUERIDOS Y OBTENIDOS	90
13	ANÁLISIS DE COSTOS.....	91
14	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	93
14.1	CONCLUSIONES.....	93
14.2	RECOMENDACIONES.	94
15	BIBLIOGRAFIA	95
16	PRESUPUESTO.	97
17	CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES.	98
18	ANEXOS.....	99

RESUMEN

Para un laboratorio de operaciones unitarias su componente principal es la caldera, este equipo se considera el corazón principal del laboratorio, ya que produce la energía necesaria para poner en marcha cada una de las operaciones que se realicen dentro del mismo.

Cada gramo de vapor de agua contiene aproximadamente 640 kcal y es fácil de producir, por lo que se considera la manera más adecuada y económica de transportar grandes cantidades de calor. El vapor dentro de la industria cumple un sin número de funciones, ya sea utilizado como calefacción, destilación, evaporación, para secar o para convertirlo en energía mecánica mediante turbinas.

Toda industria o laboratorio de operaciones unitarias debe contar con un correcto sistema de generación de vapor, el cual cumpla con los parámetros mínimos requeridos para la puesta en marcha de los equipos que se van a operar dentro del mismo. En caso de que este sistema no tenga un funcionamiento adecuado, la industria no podrá operar de la forma más eficiente, lo cual implicaría pérdidas de tiempo y dinero.

Todos los equipos dentro de un laboratorio de operaciones unitarias así como en una industria deben tener un mantenimiento preventivo para alargar su vida útil y mantener la calidad del producto final de cada operación. El sistema de generación de vapor no es la excepción, al contrario, es la prioridad.

La universidad técnica de Manabí cuenta con un laboratorio de operaciones unitarias el cual tiene como objetivo que los estudiantes de la carrera de ingeniería química amplíen sus conocimientos en un ambiente práctico para un mejor aprendizaje. Dicho laboratorio no ha contado con los mantenimientos adecuados lo que ocasionó que en el presente no esté operando de la manera adecuada.

En el presente trabajo comunitario está enfocado en mejorar el sistema de generación de vapor, para obtener como resultado que dicho laboratorio vuelva a realizar las funciones para las cuales fue diseñado. También consta con un manual de operaciones y mantenimientos adecuados a realizarse a este sistema, sirviendo así como herramienta para mejorar el aprendizaje y la formación profesional de los estudiantes.

SUMMARY

For a laboratory unit operations its main component is the boiler, this team is considered the main heart of the laboratory, producing the energy needed to implement each of the operations performed therein.

Each gram of water vapor containing approximately 640 kcal and is easy to produce, which is considered the most suitable and economical way to transport large amounts of heat. The steam within the industry has not die plays a function, whether used as heating, distillation, evaporation, drying or convert mechanical energy by turbines.

Every industry or unit operations laboratory must have a correct steam generation system, which meets the minimum parameters required for commissioning of equipment that will operate within it. If this system is operating properly, the industry can not operate in the most efficient way, which would mean wasting time and money.

All computers in a laboratory unit operations as well as an industry should be preventative maintenance to extend its life and maintain the quality of the final product of each operation. The steam generation system is no exception, in contrast, is the priority.

The Technical University of Manabi has a laboratory unit operations which aims that students studying chemical engineering expand their knowledge in a practical environment for better learning. The laboratory has lacked proper maintenance which caused the present is not operating properly.

In this community work is focused on improving steam generation system, to result in that laboratory as redo functions for which it was designed. Also includes a manual of operations and adequate maintenance done to this system, thus serving as a tool to enhance learning and training of students.

1 TEMA.

MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE GENERACIÓN DE VAPOR DEL LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA, DE LA FACULTAD DE CIENCIAS MATEMÁTICAS, FÍSICAS Y QUÍMICAS, DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ.

2 LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO.

Este proyecto se realizará tendrá lugar en la ciudad de Portoviejo capital de la provincia de Manabí la cual limita al norte con la Provincia de Esmeraldas, al Sur con la Provincias de Santa Elena y Guayas, al Este con las Provincias de Los Ríos y Santo Domingo de los Tsachilas, y al Oeste con el Océano Pacifico.

2.1 MACROLOCALIZACIÓN.

El presente proyecto se realizará en las instalaciones de la Facultad de Ciencias Matemáticas Físicas y Químicas de la Universidad Técnica de Manabí, que se encuentra ubicada en la Avenida José María Urbina, y Che Guevara del Cantón Portoviejo de la Provincia de Manabí.



2.2 MICROLOCALIZACIÓN.

El lugar en donde se efectuará el trabajo de investigación es en la Universidad Técnica de Manabí en el Laboratorio de Operaciones Unitarias de la escuela de Ingeniería Química de la Facultad de Ciencias Matemáticas Físicas y Químicas.



3 FUNDAMENTACION.

Una educación de calidad requiere que las instituciones de educación superior cuenten con laboratorios de primera; en los cuales se puedan realizar prácticas que permitan alcanzar los conocimientos necesarios. La Universidad Técnica de Manabí cuenta con amplios laboratorios los mismos que brindan dichos conocimientos y está dotado con docentes capacitados para utilizar estos laboratorios.

Con la finalidad de mejorar el desempeño de la Universidad Técnica de Manabí y brindar las facilidades a los estudiantes de esta institución, la misma que goza de un gran prestigio y es reconocida a nivel nacional por la calidad de profesionales que egresan de ella; nuestro objetivo primordial es mejorar el sistema de generación de vapor que abastece al Laboratorio de Operaciones Unitarias, permitiendo así el buen funcionamiento del resto de equipos que se encuentran en él, así como implementar nuevas prácticas contribuyendo así con el objetivo que tiene esta Universidad.

3.1 DIAGNOSTICO DE LA COMUNIDAD.

Conociendo la necesidad de incorporar nuevas y mejores técnicas de aprendizaje para aumentar los conocimientos de los estudiantes, se incorporó a las instalaciones de la Facultad de Ciencias Matemáticas Físicas y Químicas el Laboratorio de Operaciones Unitarias, el mismo que cumplió su función durante varios años brindándole beneficios a la comunidad estudiantil.

Sin embargo, el crecimiento de la comunidad universitaria dentro de la Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas hace que la Universidad se vea en la necesidad de realizar un mejoramiento al sistema de generación de vapor del laboratorio de operaciones unitarias, logrando con esto mejorar su eficiencia.

De esta manera se obtendrán mejores resultados al momento de operar los equipos existentes en este laboratorio; puesto que por motivos de los años de servicio de esta maquinaria se hace necesario un mejoramiento en su sistema.

Esto ayudará a que futuros estudiantes de esta Facultad cuenten con mejores oportunidades para el desarrollo de diversas prácticas cimentando con esto sus destrezas y conocimientos, que les servirán en un futuro en el campo laboral y profesional, ya que contarán con la experiencia necesaria en la manipulación de diversas operaciones unitarias.

3.2 IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA.

La Universidad Técnica de Manabí y la escuela de Ingeniería Química cuentan con un sistema de generación de vapor el cual no se encuentran en óptimas condiciones para su uso; es por ello que esta investigación se encuentra dirigida al mejoramiento de este sistema; logrando con esto poder realizar diversas prácticas en los diferentes equipos con los que cuenta el laboratorio de operaciones unitarias.

3.3 PRIORIZACIÓN DEL PROBLEMA.

Después de haber analizado los problemas que presenta la escuela de Ingeniería Química, se evidencia el déficit presentado por los estudiantes en el campo práctico, al no poder utilizar los equipos y así realizar las prácticas establecidas en el semestre respectivo se hace indispensable que mejoremos el sistema de generación de vapor para que así los estudiantes de la escuela puedan beneficiarse realizando las prácticas que establece el respectivo pensum de estudio.

4 DELIMITACION.

CAMPO: Operaciones Unitarias.

AREA: Laboratorio.

ASPECTO: Mejoramiento.

DELIMITACION ESPACIAL: El presente proyecto se realizara en el Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad Técnica de Manabí.

DELIMITACION TEMPORAL: El presente proyecto se realizara durante el periodo de Junio 2014 a Diciembre 2014.

5 ANTECEDENTES.

La Facultad de Ciencias Matemáticas Físicas y Químicas de la Universidad Técnica de Manabí empieza a realizar sus labores inaugurándose el 13 de Octubre de 1958 comenzando con las escuelas de Ingeniería Civil y Mecánica, después de 2 años el 16 de Mayo de 1970 se crea la Escuela de Ingeniería Civil e Industrial, y el 5 agosto de 2003 se logra crear la escuela de Ingeniería Química. La Escuela de Ingeniería Química tiene como objetivo formar profesionales totalmente calificados y que sirvan para el desarrollo industrial del País.

Siendo la Facultad de Ciencias Matemáticas Físicas y Químicas una de las más antiguas de la Universidad, las escuelas no presentan laboratorios adecuados para realizar prácticas, y estos laboratorios son de mucha importancia para para los estudiantes y docentes.

El Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Escuela de Ingeniería Química en su actualidad no presta las condiciones necesaria para que los estudiantes puedan recibir su catedra como se debe y de igual manera los docentes no pueden impartir su materia con las respectivas prácticas.

En el sistema enseñanza aprendizaje de todas las ciencias y en la industria, es muy importante contar con laboratorios que permitan obtener un conocimiento práctico y concreto, puesto que, el trabajo práctico proporciona un aprendizaje basado en experiencias personales.

Los usos académicos que aportan los laboratorios son importantes ya que establecen un espacio donde combinamos el ámbito académico antes mencionado con la industria logrando así un amplio nivel de conocimientos a adquirir por el estudiante.

6 JUSTIFICACIÓN.

La Universidad Técnica de Manabí cuenta con un Laboratorio de Operaciones Unitarias el cual está destinado para que los estudiantes realicen prácticas correspondientes a su especialidad, las mismas que, sin duda, son parte fundamental de la formación académica de la escuela de Ingeniería Química.

Sin embargo, este Laboratorio no se encuentra en óptimas condiciones para cumplir con la función a él destinada. Por tal motivo, el presente trabajo está tendiente al mejoramiento del sistema de generación de vapor, el cual es el corazón del laboratorio.

Con este mejoramiento se desea crear las condiciones necesarias para que el Laboratorio de Operaciones Unitarias pueda brindar la utilidad requerida por los estudiantes de la escuela y de la institución.

Para la realización del presente trabajo se tiene la ventaja de contar con el espacio físico, dotación de dispositivos y equipos necesarios, el personal calificado, así como del apoyo de las autoridades respectivas de la Universidad.

De esta manera se justifica el trabajo que busca contribuir con la mejora en la calidad de la educación de las futuras generaciones de estudiantes.

7 OBJETIVOS:

7.1 OBJETIVO GENERAL.

Mejorar el sistema de generación de vapor del Laboratorio de Operaciones unitarias de la escuela de ingeniería química, de la Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas, de la Universidad Técnica de Manabí.

7.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

- Poner a punto el sistema de generación de vapor del laboratorio de operaciones unitarias.
- Implementar al menos dos prácticas de laboratorio para el uso de sistemas de tratamiento de aguas.
- Demostrar en la práctica el uso de los sistemas de ablandamiento e intercambio iónico.
- Elaborar un diagrama y manual de operación del sistema de generación de vapor para su aplicación en las instalaciones del laboratorio de operaciones unitarias.
- Definir costos de operación del sistema de generación de vapor.

8 MARCO DE REFERENCIA.

8.1 LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS.

Las operaciones unitarias son parte fundamental del conocimiento de Ingeniero Químico. El laboratorio de operaciones unitarias cuenta con los equipos necesarios para que al finalizar el periodo de enseñanza aprendizaje dentro de la universidad por parte del alumno este alcance las competencias necesarias para desempeñarse en una industria, ya que todos estos equipos se diseñaron con el objetivo de llevar la teoría a la práctica como lo exige la educación basada en competencias. La aplicación de cada uno de los equipos no se limita a una sola asignatura lo que da como resultado una gran versatilidad en su uso y aprendizajes en las diferentes asignaturas del programa de Ingeniería Química. (Eduardo Vargas Cortes, 2006)

La ingeniería química trata de procesos industriales en los que las materias primas se transforman o separan en productos útiles. El ingeniero químico tiene que desarrollar, diseñar y llevar a cabo el proceso, así como el equipo utilizado en el mismo. Tiene que elegir las materias primas adecuadas y hacer operar las plantas con eficacia, seguridad y economía, teniendo en cuenta que sus productos han de cumplir las condiciones exigidas por los consumidores. Lo mismo que la ingeniería en general, la ingeniería química es también un arte y una ciencia. El ingeniero utilizará la ciencia siempre que le permita resolver sus problemas. (Warren L., 1991)



Figura #1: Laboratorio de Operaciones Unitarias

Para Warren L. McCabe (1991), un método muy conveniente para organizar la materia de estudio que abarca la ingeniería química se basa en dos hechos: (1) Aunque el número de procesos individuales es muy grande, cada uno de ellos puede dividirse en una serie de etapas, denominadas operaciones, que se repiten a lo largo

de los distintos procesos. (2) Las operaciones individuales poseen técnicas comunes y se basan en los mismos principios científicos. Por ejemplo, en la mayor parte de los procesos es preciso mover sólidos y fluidos, transmitir calor u otras formas de energía desde una sustancia a otra, y realizar operaciones tales como secado, molienda, destilación y evaporación.

Diversas técnicas y principios científicos son fundamentales para el estudio de las operaciones básicas. Algunos de ellos son leyes elementales de física y química, mientras que otros corresponden a técnicas especiales que resultan particularmente útiles en ingeniería química. (Warren L., 1991)

Todos los procesos químico-industriales pueden desdoblarse en una serie de etapas u operaciones individuales que aparecen de forma reiterativa, que se basan en análogos principios científicos y que tienen técnicas de cálculo comunes. Así, por ejemplo, en la mayoría de los procesos químico-industriales hay que transportar fluidos y sólidos, deben efectuarse separaciones por tamizado, filtración, centrifugación, sedimentación, etc., hay que calentar o enfriar las distintas sustancias, deben efectuarse separaciones basadas en la transferencia de materia, como destilación, extracción, lixiviación, absorción, adsorción, secado, etc. (A.D. Little, 1915)

Una operación unitaria puede definirse como un "área del proceso o un equipo donde se incorporan materiales, insumos o materias primas y ocurre una función determinada, son actividades básicas que forman parte del proceso." Por ejemplo, la producción de pulpa o el descortezado en una fábrica de papel, o la destilación en un proceso de elaboración de productos químicos. Sería prácticamente imposible estudiar el número casi infinito de procesos químicos que se llevan a cabo en la industria diariamente, si no hubiera un punto en común a todos ellos. Cualquier proceso que se pueda diseñar consta de una serie de operaciones físicas y químicas que, en algunos casos son específicas del proceso considerado, pero en otros, son operaciones comunes e iguales para varios procesos. (Lange Maria, 2010)



Figura #2: Laboratorio de Operaciones Unitarias

El siguiente concepto fue introducido en 1915 por el profesor Little, del Massachusetts Institute of Technology (M.I.T). La definición dada entonces, fue la siguiente: "... todo proceso químico conducido en cualquier escala puede descomponerse en una serie ordenada de lo que pudieran llamarse OPERACIONES UNITARIAS, como pulverización, secado, cristalización, filtración, evaporación, destilación... El número de estas operaciones básicas no es muy grande, y generalmente sólo unas cuantas de ellas intervienen en un proceso determinado."

El Dr. Little (1932), director del Comité de Educación del A.I.Ch.E. señalaba en un informe para dicho Instituto: "La Ingeniería Química es una rama de la ingeniería, cuya base son las operaciones unitarias que adecuadamente ordenadas y coordinadas constituyen un proceso químico tal y como opera a escala industrial".

Para que un laboratorio de Operaciones Unitarias pueda funcionar en su totalidad debe contar con una fuente que le abastezca de la energía suficiente para poner en marcha los distintos tipos de procesos a llevarse a cabo dentro del mismo.

Conociendo la primer Ley de la Termodinámica, "la energía no se crea ni se destruye, solo se transforma" podemos repartir energía a los distintos equipos dentro del Laboratorio de Operaciones Unitarias gracias a un componente básico y abundante, como lo es el agua, que tiene la propiedad de poder almacenar gran cantidad de energía al estar en estado de vapor, podrá ser utilizada posteriormente en las diferentes operaciones.

La caldera siendo un intercambiador de calor en el cual se quema combustibles para convertirlos en energía y transferirlos al agua elevando su temperatura hasta el punto de ebullición alcanzando su estado de vapor; obtendremos la materia prima para el funcionamiento del Laboratorio de Operaciones Unitarias. Esto nos da a entender que el principal equipo del Laboratorio es la caldera, que es el corazón de todos los procesos ya que gracias a él se pone en marcha cada operación.

8.2 SISTEMA DE GENERACIÓN DE ENERGIA.

Pocas tecnologías han aportado tanto el desarrollo de la humanidad como la generación y utilización del vapor en procesos tecnológicos. Los antecedentes de su uso se remontan a épocas antes de nuestra era, y se dice que constituyó la chispa de la Revolución Industrial, momento a partir del cual se produce el desarrollo acelerado de la industria moderna de procesos.

Los sistemas de vapor tienen hoy en día un uso muy extenso en aplicaciones diversas, tales como generación de energía mecánica y eléctrica, como agente calefactor en servicios comerciales e industriales, y como materia prima en determinados procesos entre otros. (Aníbal Borroto Nordelo, 2007)

El vapor de agua es un servicio muy común en la industria, que se utiliza para proporcionar energía termina a los procesos de transformación de materias a productos, por lo que la eficiencia para generarlo, la distribución adecuada y el control de consumo, tendrá un impacto en la eficiencia total de la planta. (Comisión Nacional para el Ahorro de Energía, 2002)

El elemento central en un sistema de vapor lo constituye el **generador de vapor** o caldera de vapor, el cual vapor tiene la función de transferir al agua, la energía en forma de calor de los gases producto de la combustión de la sustancia combustible, para que esta se convierta en vapor.

El generador de vapor está constituido por un conjunto de superficies de calentamiento y equipos, integrados en un esquema tecnológico para generar y entregar vapor en la cantidad, con los parámetros, calidad y en el momento requerido por los equipos de uso final, en forma continua y operación económica y segura, a partir de la energía liberada en la combustión de un combustible orgánico. (Aníbal Borroto Nordelo, 2007)

Debido a las amplias aplicaciones que tiene el vapor, principalmente de agua, las calderas son muy utilizadas en la industria para generarlo para aplicaciones como:

- Esterilización (tindarización), es común encontrar calderas en los hospitales, las cuales generan vapor para esterilizar los instrumentos médicos, también en los comedores con capacidad industrial se genera vapor para esterilizar los cubiertos.
- Calentar otros fluidos, por ejemplo, en la industria petrolera se calienta a los petróleos pesados para mejorar su fluidez y el vapor es muy utilizado.
- Generar electricidad a través de un ciclo Rankine. Las calderas son parte fundamental de las centrales termoeléctricas.

(Latorre Gisela, 2010)

El término de generador de vapor está siendo utilizado en la actualidad para reemplazar la denominación de caldera, e indica al conjunto de equipos compuestos por: horno (u hogar), cámaras de agua (o evaporador), quemadores, sobrecalentadores, recalentadores, economizador y precalentador de aire.

Básicamente, una caldera consta de un hogar, donde se produce la combustión y un intercambiador de calor, donde el agua se calienta. Además tiene un sistema para evacuar los gases procedentes de la combustión.

El agua puede calentarse a diferentes temperaturas. En las calderas normales no se suelen sobrepasar los 90 °C, por debajo del punto de ebullición del agua a presión atmosférica. En calderas más grandes, para dar servicio a barriadas, se llega hasta los 140 °C, manteniendo la presión alta en las conducciones para que no llegue a recalentarse (agua sobrecalentada). Existen también calderas de vapor, en las que el agua se lleva a la evaporación y se distribuye el vapor a los elementos terminales, pero en Europa está bastante en desuso, porque la temperatura superficial de éstos resulta ser muy alta y entraña peligro de quemaduras. Existen también calderas en que el agua se calienta a temperaturas inferiores a 70 °C y que consiguen elevados rendimientos. (Latorre Gisela, 2010)

Los generadores de vapor deben ser equipos capaces de separar las gotas portadoras de impurezas (partículas, pirógenos, etc.) y por tanto de producir vapor puro de calidad constante. Para ello, el generador de vapor suele constar de las siguientes partes:

Un depósito en forma de columna o cámara de expansión

Un intercambiador de calor sanitario o resistencias eléctricas para calentamiento del agua y evaporación

Este diseño produce el fenómeno de termosifón, que permite adaptar fácilmente la demanda de vapor a su producción. La columna se convierte en un depósito de energía que al almacenar el agua garantiza la estabilidad de la producción incluso durante la demanda punta.

Estas unidades pueden presentar las siguientes opcionales: la unidad condensadora para producción de agua destilada, sistema de recuperación de energía y desgasificación, monitorización de la conductividad del agua de entrada y/o vapor puro condensado, registrador gráfico, etc. (Telstar Life Science Solutions, 2010)

Todo generador de vapor debe cumplir con requerimientos en la industria, los cuales deben ser:

1. Satisfacer demanda de vapor: flujo, presión, temperatura.
2. Eficiencia térmica: mantenerla en el rango de carga.

3. Confiabilidad: alta disponibilidad de vapor.
4. Costo: inversión inicial, operación, mantenimiento y reparación.
5. Impacto ambiental: límites de emisiones.

8.2.1 IMPORTANCIA DE LAS CALDERAS.

La caldera es el elemento esencial en una planta de vapor por que el vapor no se puede obtener a menos que se genere en la caldera, esto es si no se obtiene a mano una fuente de vapor subterráneo como se encuentra en ciertos lugares del mundo. La mayor parte de las plantas genera su propio vapor en recipientes herméticos alimentados con agua que al recibir el calor, generan vapor. El vapor generalmente se genera bajo presión, de acuerdo con las características de la máquina que alimenta. A mayores presiones y temperatura mayor será la eficiencia de la máquina que transformara el calor del vapor en energía mecánica. (Charles Donald Swift, 1975)



Figura #3: Calderas

8.2.2 FUNCIONAMIENTO DEL GENERADOR DE VAPOR

El agua se impulsa al generador de vapor mediante la bomba de alimentación, la que la hace circular de forma forzada por el economizador; éste es un equipo formado por bancadas de tubos interconectados mediante colectores o cabezales, por dentro de los tubos circula el agua y por fuera los gases calientes. La función del economizador es calentar el agua, generalmente hasta una temperatura inferior a la de saturación correspondiente a la presión a la que se encuentra el agua; esto se hace con el objetivo de que el agua no entre fría al domo y evitar contracciones que pueden provocar rotura. El agua entra al domo después de salir del economizador; en él se produce la separación del vapor y el agua, el agua que entra al domo sale de éste por los tubos llamados descendentes que alimentan los colectores inferiores de las paredes de agua;

éstos son tubos que cubren la mayor parte de la superficie interior del horno, por los tubos circula el aire y por y por fuera están los gases calientes y las llamas, éstas transfieren a los tubos una gran cantidad de calor por radiación y por convección; se forma entonces en el interior del de los tubos una mezcla de de vapor y agua que asciende por la pared de tubos producto a la disminución de su densidad. Las paredes de agua tienen colectores en su parte superior, a través de los cuales se descarga la mezcla agua-vapor al domo. En el domo, el vapor se separa del agua acumulándose en la parte superior de donde es extraído para ir a los sobrecalentadores, los sobrecalentadores de vapor tienen la función de hacer que el vapor adquiera una temperatura superior a la de saturación, correspondiente a la presión a que se encuentran, para que salga del generador con mayor entalpía. El agua que no pasó a vapor va de nuevo a los tubos descendentes y se repite el ciclo. (Alvarez Luisa, 2013)

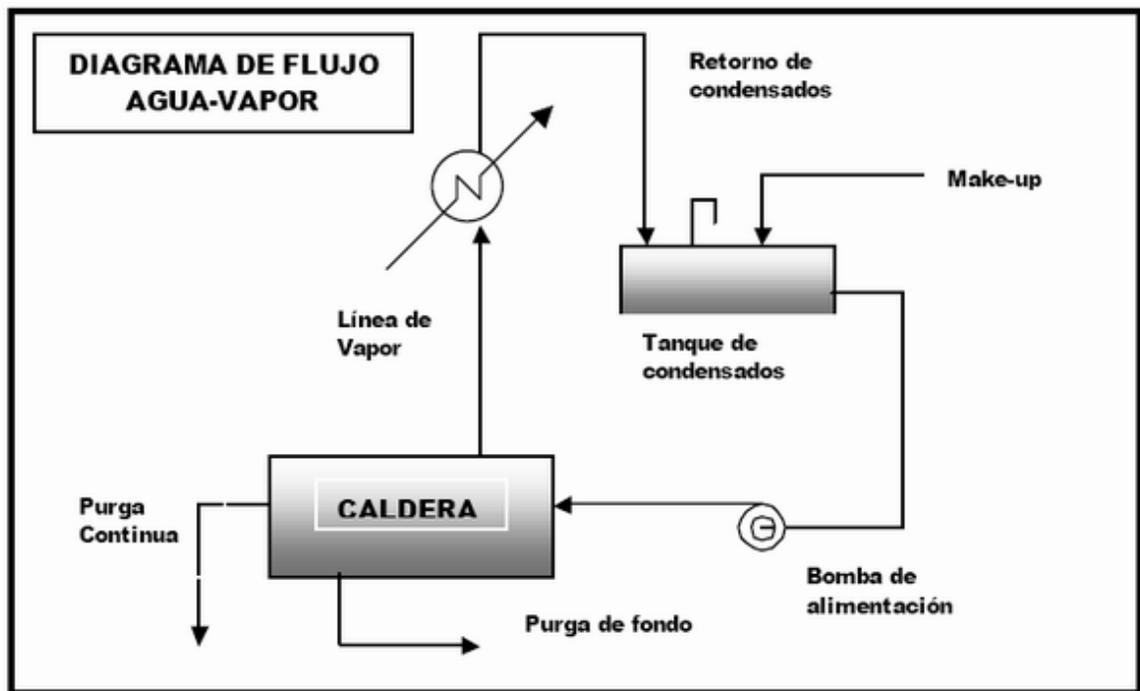


Figura #4: Diagrama de Flujo de una Caldera

8.2.3 EL AGUA COMO SUSTANCIA DE TRABAJO.

Salvo en el caso en que el vapor se utiliza como materia prima para un proceso, en el resto de los casos el vapor actúa como un transportador de energía, trasladando la una parte de la energía química liberada en la combustión del combustible desde el generador de vapor hasta los diferentes equipos de la instalación.

¿Cuáles son las razones del uso preferente del agua como fluido portador de calor sobre otros fluidos?

Básicamente son tres las razones para ello:

1. La abundancia del agua
2. Su bajo costo.
3. Sus favorables propiedades, dentro de las que se pueden mencionar:
 - Alto calor específico
 - Alto calor latente
 - Relativamente baja viscosidad
 - Alto coeficiente pelicular de transferencia de calor
 - Alta temperatura de saturación a presiones relativamente bajas
 - Bajo consumo de potencia de bombeo
 - No es tóxica, ni inflamable, ni corrosiva

(Aníbal Borroto Nordelo, 2007)

8.2.4 CARACTERÍSTICAS QUE DIFERENCIAN LAS FASES VAPOR Y LÍQUIDO

Un líquido se caracteriza por:

- Ser prácticamente incompresible.
- Tener un volumen determinado y adaptar su forma al recipiente que lo contiene.

Un gas se caracteriza por:

- Ser altamente compresible. Su volumen específico varía grandemente con la presión.
- Expandirse o difundirse indefinidamente con las únicas <limitaciones de las fuerzas gravitacionales o de las paredes del recipiente que lo contiene.

Los vapores se encuentran en fase gaseosa, pero cerca de la condensación. Mientras mayor sea la temperatura del vapor por encima de la temperatura de saturación

correspondiente a su presión, esto es su sobrecalentamiento, más se acercará su comportamiento a de un gas.

(Aníbal Borroto Nordelo, 2007)

8.2.5 TIPOS DE CALDERAS

Las calderas se han usado por muchos años, y algunos de los primeros diseños muestran gran ingenuidad en el empleo de los materiales disponibles en aquella época, así como en las técnicas de fabricación. Los errores, materiales mejorados y la soldadura han eliminado a aquellos primitivos diseños existiendo gran variedad de tipos. Debe tenerse una clasificación básica, considerando si por los tubos pasa agua o gases; en otras palabras las calderas pueden ser de tubos de agua o de humo. (Charles Donald Swift, 1975)

Según **Aníbal Borroto Nordelo** (2007), los generadores de vapor pueden ser clasificados de atendiendo a diversos criterios relacionados con sus parámetros y sus características constructivas y de operación.

Los generadores de vapor pueden ser divididos en los siguientes grupos:

1. De acuerdo con la disposición de los fluidos en los tubos.
 - De tubos de fuego (pirotubulares). Son generadores de vapor pequeños. En ellos los gases calientes (fuego) circulan por dentro de los tubos, mientras que el agua está por fuera.

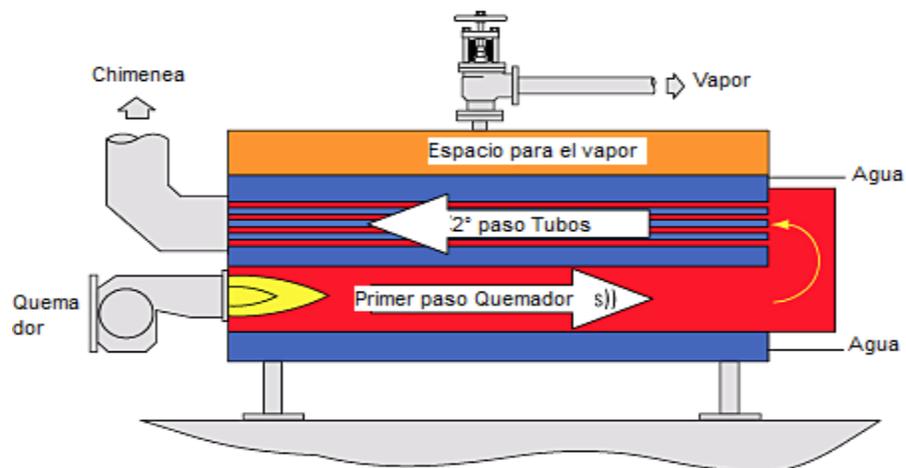


Figura #5: Caldera Pirotubular

- De tubos de agua (acuotubulares). Son generadores de vapor mediano y grande. En ellos el agua circula por dentro de los tubos mientras que los gases están por fuera.

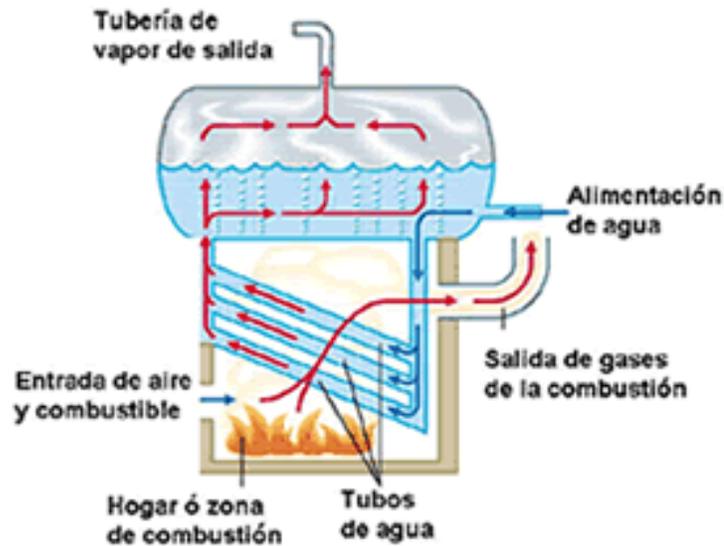


Figura #6: Caldera Acuotubular

2. De acuerdo con el uso.

- Estacionarios. Son aquellos que se instalan fijos en su lugar de operación y constituyen la inmensa mayoría. Ejemplos de ellos son las calderas de termoeléctricas y centrales azucareros.
- Portátiles. Son equipos pequeños que permiten ser trasladados de lugar con facilidad, necesitándose para su reinstalación un mínimo de acondicionamiento.
- Móviles. Son aquellos que se instalan en medios de transporte y que operan durante su movimiento. Ejemplos de ello son las calderas de locomotoras y las marinas.

3. De acuerdo con el tamaño.

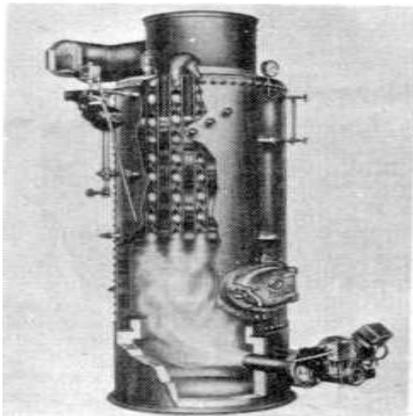
- Pequeños. Son generadores de vapor de pequeñas producciones y operación a bajas presiones. Se instalan en empresas industriales pequeñas, tintorerías,

hospitales, comedores, laboratorios, hoteles y pueden encontrarse también en centrales azucareros. Generalmente suministran vapor saturado. Producción: $D < 20\ 000$ kg/h. Presión: $P < 2,0$ MPa

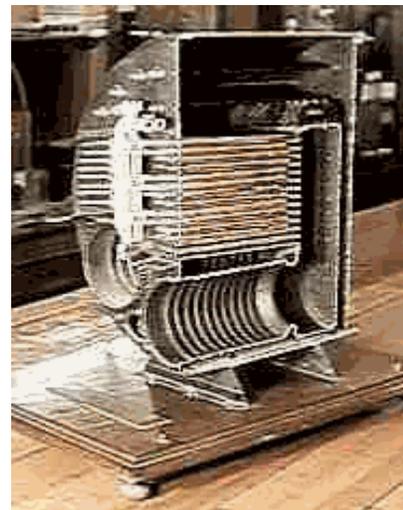
- Medianos. Tienen producciones de vapor intermedias al igual que sus presiones; pueden suministrar tanto vapor saturado como sobrecalentado. Se instalan en empresas industriales de importancia: centrales azucareros, fábricas de fertilizantes, papeleras, industrias textiles, etc. Producción: $D = 20\ 000 - 100\ 000$ kg/h. Presión: $P = 1,0 - 6,0$ MPa
- Grandes. Son los de mayores producciones de vapor, lo suministran siempre sobrecalentado y en los máximos parámetros de presión y temperatura. Se instalan en las centrales termoeléctricas y en empresas grandes, pueden encontrarse en centrales azucareros. Reciben También el nombre de radiantes. Producción: $D > 100\ 000$ kg/h. Presión: $P > 6$ MPa

4. De acuerdo con la forma y posición de los tubos.

- De tubos rectos. En ellos toda la flusería está integrada por tubos rectos. Se subdividen en: horizontales y verticales, de acuerdo con la posición de los tubos. Son generadores de vapor pequeño y mediano.



a) Caldera de tubos verticales



b) Caldera de tubos

Horizontales

Figura #7: Calderas de tubos verticales y horizontales

- De tubos curvos. La flusería está compuesta por tubos curvos con diferentes formas. Son generadores de vapor mediano y grande.

5. De acuerdo con el sistema de circulación de la sustancia de trabajo.
 - De circulación natural. En ellos la sustancia de trabajo se mueve por el principio del termosifón, como resultado de la diferencia de densidad entre el agua y la mezcla agua – vapor que se genera.
 - De circulación forzada. En ellos la sustancia de trabajo se mueve impulsada por equipos mecánicos (bombas de alta presión) pero mantienen el domo para la separación del agua y el vapor.
 - De circulación continua. En este caso también el agua es impulsada por una bomba pero en un circuito continuo donde ya no existe el domo.

6. De acuerdo con el combustible. Esta clasificación está en función del combustible utilizado y en este caso las particularidades están más bien en el sistema de combustión (horno) que en la caldera en sí.
 - Generadores de vapor de combustible líquido.
 - Generadores de vapor de combustible sólido.
 - Generadores de vapor de combustible gaseoso.
 - Calderas recuperadoras de calor. Las calderas recuperadoras de calor son aquellas que obtienen el calor para generar vapor de gases calientes de otro proceso, como puede ser por ejemplo un alto horno o una turbina de gas.

7. De acuerdo con el tiro de los gases.
 - De tiro natural.
 - De tiro mecánico.
 - Hogar balanceado.
 - Hogar presurizado.

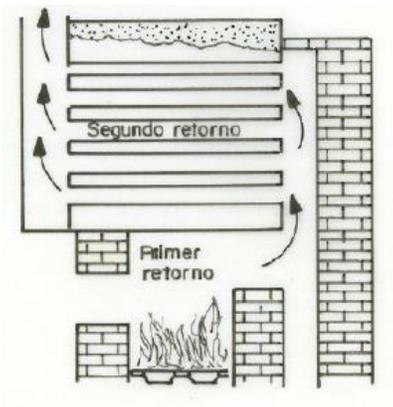
(Aníbal Borroto Nordelo, 2007)

8.2.6 COMPONENTES Y PRINCIPIOS DE FUNCIONAMIENTO DE LOS GENERADORES DE VAPOR

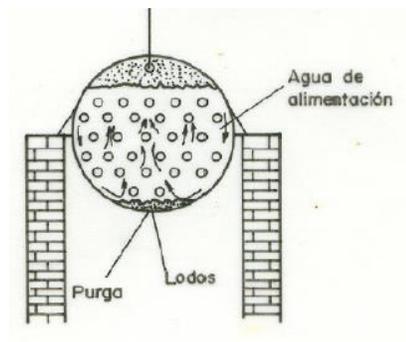
8.2.6.1 DESCRIPCIÓN Y PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DE LAS CALDERAS PIROTUBULARES.

En la industria de vapor, las calderas pirotubulares han producido vapor desde hace más de 150 años. En sus inicios las calderas tenían una construcción simple, recipientes cilíndricos remachados y hermetizados con sus tuberías de suministro de agua y extracción de vapor correspondientes. Estas calderas en su parte inferior constaban con un calentamiento externo la cual se producía a partir de combustión de carbón o leña, mientras en la parte superior del recipiente se acumulaba el vapor generado.

Al pasar del tiempo, con estudios de transferencia de calor se llegó a la conclusión de que al incrementar la superficie de contacto se incrementaba la generación de vapor. Esto se logró instalando tubos dentro del recipiente en los cuales se hacía circular los gases calientes provenientes de la combustión, y este fue el origen de las calderas de tubos de fuego, o pirotubulares como se las conoce actualmente.



a) Circulación de los gases.



b) Circulación del agua.

Figura #8: Caldera de tubos de fuego. Tipo HRT.

El desarrollo de la industria trajo como consecuencia la necesidad de incrementar la presión con la que se trabajaba para alcanzar mayores capacidades, lo que origino que se recurrieran a materiales más resistentes, el acero.

Desde los inicios de las calderas de tubos de fuego, sufrieron evoluciones, las más destacadas fueron la tendencia hacia la disminución en el diámetro de los tubos de humo, lo cual buscaba incrementar la velocidad de los gases y el área de transferencia de calor, con lo cual se consiguió una caldera más compacta. El otro cambio considerable fue la del fogón, la cual en sus inicios se encontraba en la parte exterior de la caldera debajo d esta, así la caldera recibía el calor de la llama directa que provenía del fogón, con el tiempo surgió un nuevo diseño, la cual tenía el fogón integrado dentro del casco de la caldera, la cual estaba formada por un tubo cilíndrico y liso, soportado en los espejos de la caldera, denominado caldera escocesa.

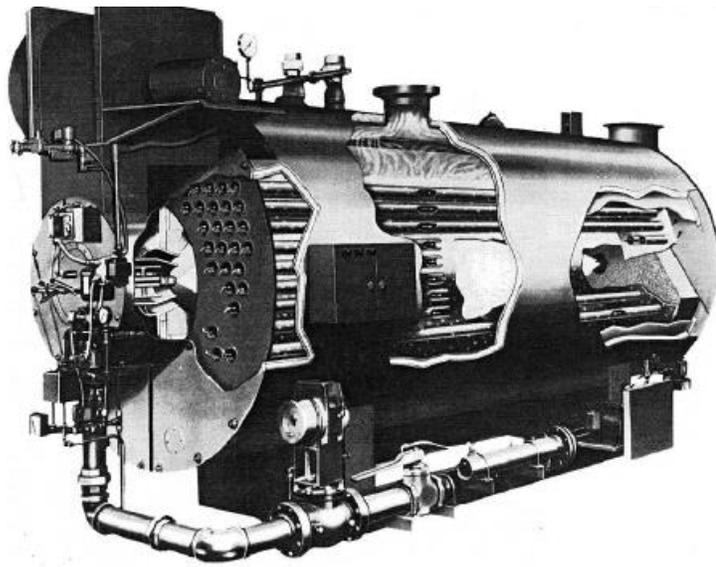


Figura #9: Caldera Pirotubular Tipo Escocesa

Estas calderas tienen hoy su campo de aplicación en instalaciones de pequeña capacidad y presión, donde el vapor se utiliza como medio de calentamiento, debido a sus siguientes ventajas:

- Diseño simple y compacto.
- Construcción tipo paquete producidas en fábrica.
- Facilidades de montaje, instalación y operación.
- Bajo costo inicial.
- Aceptable eficiencia en su rango de aplicación.
- Corto período de tiempo para el suministro y puesta en marcha.

8.2.6.2 DESCRIPCIÓN Y PRINCIPIOS DE FUNCIONAMIENTO DE UNA CALDERA ACUOTUBULAR DE CIRCULACIÓN NATURAL.

Generalmente las calderas de tubos de agua son medianas o grandes, las cuales están formadas por domos interconectados por tubos, los cuales tienen como función transportar el agua desde las zonas de absorción de calor hasta el domo al cual llega una mezcla de agua-vapor. Dichos domos tienen como función almacenar el agua y el vapor, estos pueden hacerse de diámetros menores que los cascos de las calderas de tubos de fuego, lo que permitió incrementar las presiones de trabajo.

Al incrementar la cantidad de tubos dentro del caldero, se puede incrementar la superficie de transferencia de calor, lo cual se puede hacer cuanto se desee (dentro de ciertos límites lógicos de diseño) lo cual permite que estas calderas logren grandes generaciones de vapor, lo cual se ve limitado en las calderas de tubos de fuego.

Las características generales de las calderas de tubos de agua, en comparación con las de tubos de fuego, son las siguientes:

- Son calderas medianas y grandes con producciones superiores a los 15 000 kg/h y presiones hasta cercanas a la crítica. Suministran por lo general vapor sobrecalentado.
- Tienen poca capacitancia de agua, por ello el nivel de agua les fluctúa con rapidez y tienen un arranque relativamente rápido.

- El costo de la instalación es grande, llevan una importante obra estructural y refractaria.
- Presentan una alta eficiencia. (generalmente: 80-92 %)

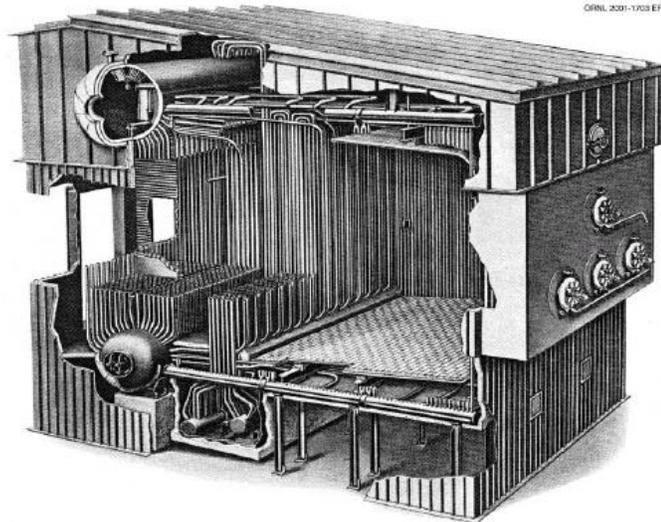


Figura #10: Caldera Industrial Acuotubular para Combustible Líquido

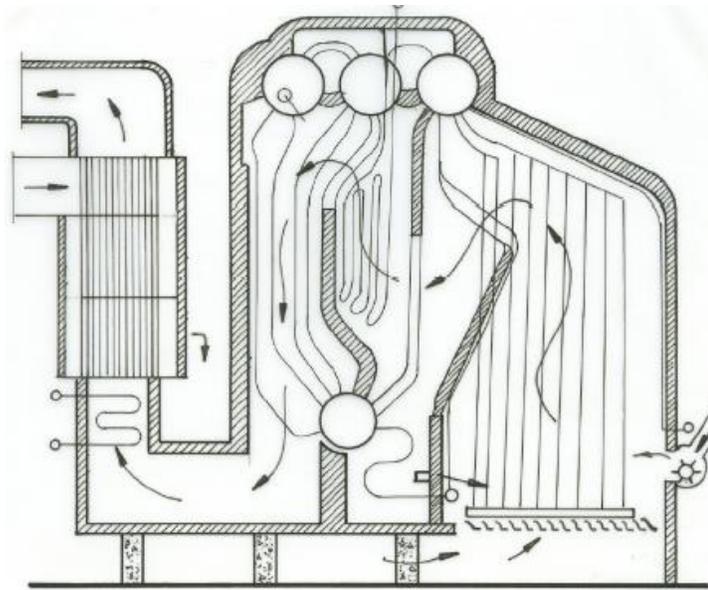


Figura #11: Caldera RETAL para Bagazo. Esquema general.

8.2.6.3 PARTES COMPONENTES DE UNA CALDERA ACUOTUBULAR:

1. Horno
2. Quemadores
3. Superficies de calentamiento:
 - Paredes de agua
 - Superficie de caldera
 - Sobrecalentador
 - Economizador
 - Calentador de aire
4. Domo
5. Bomba de alimentación
6. Sistema de Tiro
 - Ventilador de tiro forzado
 - Ventilador de tiro inducido
 - Chimenea
7. Cimentación y soporte
8. Refractarios
9. Instrumentos y controles automáticos
10. Accesorios de caldera.

8.2.7 COMPARATIVA DE CALDERA PIROTUBULAR Y CALDERA ACUOTUBULAR

Un informe realizado por la empresa BOSCH (Dr.-Ing Eberhard Franz, 2012) tiene como objetivo proporcionar argumentos relacionados con la seguridad, aspectos de

funcionamiento, características físicas y el coste para aquellos casos en los que puedan aplicarse estos dos diseños de calderas.

“Seguridad:

En algunos países en vías de desarrollo de Asia y de Sudamérica las calderas pirotubulares no están demasiado extendidas. Los fabricantes locales de estas calderas proporcionan unos niveles de calidad que no alcanzan en ningún modo los niveles alemanes. Lo mismo puede decirse de los elementos de seguridad referidos al exceso de presión y a la falta de agua. En consecuencia, los niveles de seguridad son bajos. Debido al temor que producen las consecuencias catastróficas de la explosión de una caldera, se favorece el diseño acuotubular, dada la mayor capacidad de agua de las calderas pirotubulares y también, a veces, debido a la actitud extremadamente conservadora de algunos proyectistas y empresas de ingeniería. Además de los factores de seguridad, un aspecto decisivo en los países antes citados es la escasa vida útil de las calderas pirotubulares fabricadas en estos países.

Un factor decisivo para este balance positivo ha sido sin duda el sistema de electrodos destinado al control y limitación del nivel de agua en 1977 y la introducción de las Normas sobre el diseño de seguridad inherente para las calderas pirotubulares en 1985. Un diseño de seguridad inherente implica abandonar determinados principios de diseño (fondos de caldera soldados exteriormente, fijaciones con tirantes longitudinales para el anclaje de fondos), así como permitir la posibilidad de inspeccionar fácilmente el interior de la caldera, dejando un amplio espacio entre los componentes de la caldera que estén a temperaturas diferentes.

Siempre y cuando se observen las necesarias medidas de calidad en fabricación y diseño, las calderas pirotubulares ofrecen un alto grado de seguridad y duración. Por lo tanto, las empresas de ingeniería y los usuarios deberían elegir únicamente aquellos fabricantes que se encuentren en disposición de presentar un gran número de plantas de referencia que hayan estado operando con seguridad y sin daños durante muchos años.”

Para un buen funcionamiento de las calderas se deben tener en consideración la calidad del agua de alimentación, requisitos de mantenimiento y las revisiones periódicas por seguridad a los equipos y personal operario. El mismo informe realizado en BOSCH (Dr.-Ing Eberhard Franz, 2012) nos detalla diversos puntos a considerar.

“Aspectos de funcionamiento:

La calidad del agua de la caldera y del agua de alimentación, es de gran importancia para todo tipo de calderas de vapor. Sin embargo, existen importantes diferencias – económicas, por ejemplo – en los requisitos referidos a la calidad del agua. En el caso de las calderas acuatubulares, no es aconsejable su funcionamiento con salinidad en el agua, en la mayor parte de diseños. En las calderas acuatubulares, la salinidad representa una conductividad del agua de la caldera de = 2 000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. En los flujos de calor locales $> 250 \text{ kW}/\text{m}^2$, se necesita normalmente agua sin sales, al objeto de evitar la obstrucción en los tubos y que impida la transferencia térmica. Estos requisitos sólo pueden ser satisfechos mediante la instalación de complicados y costosos sistemas de tratamiento de agua.

En principio, las calderas pirotubulares pueden funcionar con salinidad en el agua (conductividad = 6 000 $\mu\text{S}/\text{cm}$). No se producen efectos perjudiciales sobre la superficie de calefacción de la caldera, debido a los depósitos de sal. Pueden utilizarse sencillas plantas de descalcificación de agua para su tratamiento.

El tipo de tratamiento de agua viene determinado por aspectos económicos, así como por la calidad del agua disponible. El factor decisivo es la duración de la amortización de los sistemas de tratamiento de agua de alta calidad, que puede resultar de una reducción en el volumen de desmineralización.

Otra diferencia es el tamaño en relación con la capacidad térmica. Normalmente, las calderas pirotubulares requieren menos espacio para similares capacidades. El mantenimiento puede llevarse a cabo de una forma más sencilla en las calderas pirotubulares que en las acuatubulares. Esto se debe en gran parte a unos esfuerzos claramente menores durante la puesta en marcha y durante el paro, así como al fácil acceso a las superficies de calefacción. Lo mismo puede decirse en referencia a las revisiones periódicas.

Para las calderas pirotubulares fabricadas de conformidad con las anteriormente citadas normas de seguridad, se ha comprobado la viabilidad de un sistema muy sencillo, claro y económico; es decir, una inspección ocular de los principales componentes de la caldera, seguida de una prueba hidrostática bajo presiones de prueba incrementadas. Esto permite evitar casi totalmente las revisiones de carácter no destructivo tales como las mediciones con ultrasonidos. En las calderas acuatubulares, no se han podido aplicar las pruebas hidrostáticas con presiones de prueba incrementadas, por diversas razones cuya discusión no forma parte del presente informe.

Por otra parte, varias zonas de una típica caldera acuotubular son inaccesibles a la inspección ocular (zonas aisladas). Por lo tanto, es necesario hacer un uso muy amplio de las mediciones con ultrasonidos.”

BOSCH (Dr.-Ing Eberhard Franz, 2012) también expuso los diversos aspectos que se dan como resultado directo de los respectivos principios de diseño de las calderas, entre estos se encuentran el contenido de agua, acumulaciones, características de agua parcial.

“Características Físicas

En relación con la capacidad térmica generada, la caldera pirotubular contiene mucha más agua que la caldera acuotubular. Por lo tanto, la caldera pirotubular es más resistente ante las fluctuaciones de vapor o demandas de vapor que excedan temporalmente la producción nominal de la caldera. Aparte de un aumento a corto plazo de la humedad del vapor, no cabe esperar otros efectos; no debe preverse una influencia negativa de la transferencia térmica. Este “comportamiento inofensivo” no es el característico de las calderas acuotubulares en virtud de su diseño. Las fluctuaciones en la presión tendrán una influencia inevitable sobre los cambios en la densidad.

Dada su menor capacidad de agua, la caldera acuotubular puede utilizarse en diversos países como lo que se denomina “caldera producto”; es decir, su instalación puede llevarse a cabo más fácilmente.

Un factor esencial en relación con la duración de las calderas de vapor es el número de arranques del quemador. En este sentido, es decisivo – aparte de un ajuste adecuado de la caldera /sistema – también el nivel de carga mínima que puede producir la caldera. En el caso de ciertos diseños de calderas acuotubulares generadoras de vapor sobrecalentado, esta carga mínima se corresponde con la mínima capacidad técnica proporcionada por el quemador.

En las calderas acuotubulares, la carga mínima del quemador no puede normalmente proyectarse a la caldera ya que la reducción del caudal másico en la zona de agua, influye negativamente sobre la transferencia térmica causando efectos no deseados de avería por calor excesivo, con un rango de flujos térmicos elevados.”

Para las empresas el tiempo es dinero, por lo tanto reducir el tiempo en su producción es crucial, así como abaratar costos dentro de la línea de proceso, por lo tanto esto se convierte en un parámetro fundamental dentro de la industria. Esto es expuesto por la

empresa BOSCH (Dr.-Ing Eberhard Franz, 2012) en su informe de comparativa de calderas en el cual cita lo siguiente:

“Costes y Tiempo

Siempre y cuando puedan cubrirse determinados requerimientos mediante diversos modelos de calderas pitotubulares, la elección de una caldera piro-tubular representa una alternativa más económica, si los niveles de costes de fabricación y de calidad son comparables.

Por otra parte, los plazos de entrega así como el tiempo necesario para instalar la plantason más reducidos. Por regla general, las calderas piro-tubulares ofrecen un mayor rendimiento que las calderas acuotubulares. Esto ocurre también mientras están funcionando ya que pueden someterse a operaciones de mantenimiento con facilidad durante su funcionamiento; es decir, las calderas piro-tubulares se caracterizan por una mayor economía también mientras funcionan.”

8.2.8 VARIABLES DE CONTROL DE LA CALDERA

- Nivel de agua (cantidad de agua).
- Nivel de combustible (cantidad de combustible)
- Flujo de aire.
- Presión de vapor generado
- Presión de la bomba de alimentación.
- Temperatura de agua de alimentación.
- Temperatura del combustible.
- Temperatura de los gases de combustión de salida (analizador Orsat).
- Parámetros físico-químicos del agua de alimentación.
- Caída de presión de vapor: máxima presión seleccionada (automatismo).
- Caída de presión de vapor: por consumo en planta (automatismo intermitente).

8.3 AGUA DE ALIMENTACIÓN DE CALDERAS

El agua absorbe más calor a una determinada temperatura que cualquier otra sustancia inorgánica. Se expande 1600 veces a medida que se evapora para formar vapor a presión atmosférica. El vapor es capaz de almacenar gran cantidad de calor.

Estás propiedades únicas en el agua la convierten en la materia prima ideal para procesos de generación energía. (Lenntech, 2006)

Todo tipo de agua procedente de una fuente natural presenta cierta cantidad de materia disuelta o suspendida, así como gases disueltos. La proporción de minerales disueltos en el agua puede variar desde 30 g/L para el agua de mar hasta 0.005 - 1500 mg/L en agua superficial. Se debe tomar un especial cuidado en el agua que se va a emplear para la generación de vapor ya que las impurezas presentes en ella pueden provocar graves problemas en la caldera. (Lenntech, 2006)

La composición del agua que se alimenta a la caldera debe ser tal que las impurezas presentes en la misma se puedan concentrar un número razonable de veces dentro del sistema sin que por ello se superen los límites permitidos por el fabricante. Si el agua no cumple este requisito será necesario tratarla para eliminar todas las impurezas antes de utilizarla. Actualmente se están utilizando tratamientos químicos dentro de la caldera para evitar estos problemas los cuales están resultando una solución efectiva a la par que económica. (Lenntech, 2006)

La pureza del agua de alimentación depende tanto de la cantidad de impurezas como de la naturaleza de las mismas: la presencia de dureza, hierro y sílice son más importantes por ejemplo que la presencia de sales de sodio. La pureza requerida depende tanto de la cantidad de agua de alimentación se vaya a utilizar como del diseño particular de la caldera (presión de trabajo, grado de transferencia de calor, etc. que puede soportar). Por lo que los requisitos del agua de alimentación pueden variar mucho. Una caldera de baja presión con el agua por fuera de los tubos puede soportar valores de dureza más elevados que una de alta presión, siempre que se utilice un tratamiento adecuado. (Lenntech, 2006)

El agua de alimentación de calderas es fundamentalmente de gran importancia para el correcto funcionamiento de los equipos del laboratorio de Operaciones Unitarias, debido a que este equipo está en funcionamiento las 24 horas del día y darle un correcto tratamiento al agua que ingresa dentro de la caldera ayudara a disminuir los daños e incrustaciones que se puedan dar dentro de este equipo asegurando el bienestar del mismo y calidad de energía que va a producir.

8.3.1 GENERALIDADES DEL AGUA

El agua es uno de los recursos naturales más fundamentales, y junto con el aire, la tierra y la energía constituye los cuatro recursos básicos en que se apoya el desarrollo. (Cedeño Jesus, 2010)

El agua es un elemento de nuestro planeta que se ha encontrado presente hace millones de años. Está formado por tres moléculas 2 de hidrogeno y una de oxígeno y como resultado obtenemos una molécula de agua H₂O.

Es una de las sustancias más comunes y abundantes de la naturaleza que se encuentran en la superficie y en las profundidades de la tierra cubriendo las tres cuartas partes de la misma. Sin embargo, en contra de lo que pudiera parecer, diversos factores limitan la disponibilidad de agua para uso humano. Más del 97% del agua total del planeta se encuentra en los océanos y otras masas salinas, y no están disponibles para casi ningún propósito. Del 3% restante, por encima del 2% se encuentra en estado sólido, hielo resultando prácticamente inaccesible. Por tanto, para el hombre y sus actividades industriales y agrícolas, sólo resta un 0.62% que se encuentra en lagos, ríos y agua subterránea. (Cedeño Jesus, 2010)

Debido a su elevada constante dieléctrica, por ser una molécula asimétrica, el agua tiene un gran poder disolvente, que le ha llevado a calificarla como “disolvente universal” (L. Cereso Diez, 1980)

El agua que encontramos en la naturaleza, debido a su poder como disolvente, va acompañada de sustancias en disolución. Es difícil encontrar agua pura e incluso cuando se requiere eliminar los elementos que la acompañan, son precisas técnicas especiales y costosas para lograr tan solo una disminución parcial de los mismos. Las sustancias que acompañan al agua, denominadas impurezas, provienen del lavado o arrastre que produce la lluvia en la atmosfera obre elementos que encuentra en suspensión, de la disolución de minerales cuando la lluvia se filtra en el terreno y de la contaminación a que está sometida por residuos de origen industrial, doméstico o de descomposición de materia vegetal o animal. (L. Cereso Diez, 1980)

8.3.2 FUENTES DE AGUA

Las fuentes de agua pertenecen a aquellas aguas que no han recibido ningún tipo de tratamiento y contienen gran cantidad de impurezas y minerales que han ganado durante el periodo de circulación al cual están sometidas y esto impiden su uso directo a una caldera.

El ciclo del agua, indica que la humedad atmosférica resulta de la evaporación de las fuentes de agua, la que luego al condensarse precipita en forma de lluvia, granizo o nieve, absorbiendo gases y otras sustancias descargadas por el hombre a la atmósfera. Esta situación es la causa de que la lluvia contenga una gran cantidad de impurezas al momento de entrar en contacto con la tierra. (LTDA., 2007)

A medida que el agua fluye por sobre la superficie de la tierra o se filtra a través de las capas de ésta, continua atrapando o disolviendo impurezas del suelo o minerales por los que atraviesa. Así es como agua aparentemente cristalina, proveniente de lagos, ríos y vertientes, puede tener un elevado contenido de sólidos disueltos. (LTDA., 2007)

Las impurezas que se encuentran con mayor frecuencia en los depósitos naturales de agua van a ser los siguientes sólidos en suspensión, líquidos inmiscibles como el aceite, bacterias y otros microorganismos, gases disueltos, sales minerales disueltas.

8.3.3 CONSTITUYENTES DEL AGUA

El agua es el fluido de trabajo de los sistemas de vapor y una de las sustancias naturales más abundantes; sin embargo, nunca se encuentra en estado puro, adecuado para la alimentación directa de una caldera. Por lo común en estado natural, el agua se encuentra turbia, con materias sólidas en suspensión fina.

Incluso cuando está clara, el agua natural contiene soluciones de sales y ácidos que dañan con rapidez el acero y los metales a base de cobre de los sistemas de vapor.

- **Elementos Disueltos**, constituyen los elementos disueltos en el agua, las sustancias orgánicas, los gases disueltos, las sales minerales y la sílice, aunque ésta también suele aparecer como elemento en suspensión en forma de finísimas partículas o coloides.
- **Elementos en Suspensión**, esto lo constituyen los minerales finamente divididos, como las arcillas y los restos de organismos vegetales o animales; y la cantidad de sustancias suspendidas, que son mayor en aguas turbulentas que en aguas quietas y de poco movimiento.

Es importante destacar que es necesario añadir a las descritas, los residuos que las industrias lanzan a los recursos fluviales procedentes de distintos procesos de producción.

Las aguas pueden considerarse según la composición de sales minerales presentes, en:

- **Aguas duras:** Importante presencia de compuestos de calcio y magnesio, poco solubles, principales responsables de la formación de depósitos e incrustaciones.
- **Aguas Blandas:** Su composición principal está dada por sales minerales de gran solubilidad.
- **Aguas Neutras:** Componen su formación una alta concentración de sulfatos y cloruros que no aportan al agua tendencias ácidas o alcalinas, o sea que no alteran sensiblemente el valor de pH.
- **Aguas Alcalinas:** Las forman las que tienen importantes cantidades de carbonatos y bicarbonatos de calcio, magnesio y sodio, las que proporcionan al agua reacción alcalina elevando en consecuencia el valor del pH presente.

Los gases disueltos en el agua, provienen de la atmósfera, de desprendimientos gaseosos de determinados subsuelos, y en algunas aguas superficiales de la respiración de organismos animales y vegetales. Los gases disueltos que suelen encontrarse son el oxígeno, nitrógeno, anhídrido carbónico.

(Bolívar Pazmiño Andrade, 2006)

8.3.4 LAS IMPUREZAS EN EL AGUA DE ALIMENTACIÓN SE CONCENTRAN EN LA CALDERA

La mayoría de aguas de alimentación que ingresan a las calderas contienen sólidos disueltos, en el momento que el agua de alimentación se comienza a calentar y se va evaporando empieza a salir de la caldera como vapor destilado empieza a depositar las impurezas atrás. Como resultado se obtendrá gran cantidad de sólidos disueltos dentro de la caldera y que posteriormente irán aumentando; una vez que se acumule gran cantidad de estos sólidos en el agua provocara que no hierva como agua ordinaria sino como una especie de jarabe.

Las burbujas de vapor no suben con facilidad a la superficie al contrario se forman burbujas de mayor tamaño que al reventar arrastran consigo al espacio de vapor algo de la película con que se formó la burbuja este proceso se lo conoce como “acarreo”

Existen sustancias y minerales dentro del agua que son altamente solubles a temperaturas bajas pero al entrar en la caldera y estar en contacto con temperaturas

altas cambian su solubilidad y son precipitadas este es el caso del carbonato de calcio (Ca CO_3), este compuesto se encuentra presente en la mayoría de aguas de alimentación. Estas precipitaciones tienen lugar en la caldera donde el agua se encuentra más caliente es decir donde el agua está en contacto con las zonas de transferencia de calor. El material que se precipita y se deposita en la superficie caliente forma las incrustaciones

Tabla #1: Problemas frecuentes por impurezas en el agua de alimentación de caldera.

Efecto	Problema	Observaciones
Incrustación	Sílice	Forma un recubrimiento duro y vidrioso en las superficies internas de la caldera. Se vaporiza en las calderas de alta presión y se deposita en los alábeles de las turbinas
	Dureza	El CaSO ₄ , MgSO ₃ , CaCO ₃ y MgCO ₃ forman incrustaciones en los tubos de la caldera
Se reduce la transferencia de calor	Depósitos: incrustaciones y lodos	Perdida de eficiencia, desperdicio de combustible
Corrosión	Oxígeno	Causa erosión en las superficies metálicas de la caldera y las tuberías de condensado
	Dióxido de Carbono	Es la causa principal del deterioro de las líneas de retorno de condensado
	Oxígeno y Dióxido de Carbono	Su combinación es más corrosiva que cuando actúan aislados
Arrastre de agua y espumado	Alta concentración de agua en calderas	Contaminación del sistema de distribución, vapor húmedo y depósitos en las tuberías, en alabes de turbinas y asientos de válvulas
Fragilidad Caustica	Alta concentración caustica	Causa fisuras intercristalinas del metal de la caldera (tubos)
Perdidas Económicas	Reparaciones	Reparación de calderas dañadas y limpieza mecánica de calderas son incrustaciones
	Paros no Programados	Se reduce la eficiencia y capacidad de toda la planta

8.3.5 TRATAMIENTO DEL AGUA DE CALDERAS

El tratamiento de agua para generación de vapor es una de las ramas más elaboradas de la química del agua. La comprensión de los principios fundamentales de la química del agua de caldera es esencial para el ingeniero en energía el cual se esfuerza continuamente por aumentar la eficiencia de las calderas y del equipo que usa vapor a nivel industrial. (Kemmer, 1890)

El tratamiento del agua de una caldera de vapor es de gran importancia para asegurar la vida útil que esta valla a tener; libre de problemas operacionales, reparaciones y accidentes. EL objetivo principal es evitar problemas de corrosión en el agua e incrustaciones asegurando la calidad de agua de alimentación y la de la caldera.

Para asegurar la calidad del agua de alimentación de la caldera y del mismo equipo se deben cumplir con los requerimientos que dan las normas, los cuales especifican los límites confiados para los parámetros implicados en el tratamiento del agua.

8.3.6 PARÁMETROS TRATAMIENTO DEL AGUA

Según la empresa (LTDA., 2007) en un artículo publicado establece su clasificación de los principales parámetros involucrados en el tratamiento del agua de una caldera, son los siguientes:

- PH. El pH representa las características ácidas o alcalinas del agua, por lo que su control es esencial para prevenir problemas de corrosión (bajo pH) y depósitos (alto pH).
- Dureza. La dureza del agua cuantifica principalmente la cantidad de iones de calcio y magnesio presentes en el agua, los que favorecen la formación de depósitos e incrustaciones difíciles de remover sobre las superficies de transferencia de calor de una caldera.
- Oxígeno. El oxígeno presente en el agua favorece la corrosión de los componentes metálicos de una caldera. La presión y temperatura aumentan la velocidad con que se produce la corrosión.
- Hierro y cobre. El hierro y el cobre forman depósitos que deterioran la transferencia de calor. Se pueden utilizar filtros para remover estas sustancias.

- Dióxido de carbono. El dióxido de carbono, al igual que el oxígeno, favorece la corrosión. Este tipo de corrosión se manifiesta en forma de ranuras y no de tubérculos como los resultantes de la corrosión por oxígeno.

La corrosión en las líneas de retorno de condensado generalmente es causada por el dióxido de carbono. El CO₂ se disuelve en agua (condensado), produciendo ácido carbónico. La corrosión causada por el ácido carbónico ocurrirá bajo el nivel del agua y puede ser identificada por las ranuras o canales que se forman en el metal.

- Aceite. El aceite favorece la formación de espuma y como consecuencia el arrastre al vapor.
- Fosfato. El fosfato se utiliza para controlar el pH y dar protección contra la dureza.
- Sólidos disueltos. Los sólidos disueltos la cantidad de sólidos (impurezas) disueltas en al agua.
- Sólidos en suspensión. Los sólidos en suspensión representan la cantidad de sólidos (impurezas) presentes en suspensión (no disueltas) en el agua.
- Sílice. La sílice presente en el agua de alimentación puede formar incrustaciones duras (silicatos) o de muy baja conductividad térmica (silicatos de calcio y magnesio).
- Alcalinidad. Representa la cantidad de carbonatos, bicarbonatos, hidróxidos y silicatos o fosfatos en el agua. La alcalinidad del agua de alimentación es importante, ya que, representa una fuente potencial de depósitos.
- Conductividad. La conductividad del agua permite controlar la cantidad de sales (iones) disueltas en el agua.

8.3.7 DUREZA DEL AGUA

Las aguas que contienen gran cantidades de minerales de calcio y magnesio se las conoce con el nombre de aguas duras; la dureza en el agua de la caldera muestra la existencia de impurezas insolubles estas se las puede clasificar en: sólidos disueltos, gases disueltos y sólidos en suspensión. Estas impurezas se precipitan con facilidad en el momento del calentamiento debido a que son menos solubles a altas temperaturas.

El porcentaje de dureza en las aguas puede variar siendo desde 0.01 ppm hasta más 500. Debido a que los compuestos de calcio y magnesio son insolubles e agua precipitan rápidamente formando incrustaciones y depósitos.

Según el grado de dureza las aguas se clasifican en:

Tabla #2: Clasificación de aguas de acuerdo a su contenido de dureza.

Rango	Concepto
0-75 mg/L Ca CO₃	Agua Blanda
75-150 mg/L Ca CO₃	Agua Semi-Dura
150-300 mg/L Ca CO₃	Agua dura
Más de 300 mg/L Ca CO₃	Agua muy Dura

8.3.8 INCRUSTACIONES

Los problemas por incrustaciones afectan el rendimiento energético en los sistemas de generación de vapor, es formación de incrustaciones duras en los tubos de intercambio de calor.

Las incrustaciones se dan principalmente por la presencia de las sales de Calcio y Magnesio que cuando se calientan se concentran y precipitan dando lugar a depósitos que forman una capa aislante que dificulta el intercambio de calor.

Los efectos directamente ocasionados son:

- La reducción del coeficiente de transmisión de calor
- La reducción de la sección libre de paso de fluido
- La rotura de tubos por sobrecalentamiento, al ser el intercambio de calor menor
- Las incrustaciones o depósitos también pueden afectar a partes en movimiento, como son las válvulas y álabes de turbina de vapor. Debido a esto se producen incrustaciones por sales cálcicas y magnésicas, y también depósitos de sílice y diversos compuestos de hierro. Esto provoca falta de estanqueidad en válvulas, degradación acelerada de álabes y desequilibrios en el rotor de la turbina de vapor.

8.3.8.1 PREVENCIÓN DE LA FORMACIÓN DE INCRUSTACIONES

Para la prevención de las incrustaciones de costras se emplean las siguientes estrategias:

1. Se debe evitar el uso de agua duro en la caldera.
2. Manteniendo la concentración de dureza dentro de los límites aceptables. Se debe usar tratamientos y purga para disminuir esta concentración
3. Utilizando los tratamientos internos y externos.
4. Debe realizarse un tratamiento químico en la purga de fondo para eliminar los lodos que se producen.

8.3.8.2 INCRUSTACIONES MÁS COMUNES

Tabla #3: Incrustaciones comunes en la caldera.

Nombre Común	Símbolo	Efecto
Analcita	Na_2O . Al_2O_3 . 4SiO_2 . $2\text{H}_2\text{O}$	Incrustación Dura
Serpentina	3MgO . 2SiO_3 . $2\text{H}_2\text{O}$	Incrustación Dura
Aemita	Na_2O . Fe_2O_3 . 4Si O_2	Incrustación Dura
Aragonita, Calcita	Ca Co_3	Incrustación Blanda
Anhidrita	Ca CO_4	Incrustación Dura
Hidroxiapatita	$\text{Ca}_{10}(\text{OH})_2(\text{PO}_4)_6$	Incrustación Blanda
Hematita	Fe_2O_3	Incrustación Blanda
Silice	Si O_2	Incrustación Dura
Cuprita	Cu O	Incrustación Blanda
Brucita	$\text{Mg}(\text{OH})_2$	Incrustación Blanda
PO₄ Básico de Mg	$\text{Mg}_3(\text{PO}_4)_2$ $2\text{Mg}(\text{OH})_2$	Incrustación Blanda

8.3.9 CAVITACIÓN

La cavitación es un efecto hidrodinámico que se produce cuando la bomba de alimentación de agua está incapacitada para entregar agua de alimentación a la caldera, aunque los tanques de alimentación tengan nivel de agua disponible.

La ebullición eleva la presión de vapor por encima de la presión ambiente local para producir el cambio de fase gaseosa mientras que la cavitación es causada por una caída de la presión local por debajo de la presión de vapor que causa succión.

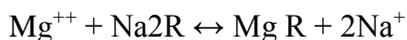
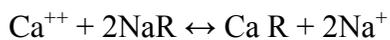
En varios casos esta condición puede ser evitada por el suministro de una cantidad suficiente de calor al agua y el dimensionamiento de la tubería de alimentación de agua. La limpieza de los filtros también debe ser realizada.

8.3.10 INTERCAMBIO IÓNICO

El intercambio iónico es una tecnología eficaz poco conocida reversible de iones entre una fase líquida y una fase sólida, que establece la transferencia de uno o más iones de la fase líquida a la sólida por intercambio de iones de la misma carga, que están unidas por fuerzas electrostáticas a grupos funcionales; consiste en hacer pasar agua a través de resinas de intercambio iónico.

El intercambio iónico es un proceso que consiste en el ablandamiento del agua a través de la remoción de los iones calcio y magnesio (dureza) que están presentes en el agua.

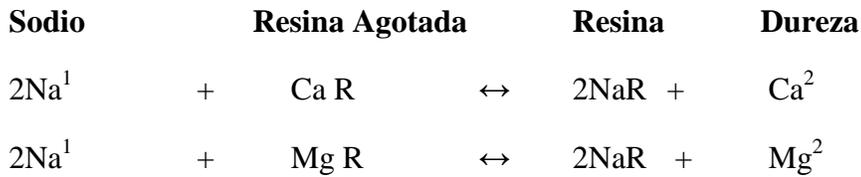
El intercambio iónico es una reacción reversible que implica cantidades químicamente equivalentes. Un ejemplo de intercambio iónico es la reacción para el ablandamiento del agua:



Donde R representa la resina del polielectrolito de la fase de intercambiador.

8.3.10.1 REGENERACIÓN

La regeneración de una resina ablandadora se lo hace con iones de sodio (Na^+) proporcionadas por una solución de cloruro de sodio (sal común Na Cl salmuera). LA reacción es la siguiente:



El intercambio iónico es una técnica eficaz para la separación de impurezas en el agua y varias soluciones.

8.3.10.2 RESINAS INTERCAMBIADORAS DE IONES

Son perlas con un diámetro de 0.6 aproximadamente. Estas perlas son porosas contienen agua, que es invisible y no se puede quitar, expresada como retención de humedad. La resina es un polímero donde el ion fijo ha sido inmovilizado de forma permanente.

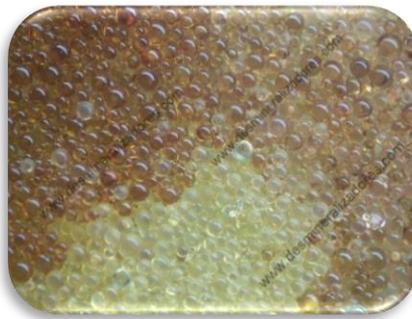


Figura #12: Resinas para Intercambio Ionico.

Las resinas de intercambio iónico tienen varios usos, desnitración, descalcificación, desionización. El tamaño particular de las perlas es superior a 0.2 mm para que no puedan pasar a través de la crespinas del desmineralizador y generalmente inferior a 1 mm.

8.3.10.3 CONTROL FÍSICO-QUÍMICO DEL AGUA

Para el agua de un sistema de generación de vapor deben realizarse varios análisis entre los más comunes tenemos los siguientes; tanto para el agua de alimentación, purga de fondo y condensado.

Tabla #4: Parámetros a controlar en el agua para generación de vapor.

PARÁMETROS	DESCRIPCIÓN
T	Temperatura
O₂	Oxígeno Disuelto
pH	Potencial Hidrógeno
DT	Dureza Total
DCa	Dureza de Calcio
DMg	Dureza de Magnesio
Alcalinidad P	Alcalinidad Parcial o a la fenolftaleína
Alcalinidad M	Alcalinidad Total o Metil - Naranja
Alcalinidad OH	Hidróxidos
HCO₃	Bicarbonatos
CO₃ -2	Carbonatos
Cl-	Cloruros
Fe ++	Hierro
SiO₂	Sílice

8.3.11 CORROSIÓN DEL SISTEMA DE CONDENSADO

El tipo de corrosión más común en estos sistemas es la causada por dióxido de carbono (CO₂); el CO₂ entra al sistema con el agua de alimentación en forma de sales de carbonato o bicarbonato (Alcalinidad) que cuando se ponen en contacto con el agua interior de la caldera a alta temperatura, estos compuestos se rompen formando dióxido de carbono que es transportado por el vapor y se condensa en las tuberías y equipos que forman el sistema de condensados, transformándose en ácido carbónico (H₂CO₃). (Comision Nacional para el Uso Eficiente de la Energia, 2009)

8.3.12 ARRASTRE DE AGUA

El arrastre de agua ocurre cuando una porción de líquido entra al sistema de distribución de energía y se forma una especie de embolo de agua que viaja a la misma velocidad del vapor. Existen varias causas que pueden provocar esto como son: un aumento en la demanda de vapor caídas bruscas de presión en el sistema, purgas, abertura rápida de válvulas en el sistema de distribución. (Comision Nacional para el Uso Eficiente de la Energia, 2009)

Una condición típica en que ocurre el arrastre de agua se da cuando la caldera ha alcanzado la presión de trabajo y el operario abre rápidamente la válvula de distribución de cabezal de vapor. En pocos minutos se notara que el nivel del agua oscila de arriba hacia abajo, oscilación que puede volverse bastante violenta y causar que la caldera se pare debido a que el sensor de nivel interpreta esto como bajo nivel de agua. (Comision Nacional para el Uso Eficiente de la Energia, 2009)

El arrastre de condensado de una caldera tiene relación con el suministro de vapor húmedo (con gotas de agua). El suministro de vapor húmedo puede tener relación con deficiencias mecánicas y químicas; las deficiencias mecánicas tienen relación con la operación con elevados niveles de agua, deficiencias de los separadores de gota, sobrecargas térmicas variaciones bruscas en los consumos. (LTDA. THERMAL ENGINEERING, 2007)

Por otro lado las deficiencias químicas tienen relación con el tratamiento de agua de la caldera, específicamente con excesivos contenidos de alcalinidad, solidos totales (disueltos y suspensión) y sílice, que favorecen la formación de espuma. (LTDA. THERMAL ENGINEERING, 2007)

Para prevenir los arrastres debido a deficiencias en el tratamiento de agua, se recomienda mantener los siguientes límites de los contenidos de alcalinidad, solidos totales y sílice:

Alcalinidad total (CaCO_3) < 700 ppm

Contenido de sílice (SiO_2) < 150 ppm

Sólidos disueltos < 3500 ppm

8.3.13 TRATAMIENTO EXTERNO.

La mayor parte de las operaciones unitarias del tratamiento de agua pueden usarse solas o en combinación con otras para adaptar cualquier abastecimiento de agua a cualquier sistemas de caldera. La conveniencia de los procesos disponibles se juzga por los resultados que producen y por los costos implicados. El programa de tratamiento de la caldera apunta al control de siete clasificaciones amplias de impurezas: solidos suspendidos, dureza, alcalinidad, sílice. Solidos disueltos totales (TDS), materia orgánica y gases. (Kemmer, 1890)

8.3.14 TRATAMIENTO INTERNO.

La formación de incrustaciones dentro de una caldera se controla por los siguientes procesos químicos: coagulación, residuo de fosfato, quelatación o fosfato coordinado.

8.3.15 PROBLEMAS DERIVADOS DE LA UTILIZACIÓN DEL AGUA EN CALDERAS.

Los problemas más frecuentes presentados en calderas pueden dividirse en dos grandes grupos:

- Problemas de corrosión.
- Problemas de incrustación.
- Aunque menos frecuente, suelen presentarse ocasionalmente.
- Problemas de ensuciamiento y/o contaminación.

(José Nicolás Castro Perdomo, slideshare, 2003)

8.3.16 PROBLEMAS FRECUENTES QUE INFLUYEN EN LA EN LA OPERACIÓN DE LA CALDERA.

Los problemas que se dan en el manejo de la caldera van a depender de la calidad del agua que se alimente en ella pues de allí depende la calidad de energía que se va a obtener y los problemas que se van a presentar.

Entre los problemas de operación de la caldera tenemos los siguientes:

Formación de Depósitos.- Los depósitos se van a producir por solidos suspendidos que el agua puede contener y por formación de depósitos de sulfatos y carbonatos de calcio y magnesio. Al formar una capa en los tubos evita la transmisión de calor y esto producirá una baja eficiencia en la producción de vapor.

Corrosión por Oxidación del metal.- El proceso de corrosión se da por la presencia de gases que atacan al hierro entre los gases corrosivos se encuentran el oxígeno y bióxido de carbono. La acidez del agua también influye y ocasiona la corrosión de los materiales por lo tanto el pH debe estar y mantenerse entre 9 y 11.5.

Fragilizarían caustica.- Si la alcalinidad a la fenolftaleína que se encuentra que es la que se encuentra en forma de carbonatos es muy alta, pueden presentarse problemas de fragilización del metal aunque también se da por frecuentes shocks térmicos en la caldera, al complementar sin calentamiento previo el agua de repuesto para compensar las pérdidas por fugas de vapor o por purgas de la caldera.

Formación de Espumas.- Esto sucede cuando existe la presencia de materia orgánica o gran cantidad de solidos disueltos en el agua de caldera. Para evitarla formación de espumas lo que se debe hacer es la purga de la caldera eliminando los sólidos disueltos.

8.3.17 LA CONTAMINACIÓN AMBIENTAL EN LA GENERACIÓN DE VAPOR.

8.3.17.1 PRINCIPALES FUENTES DE CONTAMINACIÓN.

Las normas medio ambientales cada vez son más importantes para la preservación del medio ambiente y salud del hombre, por ello se realiza un análisis de los sistemas de generación de vapor y los efluentes contaminantes que producen.

Dentro de los sistemas de generación de vapor existen contaminantes como: los gases producto de la combustión, las cenizas y las aguas de las extracciones de fondo. Y a esto se les atribuye la contaminación por ruido y el calor que producen.

Las cenizas se las puede usar en diferentes procesos como materia prima y así darle un uso útil; las sales de las aguas extraídas de fondo si se manipulan adecuadamente no presentan un riesgo, pero los gases que se obtiene como producto de la combustión constituyen elementos altamente contaminantes.

Los principales elementos que se producen en la combustión son los siguientes gases:

- **Óxidos de azufre:**

Los óxidos de azufre que se forman durante el proceso de quemado de un combustible son el SO_2 y, en menor medida, el SO_3 . Sus cantidades dependen del contenido de azufre en el combustible. Los carbones, en términos generales, son los más contaminantes y en orden descendente, le siguen el aceite combustible pesado (fuel-oil), el aceite combustible ligero (gas oil) y el gas. La biomasa solo contiene trazas de azufre.

Los efectos nocivos más importantes de estos óxidos son:

- Afectaciones en las vías respiratorias de los seres humanos y animales.
- Formación de lluvias ácidas con graves consecuencias ecológicas.

Para tener una idea clara de la magnitud de estas emisiones, téngase presente que solo los Estados Unidos, lanzan anualmente a la atmósfera una cantidad de SO_2 superior a los 23 millones de toneladas, y de ellas más del 80 por ciento emitidas por calderas.

Cuba, país pequeño y con un limitado desarrollo energético e industrial, emite anualmente cantidades del orden de las 100 000 toneladas.

- **Monóxido de carbono:**

El monóxido de carbono –gas incoloro e inodoro- es el resultado de una combustión incompleta de los reactantes de los combustibles orgánicos, por ello la magnitud que

se emite a la atmósfera, depende esencialmente de la calidad con que se efectúe el proceso de combustión.

Los efectos nocivos más importantes del CO son:

- Afectaciones a la capacidad respiratoria de personas y animales
- Creación de stress psicológico y alteración de las habilidades motoras.

• **Óxidos nitrosos:**

Los óxidos nitrosos (NO_x) son el resultado de la combustión del nitrógeno del combustible y del aire. Este término incluye un alto número de especies gaseosas, pero las más significativas, según las cantidades emitidas son: el dióxido de nitrógeno (NO_2) gas amarillo-carmelitoso y el óxido nitroso (NO). De acuerdo al nivel de nocividad el más peligroso de los dos resulta el NO_2 .

La cantidad de NO_x formada, depende de la cantidad de oxígeno y nitrógeno disponibles durante la combustión, la temperatura, el nivel de mezclado que se alcance y el tiempo de la reacción química.

Los efectos perjudiciales más relevantes de los NO_x son:

- Creación de desórdenes respiratorios en seres humanos y animales.
- Reducción de la visibilidad por adsorción del espectro visible para el hombre.
- Afectaciones a las plantas por lluvias ácidas.
- Aceleración de la corrosión y la degradación material.
- Contribución a la formación del smog sobre las ciudades.
- Se le asocia también con la formación de ozono en las zonas bajas de la atmósfera, el cual resulta un tóxico para el hombre.
- Se le atribuyen también propiedades cancerígenas.

- **Particulados.**

El término particulado incluye un conjunto de materias orgánicas e inorgánicas que, en forma sólida o líquida, acompañan a los gases formando una suspensión. El tamaño de estas partículas está en el rango de 1 a 100 μ aunque pueden encontrarse también partículas menores.

La magnitud de la emisión de particulados depende del modo de combustión, de la aerodinámica de la instalación y de la existencia o no de sistemas de limpieza de gases.

Las principales afectaciones que causan son:

- Alteraciones de la capacidad respiratoria de personas y animales.
- Reducción de la visibilidad.
- Alteración de las propiedades de los suelos cultivables.
- Intensificación de los efectos negativos del SO₂.
- Contribución a la formación del smog.

La emisión total de particulados en Estados Unidos está en el orden de los 8 millones de toneladas anuales, pero las calderas solo contribuyen con un 11 % del total.

- **Compuestos orgánicos volátiles:**

Los compuestos orgánicos volátiles (COV) están formados por sustancias gaseosas a base de carbono e hidrógeno y son principalmente hidrocarburos aromáticos olefínicos y parafínicos. Además, incluyen aldehídos, cetonas e hidrocarburos halogenados. Sus principales efectos perjudiciales son:

- Contribución a la formación del smog fotoquímico.
- Creación de problemas respiratorios e irritación en los ojos.
- Daños a las plantas y reducción de la visibilidad.

La emisión de COV en países como Estados Unidos está en el orden de los 22 millones de toneladas anuales, pero las calderas solo participan en menos de un 1 %.

8.3.17.2 REGULACIONES SOBRE EMISIONES CONTAMINANTES.

Las regulaciones sobre las emisiones contaminantes son distintas en cada país y en ocasiones dentro de un mismo país las hay diferentes por regiones.

Por otro lado, hay países que tienen regulaciones mínimas y en algunos aún no existen. El grado de restricción que se imponga mediante las regulaciones toma en cuenta varios factores, entre otros: el deterioro ambiental existente, las condiciones poblacionales, el hecho de que se trate de una instalación ya existente o que sea nueva, el tipo de combustible, el modo de combustión y los compromisos internacionales del país.

Las regulaciones se pueden establecer para ciertas condiciones, como son:

- Concentración máxima instantánea.
- Concentración máxima promedio para un cierto tiempo.
- Concentración a nivel de chimenea.
- Concentración a nivel de respiración del hombre.
- Cantidades totales máximas en un período de tiempo.

8.3.17.3 MÉTODOS DE REDUCCIÓN DE LAS EMISIONES CONTAMINANTES

La selección de las vías para la reducción de las emisiones contaminantes toma en cuenta diferentes factores, tales como:

- La naturaleza de la emisión contaminante y su magnitud.
- Las exigencias impuestas por las regulaciones existentes.
- El rendimiento de las diferentes tecnologías disponibles para ser aplicadas, así como su demanda de productos químicos y energía.

- Los costos inversionistas, de operación y mantenimiento.

Las diferentes tecnologías con que se cuenta en la actualidad se relacionan seguidamente:

- **Reducción del SO₂**

- Scrubber húmedo: Lavado de los gases con spays de agua y participación de otras sustancias (cal, soda ash, óxido de magnesio, etc.).
- Scrubber seco: los gases son rociados con una solución acuosa de cal apagada para eliminar el SO₂. El agua está en una cantidad tal que se evapora toda en el equipo
- Lecho fluidizado: Empleo de inertes absorbedores del azufre en el lecho.
- Inyección neumática del horno: El horno es inyectado neumáticamente con sustancias tales como cal, dolomita o cal hidratada.

- **Reducción del CO**

Las técnicas para la reducción del CO son propiamente todas las desarrolladas para lograr una combustión eficiente y ya han sido tratadas anteriormente.

- **Reducción de los NO_x**

- Quemadores de bajo NO_x

Se trata de quemadores de sólidos, líquidos o gases, en los que mediante el diseño aerodinámico se reduce el pico de temperatura de la llama. También puede hacerse una oxidación por partes del combustible, suministrando el aire por etapas y con un enfriamiento intermedio. Otra técnica se basa en el mezclado previo del gas y el aire.

- Lecho fluidizado.

El empleo del lecho fluidizado con superficies de enfriamiento sumergidas, permite el mantenimiento de la temperatura en valores tan bajos, que logra una significativa reducción de los NO_x.

- Inyección de agentes químicos.

La reducción de los NO_x a N_2 y H_2O , puede conseguirse inyectando amoníaco o urea en el horno, por encima de la zona de los quemadores a valores de temperatura de los gases de 760 a 1 093 °C.

- **Reducción de particulados.**

- Precipitadores electrostáticos.

Este dispositivo está dotado de electrodos alimentados por una fuente de potencia de alto voltaje, que atrapan las partículas sólidas, cuando por ellos pasan los gases.

- Filtros fábricas.

En este caso, los gases se dividen en un alto número de corrientes paralelas mediante una placa perforada; cada corriente se hace entrar en un tubo de material filtrante - generalmente un tejido de fibra de vidrio- dicho tubo tiene cerrada su salida, lo que obliga a los gases a atravesar sus paredes y filtrarse. Cada cierto tiempo el filtro se limpia mediante un contralavado y vibraciones mecánicas.

- Colectores mecánicos.

Los colectores, mecánicos basan su principio de trabajo para separar las partículas de la corriente de gases, en los cambios bruscos de la dirección de dicha corriente. Los tipos más conocidos son los llamados ciclones.

- Scrubber húmedo.

Estos dispositivos son similares a los utilizados para captar el SO_2 .

La contaminación ambiental que provocan los generadores de vapor, junto con la producida por el transporte, constituye una de las afectaciones ecológicas más graves que provoca el hombre, por lo que debe ser enfrentada con alta responsabilidad, tanto durante el diseño como durante la explotación de estos equipos.

8.3.18 OBJETIVOS DEL ACONDICIONAMIENTO DEL AGUA

1. Evitar la acumulación de incrustación y depósitos en la caldera.
2. Eliminar los gases disueltos en el agua.
3. Proteger la caldera contra la corrosión.
4. Eliminar el acarreo y retardo (vapor).
5. Mantener la eficiencia más alta posible de la caldera.
6. Disminuir la cantidad de tiempo de paralización de la caldera para limpieza.

(José Nicolás Castro Perdomo, slideshare, 2003)

8.4 TRATAMIENTO PREVENTIVO PARA CALDERAS.

8.4.1 GENERALIDADES

Para un correcto mantenimiento periódico de la caldera se debe llevar a cabo una planificación de las tareas que deben realizarse de acuerdo a las condiciones en las que funciona y la rapidez con que se ensucia.

Para calderas funcionando en condiciones normales, se debe realizar un mantenimiento al menos cada 2 semanas del lado del humo en caso de funcionar con combustible líquido y al menos una vez cada 2 meses en caso de funcionar a gas.

El mantenimiento del lado del agua se debe realizar una vez cada 6 meses en el caso de ambas calderas.

Si en condiciones normales de funcionamiento la caldera se ensucia más rápido de lo habitual, el periodo de mantenimiento debe acortarse.

Las calderas de vapor deben ser sometidas al menos una vez al año a una inspección y mantenimiento generales, tanto la caldera como su equipamiento además de las inspecciones que son exigidas en las normas vigentes, con el fin de eliminar fallos de funcionamientos.

La inspección, el mantenimiento, los controles y los accesorios de la caldera deben realizarse conforme a las instrucciones del fabricante.

8.4.2 MANTENIMIENTO MÍNIMO A REALIZARSE A UNA CALDERA.

8.4.2.1 RUTINAS DIARIAS.

- Comprobar el correcto funcionamiento y purgar indicadores de nivel ópticos.
- Purgar la caldera, por lo menos cada ocho horas de trabajo.
- Comprobar que la presión del combustible indicada en el manómetro sea la sugerida para el funcionamiento.
- Comprobar funcionamiento automático del sistema de seguridad, falla en la llama, control de nivel de agua, combustible, etc.
- Secar y limpiar filtro de combustible.
- Verificar el nivel de vibración, ruido en motores, bomba y ventiladores.
- Comprobar si existen fugas de aire-agua o vapor en todo el sistema de alimentación.
- Comprobar el color de llama y combustión general.

8.4.2.2 RUTINAS MENSUALES.

- Realizar simulacros o pruebas de seguridad.
- Realizar pruebas de funcionamiento de equipos y accesorios del quemador.
- Prueba de buen funcionamiento de bombas de alimentación de agua.
- Tomar y analizar muestras del agua contenida en el interior de la caldera, (salinidad, dureza, pH, contenido O₂)

8.4.2.3 RUTINAS BIMESTRALES.

- Inspeccionar el material aislante de calor que constituye el hogar, parte trasera y cambio de empaques.
- Realizar pruebas de disparo en la válvula de seguridad accionando la palanca para ver su funcionamiento y evitar que se pegue en su asiento.
- Destapar los registros de las partes intermedias e inferior de la caldera para evaluar su estado.
- Deshollinar la chimenea de la caldera.

8.4.2.4 RUTINAS SEMESTRALES.

- En caso de utilizar combustibles líquidos, se procede a la limpieza de tubos de humo, eliminar hollín.
- Comprobar el estado del quemador, tapón de registro, y acceso al hogar.
- Inspección interna en el agua y gases. Se procede a limpieza en caso de ser necesario.

8.4.2.5 RUTINAS ANUALES.

- Inspección en frío, caldera parada, procedimiento a la apertura de todos los registros en el lado agua y vapor.
- Eliminación de incrustaciones y sedimentos del lado del agua.
- Verificar la aparición de corrosiones y evaluar si el tratamiento de agua es el correcto.
- Comprobar el estado de elementos de seguridad: presión, temperatura y nivel.
- Realizar prueba hidrostática para comprobar la integridad y hermeticidad de la caldera.

9 BENEFICIARIOS.

9.1 DIRECTOS.

La facultad de Ciencias Matemáticas Físicas y Químicas.

Estudiantes y docentes de la escuela de Ingeniería Química.

Autoridades.

9.2 INDIRECTOS.

Universidad Técnica de Manabí a través de estudiantes y docentes.

Estudiantes de otras universidades.

10 METODOLOGÍA.

Para el desarrollo de este proyecto se contó con la colaboración del Ing. Rafael Chica y personal capacitado para ejecutar el respectivo mantenimiento a los equipos del laboratorio de operaciones unitarias. Dichas actividades se realizaron en un periodo de 45 días en los cuales se capacito teórico-práctico a los autores.

Para alcanzar los objetivos establecidos, el proyecto se estructuro en una serie de pasos primordiales para el mantenimiento adecuado del generador de vapor. Se considerara las siguientes actividades:

- Caracterización del sistema de generación de vapor y accesorios
- Optimización del equipo
- Diagrama de la caldera
- Identificación de la muestra problema
- Puesta en funcionamiento el equipo
- Elaboración del manual para su posterior uso

10.1 CARACTERIZACIÓN DEL SISTEMA DE GENERACIÓN DE VAPOR Y ACCESORIOS.

- Equipo: Caldera Piro-tubular Vertical
- Modelo: VSB – 12/0
- Capacidad: 12 BHP
- Serie #: P - 07 - 046
- Año de fabricación: 2007
- Presión de diseño: 150 Psi
- Calor añadido: 402000 BTU/h
- Producción de vapor: 415 Lbm/h
- Combustible: Diesel (Fuel Oil # 2)

- Consumo pico de combustible: 3.5 GPH
- Marca: Tempak
- Condiciones eléctricas:
- 240 Voltios 3 PH (fases) 60HZ
- Potencia Blower: 1/6 HP
- Potencia bomba diesel: 1.5 HP
- Equipo: Ablandador de agua
- Tanque de intercambio iónico
- Filtro de Arena
- Tanque de Regeneración

10.2 OPTIMIZACIÓN DEL EQUIPO

10.2.1 MANTENIMIENTO ANUAL DE CALDERA PIROTUBULAR TERMPAK 12HP VERTICAL.

- Apertura del equipo.
- Limpieza del lado de agua.
- Limpieza del lado de fuego.
- Limpieza del quemador y sus componentes.
- Cambio de boquilla del quemador (esta debe ser cambiada cada año)
Mejora
- Revisión del Mc. Doonell e instalación de Warrick.
Mejora
- Cambio de rodamientos y mantenimiento de la bomba de agua y del blower.
- Colocación de empaquetaduras nueva.

- Instalación de válvula de seguridad (Nueva) y línea de desfogue.

Mejora

- Instalación de termómetros en chimenea y tanque de alimentación de H₂O.

Mejora

- Instalación de filtro de combustible.

Mejora

- Cambio de válvula de purga de fondo.

- Instalación de alarma sonora en caso de activarse alguna seguridad.

Mejora

- Pruebas de hermeticidad del equipo.

- Puesta en operación.

- Pruebas de seguridades del equipo.

10.3 DISTRIBUIDOR DE VAPOR PRINCIPAL

- Colocación de aislamiento térmico.

Mejora

Esto evitará que se pierda energía por radiación y convección, ayudará a reducir el consumo de combustible y de agua.

- Reubicación de válvula principal de vapor.

Mejora

La válvula está en posición incorrecta, el vapor saturado contiene un 10% de humedad lo cual estas gotas chocan y se acumulan en compuerta de válvula provocando a futuro erosión, corrosión y desgaste igualmente ocurre cuando se para el equipo, se condensa el vapor acumulándose en compuerta.

Sera reubicará en posición vertical.

- Instalación de termómetro en distribuidor principal.

Mejora.

Ayudará a conocer la temperatura del vapor si es o no la adecuada para la presión que manejan.

- Mejorar sistema de trapeo del distribuidor.

Mejora.

Se instalará pierna colectora de condensados. Se colocará válvulas de cierre antes y después de la trampa en caso de un mantenimiento en pleno proceso, además válvula test para verificar si está o no trabajando la trampa.

Realizar el respectivo mantenimiento a la trampa de vapor.

- Instalación de dos colectores de condensado en línea principal de vapor con sus respectivas trampas.

Mejora.

Se evitarán golpes de arietes en arranques, mantendrá un vapor más seco.

10.4 FILTRO DE ARENA Y ABLANDADOR DE H2O.

- Cambio de rodamientos de motores eléctricos pedrollo y pietro.
- Dar mantenimiento al filtro de arena, limpieza del lecho filtrante.
- Instalar línea de aire para un mejor retro lavado del lecho filtrante

Mejora

- Verificar estado de la resina del ablandador.
- Puesta en operación.

10.5 DIAGRAMA DE LA CALDERA

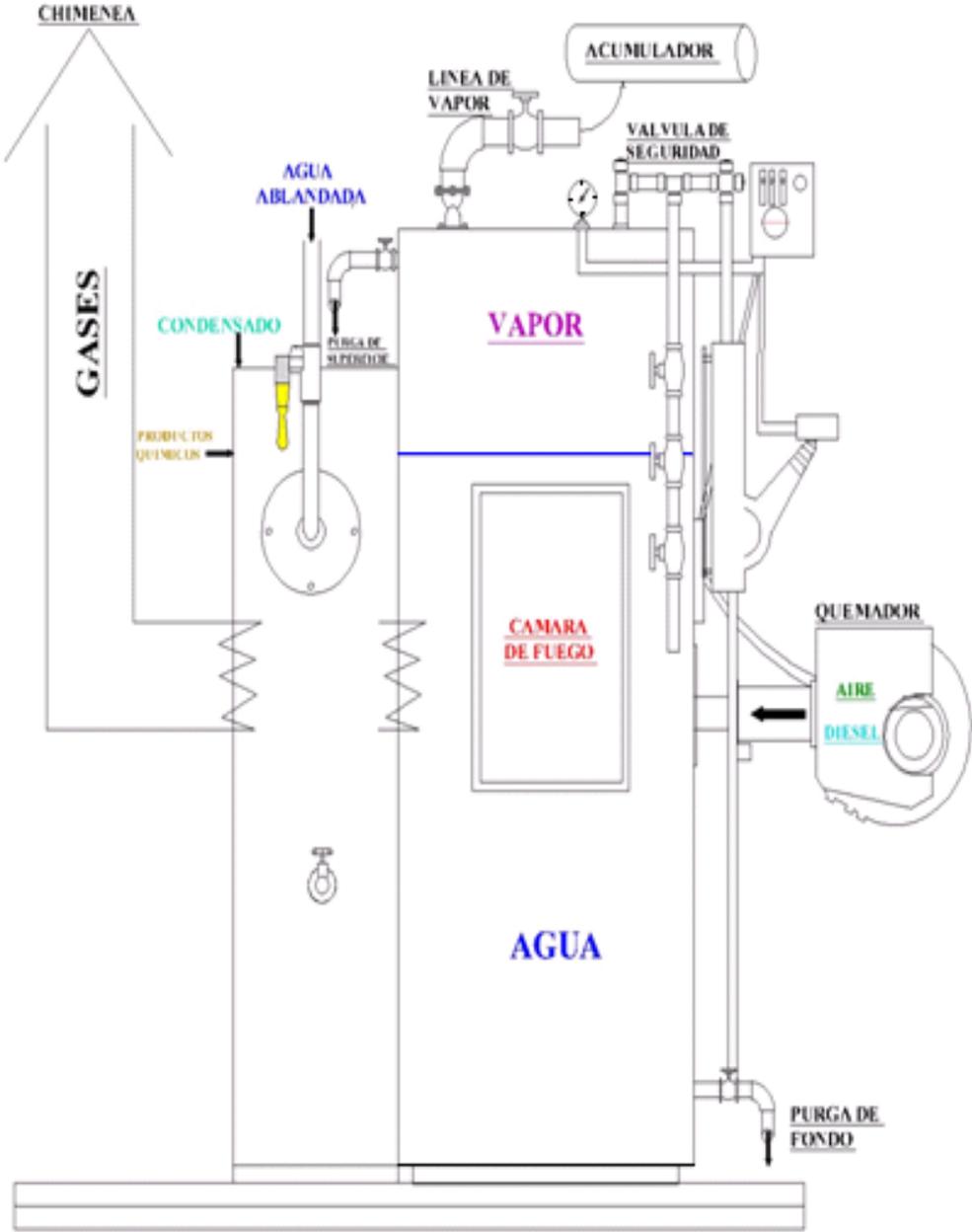


Figura #13: Diagrama de la caldera

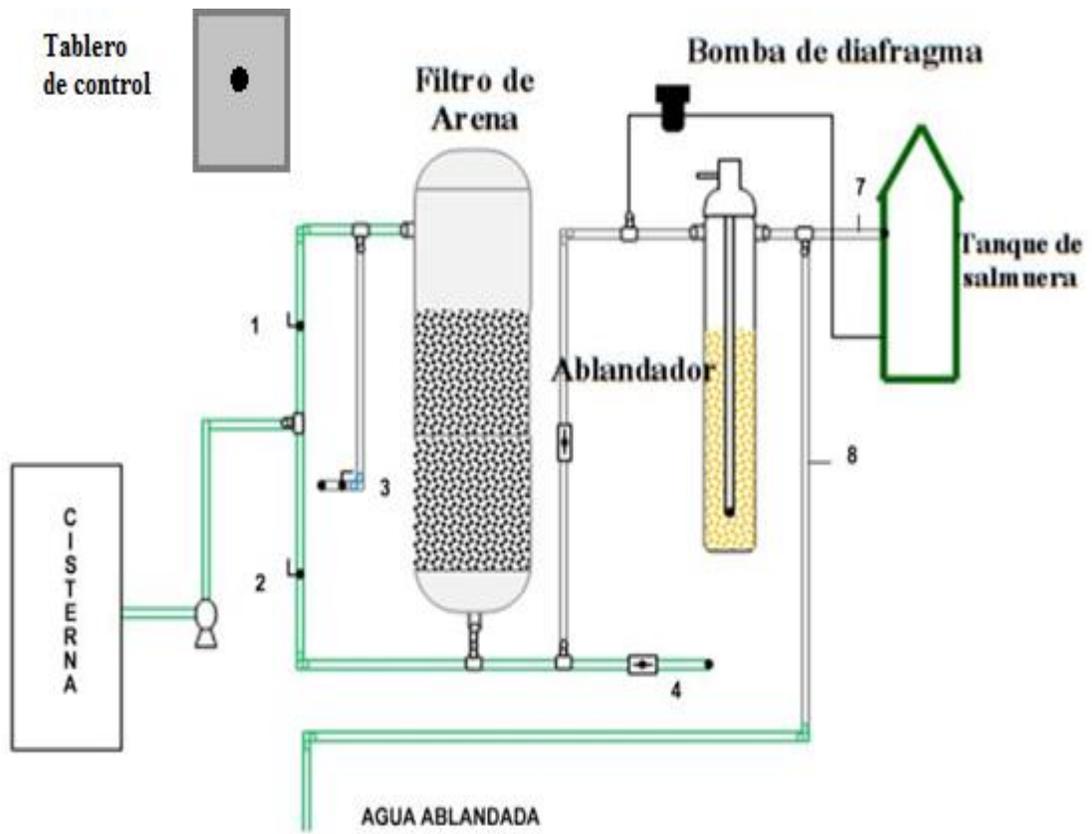


Figura #14: Diagrama del sistema de ablandamiento de agua

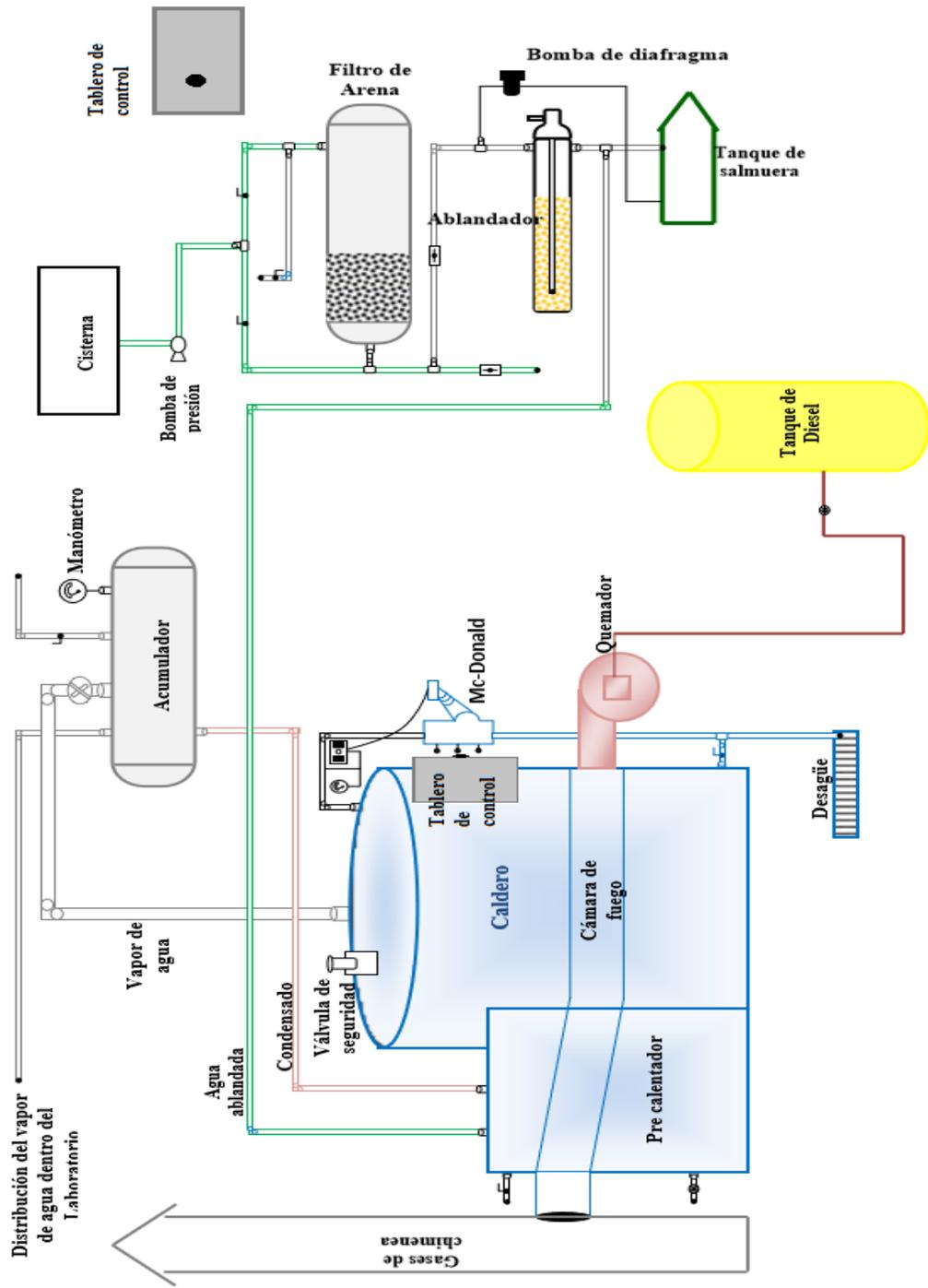


Figura #15: Diagrama general del sistema de generación de vapor

10.6 IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA PROBLEMA

El problema principal que se encuentra es el agua que se utiliza en el sistema de generación de vapor, que de acuerdo a sus características le debe dar su respectivo tratamiento antes de entrar a dicho sistema.

La ciudad de Portoviejo cuenta con agua potable de buena calidad baja en dureza pero con una alta concentración de oxígeno disuelto lo que ocasiona oxido y corrosión dentro de la cámara de vapor.

10.7 PUESTA EN FUNCIONAMIENTO EL EQUIPO.

La puesta en marcha de un sistema de generación de vapor se define como el orden técnico y razonable de las diferentes corrientes de entrada y salida.

Paso 1.- El agua procedente del sistema de ablandador ingresa a la cámara por medio de la bomba. La bomba se apagará cuando se alcance el nivel indicado en el Mc Donald.

Paso 2.- El Quemador entra en funcionamiento, este está formado por la bomba de combustible, soplador de aire, transformador, electrodos y los correspondientes ordenadores electrónicos (válvula solenoide y ampollas de mercurio).

Paso 3.- La presión interna del caldero aumentara lo cual se podrá observar en el manómetro, para este paso se debe tener una precaución de que se encuentre completamente cerrada la válvula de salida de vapor.

Paso 4.- Dependiendo de la capacidad del caldero, tanto como la bomba de agua como la de gasolina dejaran de funcionar accionadas por el sistema electrónico que suspende la energía después de un cierto tiempo de estar en operación.

Dependiendo de los límites de operación asignados se mostrara en el manómetro la presión máxima generada lo cual indicara que estaremos listos para utilizar el vapor para los diferentes procesos, abriendo lentamente la válvula de vapor.

10.8 PRÁCTICAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS PARA CALDERA, PARÁMETROS FÍSICOS

10.8.1 OXÍGENO DISUELTO

DEFINICIÓN.

El Oxígeno Disuelto (OD) es la cantidad de oxígeno que está disuelta en el agua. Es un indicador de cómo de contaminada está el agua o de lo bien que puede dar soporte esta agua a la vida vegetal y animal. Generalmente, un nivel más alto de oxígeno disuelto indica agua de mejor calidad. Si los niveles de oxígeno disuelto son demasiado bajos, algunos peces y otros organismos no pueden sobrevivir.

MATERIALES, EQUIPOS Y REACTIVOS.

- Oxigenometro
- Cloruro de potasio (calibración del equipo)

PROCEDIMIENTO.

Para la calibración del equipo se limpia con un pañito húmedo el electrodo, y se llena el el mismo con cloruro de potasio y se cierra bien. En la pantalla se procede a su calibración colocando 7,9 mg/L como 100%.

Para la medición del oxígeno en la muestra se introduce el electrodo en el agua a examinar, se toma un tiempo para que el valor mostrado en el equipo se estabilice dando así el valor deseado.

10.8.2 DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE HIDROGENO (PH)

DEFINICIÓN.

La concentración de ion hidrógeno es un parámetro de calidad de gran importancia tanto para aguas naturales como residuales. El agua residual con concentraciones de ion hidrógeno inadecuado presenta dificultades de tratamiento con procesos biológicos.

La concentración de ión hidrógeno presente en el agua está muy estrechamente relacionada con la cuantía en que se disocian las moléculas de agua.

MATERIALES, EQUIPOS Y REACTIVOS.

- Vaso de precipitación.
- Medidor multiparámetro.
- Agua destilada.

PROCEDIMIENTO.

- En la muestra a analizar introducimos el electrodo del multiparámetro.
- Realizar la lectura digitalmente y reportamos el valor obtenido, previo a cada lectura el electrodo deberá ser lavado con agua destilada.

En caso de no contar con este equipo, se puede determinar este parámetro por medio de tirillas de pH.

- En la muestra a analizar introducimos una tirilla.
- Realizar la lectura comparativa con los colores y valores determinados en la escala y reportamos el valor determinado.

10.8.3 DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS (TDS)

DEFINICIÓN

Sólidos disueltos total (abreviado a menudo TDS) es una expresión para el contenido combinado de todos inorgánico y orgánico sustancias contenidas en un líquido que están presentes en un molecular, ionizado o micro-granular (coloidal solenoide) forma suspendida.

La definición operacional es generalmente que los sólidos deben ser bastante pequeños sobrevivir filtración con un tamaño del tamiz de dos micrómetros. Sume los sólidos disueltos normalmente se discuten solamente para los sistemas de agua dulce, puesto que la salinidad abarca alguno de los iones que constituyen la definición del TDS. El uso principal del TDS está en el estudio de calidad del agua para corrientes, ríos y lagos, aunque el TDS se considera generalmente no como agente contaminador primario, sino que se utiliza algo como indicación de características estéticas de agua potable y como indicador agregado de la presencia de un amplio arsenal de contaminantes químicos.

MATERIALES, EQUIPOS Y REACTIVOS

- Vaso de precipitación.
- Medidor de sólidos.
- Agua destilada.

PROCEDIMIENTO

- En el cubículo llenar con la muestra.
- Introducir el medidor de sólidos.
- Tomar la lectura.

10.9 PRÁCTICAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS PARA CALDERA, PARÁMETROS QUÍMICOS.

10.9.1 DETERMINACIÓN DE ALCALINIDAD.

DEFINICIÓN

La alcalinidad presente en el agua residual es provocada por la presencia de hidróxidos, carbonatos y bicarbonatos de elementos, como el calcio, magnesio, sodio, potasio o el amoníaco. Entre ellos los más comunes son el bicarbonato de calcio y el bicarbonato de magnesio. Normalmente el agua residual es alcalina, propiedad que adquiere de los materiales añadidos en los procesos. La alcalinidad se determina por titulación con un ácido normalizado, expresándose los resultados en Carbonato de Calcio CaCO₃.

MATERIALES Y REACTIVOS

- Erlenmeyer de 250 cm³
- Pipetas de 10 cm³
- Bureta
- Anaranjado de metilo (indicador)
- HCl 0.1N

DETERMINACIÓN DE ALCALINIDAD

- En un matraz erlenmeyer de 250cm³, medir 10 cm³ de muestra
- Adicionar 3 gotas de anaranjado de metilo como indicador
- Titular con ácido clorhídrico 0.1 N. hasta cambio de color anaranjado del indicador a anaranjado rojizo que indica el punto final de la titulación.

CALCULOS

$$\%Alacalinidad = \frac{\text{consumo} * N(\text{HCl}) * \text{Meq}(\text{NaOH})}{\text{Volumen Muestra}} * 100$$

10.9.2 DETERMINACIÓN DE DUREZA TOTAL.

DEFINICIÓN

La dureza es el contenido de Bicarbonatos, carbonatos y otras sales neutras de Calcio y Magnesio. Este método consiste en la formación por parte del E.D.T.A. (Etilendiamino tetracético) de complejos con los iones Calcio y Magnesio, lo cual se produce en medio ligeramente alcalino.

MATERIALES, EQUIPOS Y REACTIVOS

- Erlenmeyer de 250 cm³
- Pipeta de 10cm³
- Solución buffer.- (mezcla de cloruro de amonio - Hidróxido de amonio): Pesar 6.5 g de Cloruro de amonio, añadir 57 cm³ de Hidróxido de amonio y completar 100 cm³ con agua destilada.
- Negro de Eriocromo T (indicador)
- Solución titulante E.D.T.A. Solución estandarizada 0.01 N

PROCEDIMIENTO.

- En un erlenmeyer de 250 cm³ tomar con la ayuda de una pipeta 10 cm³ del agua a analizar.
- Agregar 1 cm³ de solución buffer amoniacal y el indicador negro de eriocromo T.
- Titular lentamente con la solución estandarizada de E.D.T.A., hasta cambio de color de rojo violeta a azul.

CALCULOS.

$$Dureza \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{\text{consumo}(EDTA) * N(EDTA) * 1000 * 20.75}{Volumen Muestra}$$

10.9.3 DETERMINACIÓN DE CLORUROS.

DEFINICIÓN.

El ion cloruro está ampliamente distribuido en la naturaleza, principalmente formando parte de cloruro de sodio. En el agua el contenido de cloruro puede ser de 250 mg/L y suele encontrarse junto el catión sodio. También pueden encontrarse aguas con 1000 mg/L de cloruros y en este caso los cationes predominantes son calcio y magnesio.

MATERIALES Y REACTIVOS.

- Erlenmeyer de 250 ml.
- Pipetas de 10 ml.
- Solución de AgNO_3 0.1N.
- Cromato de potasio ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_3$) al 5% (indicador).

PROCEDIMIENTO.

La concentración de Cloruros se determina por titulación con AgNO_3 , expresando los resultados como Cloruro de Sodio (NaCl).

- Tomar 10 cm³ de muestra, añadir 3 gotas del indicador cromato de potasio.
- Titular con solución de AgNO_3 0.1N, hasta cambio de coloración de amarillo a rojizo lo cual indica el punto final de la titulación.

CALCULOS.

$$\%CL = \frac{\text{consumo (Ag NO}_3) * N(\text{Ag NO}_3) * \text{Meq(NaOH)}}{\text{Volumen Muestra}} * 100$$

10.9.4 DETERMINACIÓN DE SÍLICE

DEFINICIÓN.

La sílice es una fuente de incrustación, se encuentra en el agua de suministro, se concentra en el agua de calderos, formando incrustación en toda la superficie del caldero que está en contacto con el agua. La concentración de sílice es considerable en la purga de caldero, formando parte también de la descarga final.

MATERIALES, EQUIPOS Y REACTIVOS.

- Espectrofotómetro.
- Pipetas de 10ml.
- Reactivo para determinación de sílice #1, #2, #3.
- Agua destilada.

PROCEDIMIENTO.

- Pipetear 10 ml de agua destilada e introducir en cubeta (blanco).
- Pipetear 10 ml de muestra en una cubeta.
- Adicionar reactivo #1, agitar.
- Adicionar reactivo #2, agitar y esperar 10 minutos.
- Adicionar reactivo #3, agitar y esperar 2 minutos.
- Introducir el blanco en el espectrofotómetro y marcar como cero.
- Medir la muestra.

10.9.5 DETERMINACIÓN DE HIERRO

DEFINICIÓN

El hierro es un metal pesado, catalogado como contaminante prioritario. Debido a su toxicidad el hierro en cantidades excesivas interferirá con gran número de los usos del agua. Es por ello que a menudo resulta conveniente medir y controlar las concentraciones de este metal.

MATERIALES, EQUIPOS Y REACTIVOS

- Espectrofotómetro.
- Pipetas de 10ml.
- Reactivo para determinación de hierro.
- Agua destilada.

PROCEDIMIENTO

- Pipetear 10 ml de agua destilada e introducir en cubeta (blanco).
- Pipetear 10 ml de muestra en una cubeta.
- Adicionar reactivo #1, agitar y esperar 3 minutos.
- Introducir el blanco en el espectrofotómetro y marcar como cero.
- Medir la muestra.

11 RECURSOS.

11.1 RECURSOS HUMANOS.

- Director de Tesis.
- Tribunal de Revisión.
- Docentes de la Escuela de **Ingeniería** Química de la Facultad de Ciencias Matemáticas Físicas y Químicas.
- Asesores Internos y Externos.
- Autores de la tesis.

11.2 RECURSOS OPERATIVOS.

- Bibliografías.
- Internet.
- Copias.
- Consultas de asesoramiento.
- Insumos y repuestos.
- Transporte.
- Alimentación.

11.3 RECURSOS FINANCIEROS.

- | | |
|--------------------------------|------|
| ➤ Adquisición de Materiales | 2500 |
| ➤ Técnicos | 500 |
| ➤ Internet | 50 |
| ➤ Transporte | 300 |
| ➤ Alimentación | 100 |
| ➤ Copias | 25 |
| ➤ Especies Valoradas | 10 |
| ➤ Impresiones y Encuadernación | 150 |
| ➤ Imprevistos | 200 |

12 RESULTADOS OBTENIDOS.

12.1 DETERMINACION DE CLORUROS

Agua de la Cisterna

$$\%CL = \frac{\text{consumo (Ag NO}_3) * N(\text{Ag NO}_3) * \text{Meq(NaOH)}}{\text{Volumen Muestra}} * 100$$

$$\%CL = \frac{0.8 * 0.1 * 0.0355}{50} * 100$$

$$\%CL = 5.68 \times 10^{-3}$$

$$CL = 5.68 \text{ ppm}$$

Agua del Ablandador

$$\%CL = \frac{\text{consumo (Ag NO}_3) * N(\text{Ag NO}_3) * \text{Meq(NaOH)}}{\text{Volumen Muestra}} * 100$$

$$\%CL = \frac{0.8 * 0.1 * 0.0355}{50} * 100$$

$$\%CL = 5.68 \times 10^{-3}$$

$$CL = 5.68 \text{ ppm}$$

Agua condensada del acumulador

$$\%CL = \frac{\text{consumo (Ag NO}_3) * N(\text{Ag NO}_3) * \text{Meq(NaOH)}}{\text{Volumen Muestra}} * 100$$

$$\%CL = \frac{0.8 * 0.1 * 0.0355}{50} * 100$$

$$\%CL = 5.68 \times 10^{-3}$$

$$CL = 5.68 \text{ ppm}$$

12.2 DETERMINACIÓN DE LA ALCALINIDAD

Agua Cisterna

$$\%Alacalinidad = \frac{\text{consumo} * N(\text{HCl}) * \text{Meq}(\text{NaOH})}{\text{Volumen Muestra}} * 100$$

$$\%Alacalinidad = \frac{1.8 * 0.1 * 0.04}{10} * 100$$

$$\%Alacalinidad = 0.72 \text{gr/ml}$$

Agua Del Ablandador

$$\%Alacalinidad = \frac{\text{consumo} * N(\text{HCl}) * \text{Meq}(\text{NaOH})}{\text{Volumen Muestra}} * 100$$

$$\%Alacalinidad = \frac{1.6 * 0.1 * 0.04}{10} * 100$$

$$\%Alacalinidad = 0.64 \text{gr/ml}$$

Agua condensada del acumulador

$$\%Alacalinidad = \frac{\text{consumo} * N(\text{HCl}) * \text{Meq}(\text{NaOH})}{\text{Volumen Muestra}} * 100$$

$$\%Alacalinidad = \frac{0.3 * 0.1 * 0.04}{10} * 100$$

$$\%Alacalinidad = 0.012 \text{gr/ml}$$

12.3 DETERMINACIÓN DE LA DUREZA

Agua de la Cisterna

$$Dureza \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{\text{consumo}(EDTA) * N(EDTA) * 1000 * 20.75}{Volumen Muestra}$$

$$Dureza \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{0.9 * 0.01 * 10000 * 20.75}{10}$$

$$Dureza \left(\frac{mg}{L} \right) = 186.75$$

Agua del Ablandador

$$Dureza \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{\text{consumo}(EDTA) * N(EDTA) * 1000 * 20.75}{Volumen Muestra}$$

$$Dureza \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{0 * 0.01 * 10000 * 20.75}{10}$$

$$Dureza \left(\frac{mg}{L} \right) = 0$$

Agua condensada del acumulador

$$Dureza \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{\text{consumo}(EDTA) * N(EDTA) * 1000 * 20.75}{Volumen Muestra}$$

$$Dureza \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{0 * 0.01 * 10000 * 20.75}{10}$$

$$Dureza \left(\frac{mg}{L} \right) = 0$$

12.4 DETERMINACIÓN DE DIVERSOS PARAMETROS

Tabla #5: Resultados obtenidos por equipo multiparámetro, conductímetro y espectrofotómetro.

Muestra	TDS	TEMP.	PH	OD	Sílice	Hierro
Cisterna	127.3 mg/l	29.2 °C	6.92	6.5 mg/L	43.6mg/L	1.38 mg/L
Ablandador	126.3 mg/l	29.3 °C	7.46	7.1 mg/L	45.1 mg/L	0.12 mg/L
Acumulador	19.64 mg/l	28.9 °C	7.37	-	11.4 mg/L	0.46 mg/L

12.5 COMPARATIVA DE VALORES REQUERIDOS Y OBTENIDOS

Tabla #6: Comparación de valores Requeridos y valores obtenidos en el agua de alimentación de la caldera.

Parametro	Valores Recomendados	Valores Obtenidos
Dureza Total	< 2ppm	0
Oxigeno Disuelto	< 8ppb	7.1 mg/L
Hierro	< 3.0 mg/l	0.12 mg/l
Sílice	150ppm	45.1ppm
Alacinidad Total	< 25ppm	0.64ppm
pH	8.5-9.5	7.46
Cloruros	10 a 25ppm	5.68ppm
Solidos Disueltos	< 3500ppm	126.3ppm

Fuente: Artículo técnico. Tratamiento de agua para calderas. THERMAL ENGINEERING LTDA.

13 ANÁLISIS DE COSTOS.

Para conocer los costos en la generación de vapor se consideró los principales gastos: combustible, electricidad y agua. Y se los calculo en base a un determinado tiempo de producción, el cual fue el arranque de la caldera hasta producir las 50 PSI d presión, la cual es la presión a la que se dispondrá el vapor a el Laboratorio de Operaciones Unitarias, el cual aproximadamente son 40 minutos.

➤ Combustible:

Se consumió 1cm del nivel del tanque de combustible, el tanque tiene un diámetro interno aproximado de 76cm.

$$A = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{\pi(0.76)^2}{4} = 0.453m^2$$

$$V = Axh = (0.453)(0.01) = 0.00453m^3 = 4.53L = 1.19gal$$

$$C_{combustible} = Vx\$_{diesel} = (1.19gal)(1.04 \$/gal) = \$1.24$$

➤ Agua de alimentación:

Durante el funcionamiento de la caldera, se consumió 3.7cm de agua de la cisterna, la cual tiene unas dimensiones internas aproximadas de 1.54mx2.97m.

$$A = LxL = (1.54)(2.97) = 4.57m^2$$

$$V = Axh = (4.57)(0.037) = 0.17m^3$$

$$C_{agua} = Vx\$_{agua} = (0.17m^3)(0.40 \$/m^3) = \$0.068 \approx \$0.07$$

➤ Bombas:

La caldera cuenta con dos bombas, una para el tratamiento del agua y la segunda del precalentado, con un consumo de 0.37 y 1.2 KWatt respectivamente.

$$B_{tratamiento} = Wx\$_{electricidad} = (0.37KWatt)(0.08 \$/Kwatt) = \$0.03$$

$$B_{precalentador} = Wx\$_{electricidad} = (1.5KWatt)(0.08 \$/Kwatt) = \$0.12$$

$$C_{bombas} = B_{tratamiento} + B_{precalentador} = \$0.03 + \$0.12 = \$0.15$$

➤ Sumatoria de costos:

$$C_{total} = C_{combustible} + C_{agua} + C_{bombas}$$

$$C_{total} = \$1.24 + \$0.07 + \$0.15 = \$1.46$$

➤ Costos en 1 hora:

$$C = \frac{C_{total}}{t} = \frac{\$1.46}{40min} = 0.0365 \frac{\$}{min} = 2.19 \frac{\$}{h}$$

Nota: Los valores están dados desde el arranque del caldero, durante un trabajo continuo el costo total será menor por motivo de que disminuye el consumo de combustible y de agua.

Con ayuda de las tablas de vapor encontramos el volumen específico del vapor a la presión de trabajo.

$$50PSI * \frac{1 atm}{14.7 PSI} * \frac{1.033 bar}{1 atm} \approx 3.5 bar$$

$$3.5bar \rightarrow 138.86^{\circ}c \rightarrow 0.0010786 \frac{m^3}{Kg}$$

$$0.0010786 \frac{m^3}{Kg} * \frac{1000L}{m^3} = 10.786 \frac{L}{Kg}$$

El acumulador cuenta con una capacidad aproximada de 37L.

$$37L * \frac{Kg}{10.786L} = 2.781Kg$$

Al analizar el costo por unidad de vapor, obtendremos:

$$2.19 \frac{\$}{h} * \frac{1}{2.781Kg} = 0.79 \frac{\$/Kg}{h}$$

14 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

14.1 CONCLUSIONES.

- El sistema de generación de vapor del laboratorio de operaciones unitarias quedó en óptimas condiciones para el uso adecuado de los estudiantes de la escuela de ingeniería química, con las mejoras realizadas, el generador de vapor trabaja de manera automatizada a 50 PSI de presión, de igual manera se añadió un control automático al sistema de ablandador de agua de alimentación de la caldera.
- Los valores obtenidos de las prácticas implementadas se llegó a la conclusión de que los tratamientos que se realizaron al agua están dentro de los parámetros y cumplen con los valores recomendados para su posterior alimentación a la caldera, excluyendo el valor de oxígeno disuelto el cual mantiene un valor elevado antes de ingresar a la caldera, el cual disminuirá al momento de aumentar su temperatura en el precalentador.
- Mediante los resultados obtenidos de las prácticas y análisis realizados, se comprobó que con las mejoras efectuadas, el sistema de ablandamiento e intercambio iónico está en condiciones adecuadas para su óptimo funcionamiento.
- Con la elaboración del diagrama y el manual de operaciones del sistema de generación de vapor, se ha construido una gran herramienta la cual será de mucha utilidad para el uso de los estudiantes de ingeniería química, ya que será una guía al momento de operar el mencionado equipo.
- Durante la puesta en marcha del sistema de generación de vapor, se analizó los consumos necesarios para la generación de vapor durante un intervalo de tiempo, dando como resultado un valor de $0.79 \frac{\$/Kg}{h}$ el cual se considera un valor aceptable y accesible para este tipo de operaciones.

14.2 RECOMENDACIONES.

- Es necesario que cuando se utilice el sistema de generación de vapor se realice un análisis al agua ablandada, para conocer la dureza con la que ingresa a la caldera previniendo así que el agua contenga valores altos de la misma, esto ayudara a prevenir incrustaciones dentro del sistema. Hay que recordar que la resina debe ser cambiada una vez cada dos años, ya que este es el tiempo de vida útil de la misma, si este procedimiento no es realizado provocara el aumento de la dureza en el agua lo que conllevara a futuras incrustaciones.
- La bomba de alimentación de agua cumplió su tiempo de vida útil, por lo cual se recomienda su posterior cambio. En caso de no ser realizado este procedimiento se podría provocar una inundación en el sistema de vapor lo que ocasionará arrastre de agua por vapor logrando que no se genere la potencia requerida en el proceso.
- Mantener el nivel del tanque de diésel $\frac{3}{4}$ sobre de su nivel máximo ya que si se encuentra por debajo del nivel recomendado existirá gran presencia de compuestos volátiles que pueden ser perjudiciales para la zona de calderería. Así mismo se recomienda que el nivel del tanque no sea menor a su nivel mínimo marcado en el mismo, lo que provocara que no exista una correcta distribución hacia la bomba de combustible y posteriormente al quemador.
- Comprobar que el tanque de la cisterna se encuentre lleno o a un nivel correcto, caso contrario que se encuentre en un nivel bajo la bomba del sistema de tratamiento de agua absorberá una mezcla de aire-agua la cual será perjudicial para el sistema de tratamiento de agua como para el generador de vapor.
- Llevar a cabo un correcto mantenimiento preventivo diario y mensuales de la caldera, lo cual asegurara su tiempo de vida útil y se logrará prevenir daños o fallas del sistema en un futuro. No olvidar el mantenimiento preventivo semestral y anual de la caldera, el cual debe ser realizado por personal especializado.
- Debido al alto contenido de oxígeno disuelto en el agua es recomendable instalar un tratamiento químico en línea con sulfito de sodio para disminuir estos niveles. Ya que los niveles existentes provocaran una corrosión dentro de la caldera.

15 BIBLIOGRAFIA

A.D. Little. (1915). La Ingeniería Química como área de conocimiento.

Alvarez Luisa. (19 de Mayo de 2013). *UNEFA*. Obtenido de ma1unefa.blogspot.com/2013_05_19_archive.html

Aníbal Borroto Nordelo, A. R. (2007). *Combustión y Generacion de Vapor*. UNIVERSO SUR.

Anonimo. (1 de Junio de 2008). *Informacion General*. Obtenido de Laboratorio de Operaciones Unitarias: <http://laboratoriodeunitarias.wordpress.com/>

Bolivar Pazmiño Andrade, C. C. (2006). Prediseño de las instalaciones de vapor y selección de la caldera del tipo pirotubular del "Hospital de un Canto de la Vida". Quito.

buenastareas. (2013). *buenastareas*. Obtenido de intercambaidores de calor: <http://www.buenastareas.com/ensayos/Generador-De-Vapor/31428958.html>

Cedeño Jesus, M. E. (Mayo de 2010). "TRATAMIENTO DEL AGUA POTABLE DE LA CIUDAD DE PORTOVIEJO PARA SER UTILIZADA EN LA UNIDAD DE CALDERA EN EL LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS DE LA FACULTAD DE CIENCIAS MATEMÁTICAS, FÍSICAS Y QUÍMICAS DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ". Protoviejo, Manabi, Ecuador.

Comision Nacional para el Ahorro de Energia. (Octubre de 2002). *Guia de vapor para la Industria*. Recuperado el Septiembre de 2014, de www.cnpml.org.sv: www.cnpml.org.sv

Comision Nacional para el Uso Eficiente de la Energia. (Octubre de 2009). *Tratamiento del agua para su utilizacion en calderas*. Obtenido de www.conuee.gob

Charles Donald Swift. (1975). *Plantas de Vapor*.

Dr.-Ing Eberhard Franz, B. (2012). *Comparativa de caldera pirotubular y caldera acuotubular*.

EcuRed. (s.f.). *EcuRed*. Obtenido de http://www.ecured.cu/index.php/Generador_de_vapor

Eduardo Vargas Cortes. (2006). *UPT*. Obtenido de labdeoperacionesunitariasdeiq: <https://sites.google.com/site/labdeoperacionesunitariasdeiq/>

Guerrero Bustamante P. C. (09 de 04 de 2014). *scribd*. Obtenido de Eficiencia energética: <http://es.scribd.com/doc/217268004/Calderas-Industriales-Rep>

José Nicolás Castro Perdomo. (07 de Marzo de 2003). *slideshare*. Obtenido de <http://es.slideshare.net/ncpnic/49434999-tratamientodeaguaparacalderas>

- José Nicolás Castro Perdomo. (s.f.). *slideshare*. Obtenido de <http://es.slideshare.net/ncpnic/49434999-tratamientodeaguaparacalderas>
- Kemmer, F. N. (1890). *Manual del Agua-Tratamiento y Aplicaciones*.
- L. Cereso Diez. (1980). *Corrosion y Tratamiento de Agua*.
- Laboratorio Operaciones Unitarias. (s.f.). *Laboratorio de operaciones unitarias*. Obtenido de <http://laboratoriodeunitarias.wordpress.com/>
- Lange Maria, M. M. (2010). "DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA DE LA TORRE DE ENFRIAMIENTO DEL LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ". Portoviejo, Manabí, Ecuador.
- Latorre Gisela, C. J. (2010). "TRATAMIENTO DEL AGUA POTABLE DE LA CIUDAD DE PORTOVIEJO PARA SER UTILIZADA EN LA UNIDAD DE CALDERA EN EL LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS DE LA FACULTAD DE CIENCIAS MATEMÁTICAS, FÍSICAS Y QUÍMICAS DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ". Portoviejo.
- Lenntech. (2006). *Water Treatment Solutions*.
- Lopez, C. (s.f.). *monografias.com*. Obtenido de <http://www.monografias.com/trabajos93/descripcion-del-funcionamiento-generador-vapor/descripcion-del-funcionamiento-generador-vapor.shtml>
- LTDA. THERMAL ENGINEERING. (2007). *Tratamiento de Agua para Calderos*.
- LTDA., T. E. (2007). *Tratamiento de Agua para Calderos*.
- Telstar Life Science Solutions. (2010). Obtenido de www.telstar-lifesciences.com: <http://www.telstar-lifesciences.com/es/tecnologias/sistemas+de+generacion+de+agua+wfi+y+vapor+farmaceutico/steam+generators.htm>
- Telstar. (s.f.). *Telstar Life Science Solutions*. Obtenido de <http://www.telstar-lifesciences.com/es/tecnologias/sistemas+de+generacion+de+agua+wfi+y+vapor+farmaceutico/steam+generators.htm>
- Warren L., M. (1991). *Operaciones Unitarias en Ingeniería Química*.
- Wiki eoi. (s.f.). *Wiki eoi*. Obtenido de http://www.eoi.es/wiki/index.php/Calderas,_generadores_de_vapor,_hornos_y_secaderos_en_Eficiencia_energ%C3%A9tica

16 PRESUPUESTO.

TEMA DE TESIS PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO QUÍMICO:

“MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE GENERACIÓN DE VAPOR DEL LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS”

ENTIDAD: UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ

POSTULANTES: Cusme Chinga Gabriel Antonio, Valencia Macías Guillermo Rafael

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	PRECIO TOTAL
1	Adquisición de Materiales	2500
2	Técnicos	500
3	Internet	50
4	Transporte	300
5	Alimentación	100
6	Copias	25
7	Especies Valoradas	10
8	Impresiones y Encuadernación	150
9	Imprevistos	200
TOTAL		3835

Son: Tres mil ochocientos treinta y cinco dólares.

Cusme Chinga Gabriel Antonio
Rafael

Valencia Macías Guillermo

17 CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES.

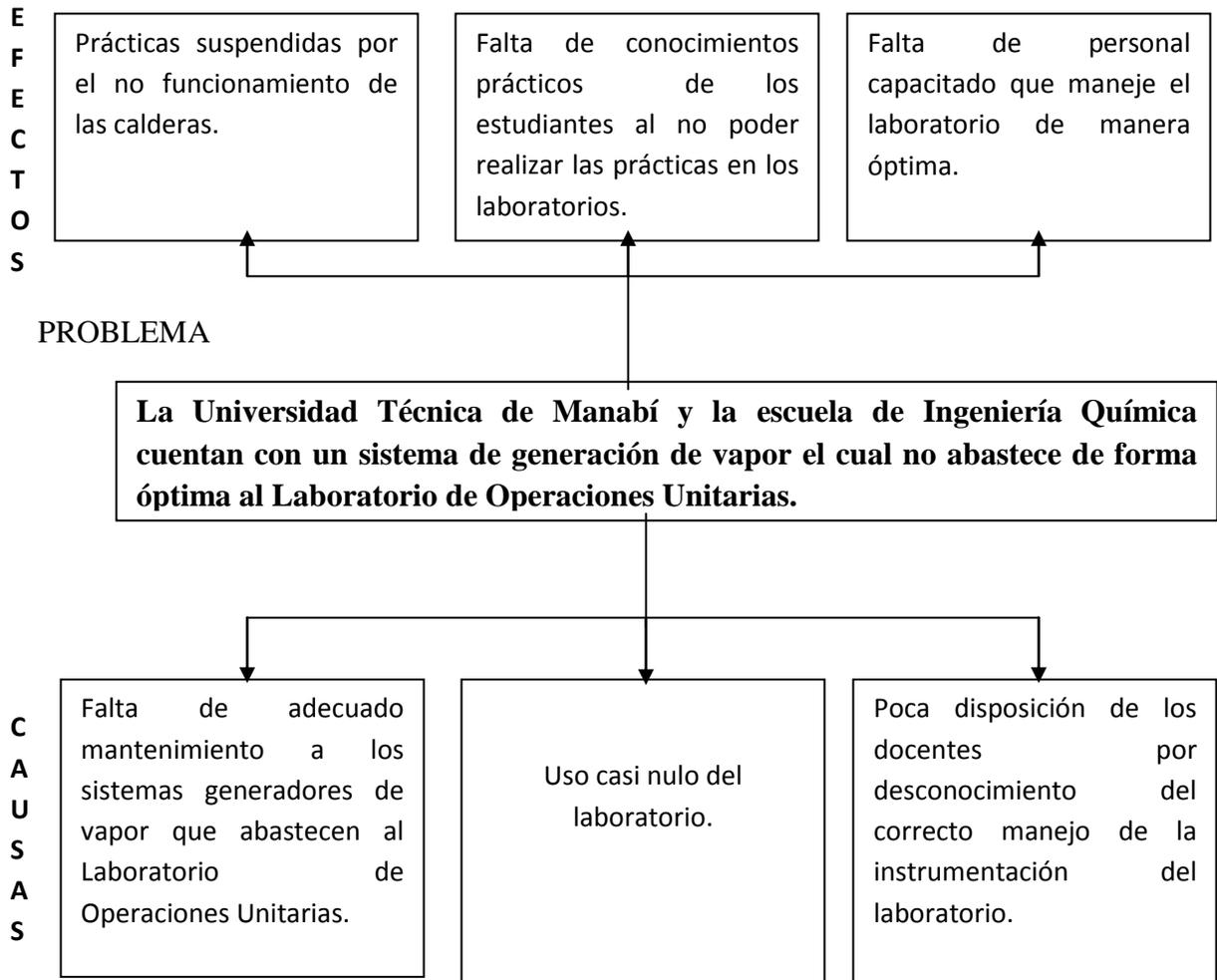
CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES REALIZADAS														
"MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE GENERACIÓN DE ENERGÍA DEL LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS."														
Entidad: Universidad Técnica de Manabí														
Autores: Cusme Chinga Gabriel Antonio, Valencia Macías Guillermo Rafael														
ITEM	ACTIVIDADES	PLAZO EN MESES												
		AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICEMBRE	ENERO	FEBRERO						
1	Elaboración de las técnicas de investigación	■	■											
2	Aprobación de las técnicas de investigación		■											
3	Aplicación de la entrevista			■										
4	Análisis de la entrevista			■	■	■	■	■	■	■	■	■		
5	Primer avance				■									
6	Mejoramiento des sistema de generación de energía del laboratorio de operaciones unitarias					■	■	■						
7	Implementación de prácticas de tratamiento de aguas para el uso en calderos							■	■					
8	Elaborar un diagrama y manual de operación del caldero								■	■	■			
9	Segundo avance										■			
10	Corrección del trabajo final											■	■	
11	Sustentación de tesis ante el tribunal de evaluación y revisión													■

18 ANEXOS

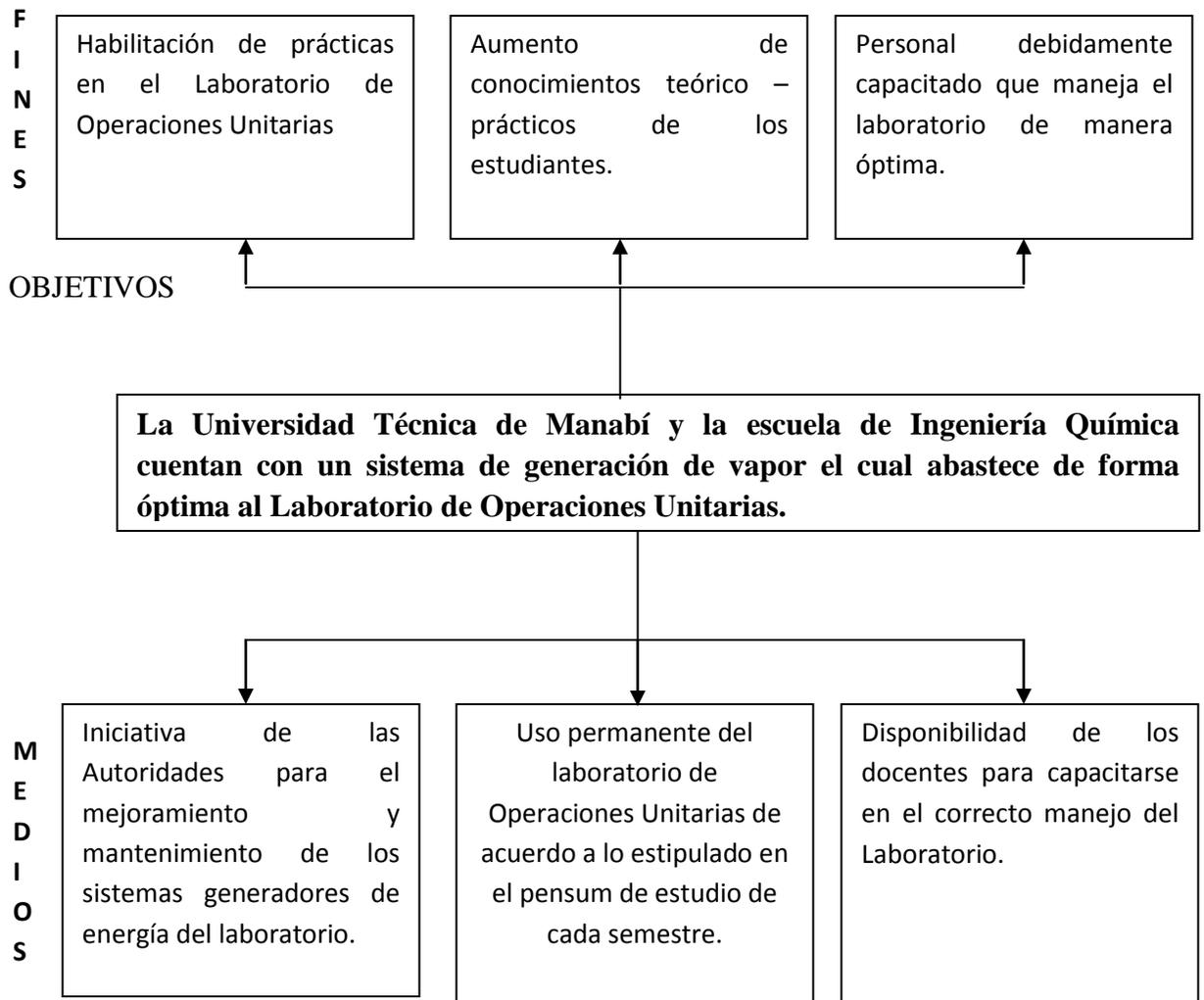
MATRIZ DE LOS INVOLUCRADOS.

GRUPOS E INSTITUCIONES	INTERESES	PROBLEMAS PERCIBIDOS	RECURSOS Y MANDATOS	INTERESES DEL PROYECTO	CONFLICTOS PARCIALES
Autoridades de la Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas de la Universidad Técnica de Manabí.	Mejorar el proceso de enseñanza teórico – práctico de los docentes a través del uso de laboratorios.	La Universidad Técnica de Manabí cuenta con un Laboratorio de Operaciones Unitarias que no funciona en su totalidad por prescindir de un mejor equipo generador de vapor.	Apoyo a la Gestión de los egresados de la Escuela de Ingeniería Química.	Beneficiar a todos los miembros de la Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas.	Mantenimiento no adecuado por falta de recursos.
Docentes	Desarrollar el aprendizaje de calidad en los estudiantes a través de la práctica.	Los laboratorios para el desarrollo del proceso teórico – práctico son poco adecuados	Contamos con recursos humanos y económicos.	Mantener el laboratorio en óptimas condiciones para ejercer la cátedra teórica – práctica.	Incorrecto funcionamiento del sistema de generación de vapor para impartir sus enseñanzas.
Personal que labora en el Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Escuela de Ingeniería Química.	Contar con el insumo energético necesario para llevar a cabo las prácticas requeridas.	Presupuesto insuficiente para mejorar el caldero de manera inmediata.	Conocimiento Predisposición	Incrementar el interés del personal que labora en el laboratorio.	Falta de predisposición para el uso del laboratorio en las clases.
Estudiantes	Incrementar sus conocimientos de acuerdo a los avances tecnológicos. Desarrollar destrezas a través de la práctica.	Limitación para su aprendizaje práctico con tecnología de punta.	Apoyo y predisposición del estudiantado.	Incrementar sus conocimientos y mejorar sus prácticas de estudio de manera actual.	Que el proyecto no se lleve a cabo.

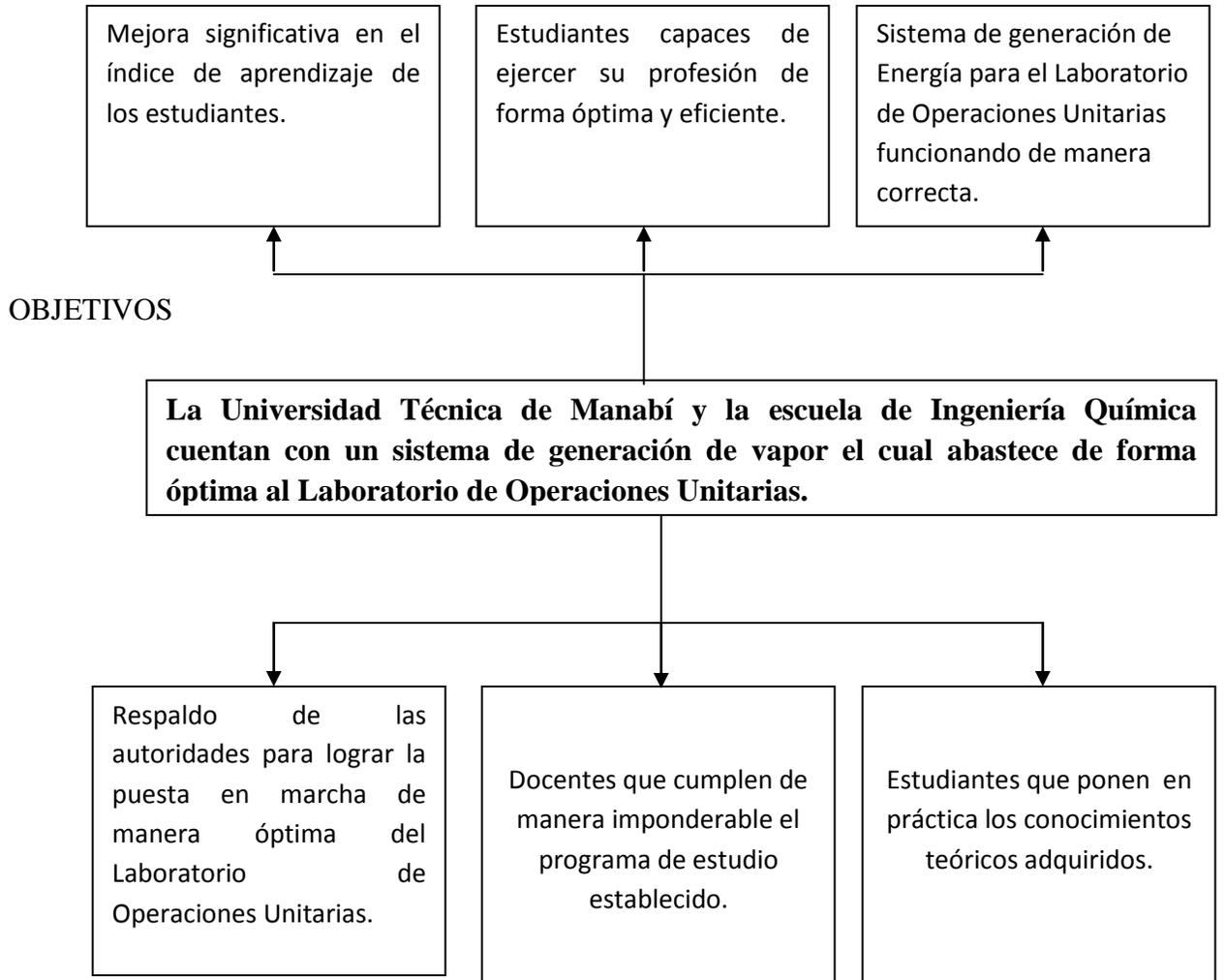
ÁRBOL DE PROBLEMAS.



ÁRBOL DE OBJETIVOS.



ÁRBOL DE ALTERNATIVAS.



MATRIZ DE MARCO LÓGICO.

OBJETIVOS	INDICADORES OBJETIVAMENTE VERIFICABLES	MEDIOS DE VERIFICACIÓN	SUPUESTOS
<u>FIN:</u> Mejoramiento del sistema de generación de vapor que permite el funcionamiento del Laboratorio de Operaciones Unitarias.	A partir de Diciembre del 2014 la escuela de Ing. Química de la Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas tendrá un mejor sistema generador de vapor para el Laboratorio de Operaciones Unitarias.	Inspecciones diarias Observación Fotografías	Utilización de material de calidad y adecuado para un funcionamiento eficaz.
<u>PROPÓSITO:</u> Incentivar actividades que generen procesos de investigación y experimentación a través de la práctica en el laboratorio de Operaciones Unitarias.	Los estudiantes realizan las prácticas requeridas por el programa de estudio de Ingeniería Química de la Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas.	Sondeo de opiniones Observación Fotografías.	Participación activa en las prácticas realizadas en el laboratorio.
<u>PRODUCTO:</u> Mejorar el sistema de calderas que genera la energía permite el funcionamiento del laboratorio.	Que todos los implicados en este proyecto cumplan y asistan a cabalidad	Observación Fotografías Informes	Predisposición de las autoridades, docentes, egresados y demás involucrados en apoyar este proyecto.
<u>ACTIVIDADES:</u> Implementación de aditamentos básicos en el sistema de generación de vapor para el funcionamiento eficaz del Laboratorio de Operaciones Unitarias	La ejecución del proyecto se realizara por auto gestión.	Facturas Notas de ventas Fotos Actas de entrega Documentos	Existencia de recursos económicos disponibles para llevar a cabo este proyecto.

Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1108

PARAMETRO	UNIDAD	Límite máximo Permisible
Características físicas		
Color	Unidades de color verdadero (UTC)	15
Turbiedad	NTU	5
Olor	--	no objetable
Sabor	--	no objetable
pH	--	6,5 - 8,5
Sólidos totales disueltos	mg/l	1 000
Inorgánicos		
Aluminio, Al	mg/l	0,25
Amonio, (N-NH ₃)	mg/l	1,0
Antimonio, Sb	mg/l	0,005
Arsénico, As	mg/l	0,01
Bario, Ba	mg/l	0,7
Boro, B	mg/l	0,3
Cadmio, Cd	mg/l	0,003
Cianuros, CN	mg/l	0,0
Cloro libre residual*	mg/l	0,3 - 1,5
Cloruros, Cl	mg/l	250
Cobalto, Co	mg/l	0,2
Cobre, Cu	mg/l	1,0
Cromo, Cr (cromo hexavalente)	mg/l	0,05
Dureza total, CaCO ₃	mg/l	300
Estaño, Sn	mg/l	0,1
Flúor, F	mg/l	1,5
Fósforo, (P-PO ₄)	mg/l	0,1
Hierro, Fe	mg/l	0,3
Litio, Li	mg/l	0,2
Manganeso, Mn	mg/l	0,1
Mercurio, Hg	mg/l	0,0
Níquel, Ni	mg/l	0,02
Nitratos, N-NO ₃	mg/l	10
Nitritos, N-NO ₂	mg/l	0,0
Plata, Ag	mg/l	0,05
Plomo, Pb	mg/l	0,01
Potasio, K	mg/l	20
Selenio, Se	mg/l	0,01
Sodio, Na	mg/l	200
Sulfatos, SO ₄	mg/l	200
Vanadio, V	mg/l	0,1
Zinc, Zn	mg/l	3
Radiactivos		
Radiación total α **	Bq/l	0,1
Radiación total β ***	Bq/l	1,0

* Cuando se utiliza cloro como desinfectante y luego de un tiempo mínimo de contacto de 30 minutos

** Corresponde a la radiación emitida por los siguientes radionucleidos: ²¹⁰Po, ²²⁴Ra, ²²⁶Ra, ²³²Th, ²³⁴U, ²³⁸U, ²³⁹Pu

*** Corresponde a la radiación emitida por los siguientes radionucleidos: ⁶⁰Co, ⁸⁹Sr, ⁹⁰Sr, ¹²⁵I, ¹³¹I, ¹³⁴Cs, ¹³⁷Cs, ²¹⁰Pb, ²²⁶Ra

TABLA: VAPOR Y AGUA SATURADO (SEGÚN LA TEMPERATURA)

Temp (°C)	Presión (bar)	v' (m³/kg)	v'' (m³/kg)	h' (kJ/kg)	h'' (kJ/kg)	s' (kJ/kgK)	s'' (kJ/kgK)
0.01	0.0061120	0.0010002	206.2	0	2501.6	0	9.1575
1.0000	0.0065709	0.0010001	192.44	4.1767	2502.7	0.015260	9.1291
2.0000	0.0070599	0.0010001	179.76	8.3918	2504.6	0.030607	9.1027
3.0000	0.0075808	0.0010001	168.01	12.604	2506.4	0.045888	9.0765
4.0000	0.0081355	0.0010001	157.12	16.813	2508.2	0.061103	9.0505
5.0000	0.0087258	0.0010001	147.01	21.020	2510.1	0.076254	9.0248
6.0000	0.0093536	0.0010001	137.63	25.224	2511.9	0.091342	8.9993
7.0000	0.010021	0.0010001	128.92	29.426	2513.7	0.10637	8.9741
8.0000	0.010730	0.0010002	120.83	33.627	2515.6	0.12133	8.9491
9.0000	0.011483	0.0010003	113.30	37.825	2517.4	0.13624	8.9243
10.000	0.012282	0.0010003	106.30	42.021	2519.2	0.15109	8.8998
11.000	0.013130	0.0010004	99.787	46.216	2521.0	0.16587	8.8754
12.000	0.014028	0.0010005	93.719	50.409	2522.9	0.18061	8.8513
13.000	0.014981	0.0010007	88.064	54.601	2524.7	0.19528	8.8274
14.000	0.015990	0.0010008	82.793	58.792	2526.5	0.20990	8.8037
15.000	0.017058	0.0010009	77.875	62.981	2528.3	0.22446	8.7803
16.000	0.018188	0.0010011	73.286	67.170	2530.2	0.23897	8.7570
17.000	0.019384	0.0010013	69.001	71.357	2532.0	0.25343	8.7339
18.000	0.020647	0.0010014	64.998	75.544	2533.8	0.26783	8.7111
19.000	0.021983	0.0010016	61.256	79.729	2535.6	0.28218	8.6884
20.000	0.023393	0.0010018	57.757	83.914	2537.4	0.29648	8.6660
21.000	0.024882	0.0010021	54.483	88.098	2539.3	0.31073	8.6437
22.000	0.026453	0.0010023	51.418	92.282	2541.1	0.32493	8.6217
23.000	0.028111	0.0010025	48.548	96.465	2542.9	0.33908	8.5998
24.000	0.029858	0.0010028	45.858	100.65	2544.7	0.35318	8.5781
25.000	0.031699	0.0010030	43.337	104.83	2546.5	0.36722	8.5566
26.000	0.033639	0.0010033	40.973	109.01	2548.3	0.38123	8.5353
27.000	0.035681	0.0010035	38.754	113.19	2550.1	0.39518	8.5142
28.000	0.037831	0.0010038	36.672	117.37	2551.9	0.40908	8.4933
29.000	0.040092	0.0010041	34.716	121.55	2553.7	0.42294	8.4725
30.000	0.042470	0.0010044	32.878	125.73	2555.5	0.43675	8.4520
31.000	0.044969	0.0010047	31.151	129.91	2557.3	0.45052	8.4316
32.000	0.047596	0.0010050	29.526	134.09	2559.2	0.46424	8.4113
33.000	0.050354	0.0010054	27.998	138.27	2561.0	0.47792	8.3913
34.000	0.053251	0.0010057	26.560	142.45	2562.8	0.49155	8.3714
35.000	0.056290	0.0010060	25.205	146.63	2564.5	0.50513	8.3517
36.000	0.059479	0.0010064	23.929	150.81	2566.3	0.51867	8.3321
37.000	0.062823	0.0010068	22.727	154.99	2568.1	0.53217	8.3127
38.000	0.066328	0.0010071	21.593	159.17	2569.9	0.54562	8.2935
39.000	0.070002	0.0010075	20.524	163.35	2571.7	0.55903	8.2745
40.000	0.073849	0.0010079	19.515	167.53	2573.5	0.57240	8.2555
41.000	0.077878	0.0010083	18.563	171.71	2575.3	0.58573	8.2368
42.000	0.082096	0.0010087	17.664	175.89	2577.1	0.59901	8.2182
43.000	0.086508	0.0010091	16.814	180.07	2578.9	0.61225	8.1998
44.000	0.091124	0.0010095	16.011	184.25	2580.6	0.62545	8.1815
45.000	0.095950	0.0010099	15.252	188.43	2582.4	0.63861	8.1633
46.000	0.10099	0.0010104	14.534	192.62	2584.2	0.65173	8.1453
47.000	0.10627	0.0010108	13.855	196.80	2586.0	0.66481	8.1275
48.000	0.11177	0.0010112	13.212	200.98	2587.8	0.67785	8.1098
49.000	0.11752	0.0010117	12.603	205.16	2589.5	0.69085	8.0922

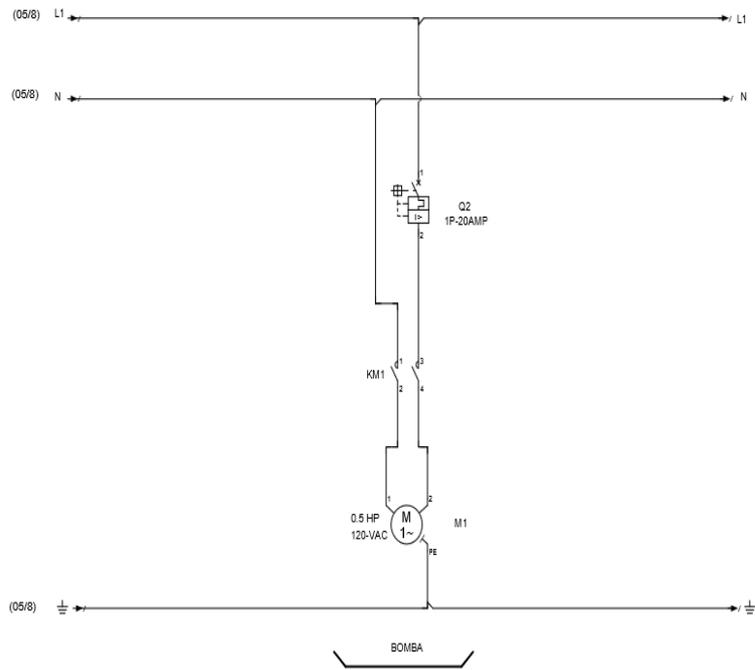
Temp (°C)	Presión (bar)	v' (m³/kg)	v'' (m³/kg)	h' (kJ/kg)	h'' (kJ/kg)	s' (kJ/kgK)	s'' (kJ/kgK)
50.000	0.12352	0.0010121	12.027	209.34	2591.3	0.70381	8.0748
51.000	0.12978	0.0010126	11.481	213.52	2593.1	0.71673	8.0576
52.000	0.13631	0.0010131	10.963	217.71	2594.8	0.72961	8.0404
53.000	0.14312	0.0010136	10.472	221.89	2596.6	0.74245	8.0234
54.000	0.15022	0.0010141	10.006	226.07	2598.3	0.75526	8.0066
55.000	0.15762	0.0010146	9.5643	230.26	2600.1	0.76802	7.9898
56.000	0.16533	0.0010151	9.1448	234.44	2601.8	0.78075	7.9732
57.000	0.17336	0.0010156	8.7466	238.62	2603.6	0.79344	7.9568
58.000	0.18171	0.0010161	8.3683	242.81	2605.3	0.80610	7.9404
59.000	0.19041	0.0010166	8.0089	246.99	2607.1	0.81871	7.9242
60.000	0.19946	0.0010171	7.6672	251.18	2608.8	0.83129	7.9081
61.000	0.20888	0.0010177	7.3424	255.37	2610.6	0.84384	7.8922
62.000	0.21867	0.0010182	7.0335	259.55	2612.3	0.85634	7.8764
63.000	0.22885	0.0010188	6.7396	263.74	2614.0	0.86882	7.8607
64.000	0.23943	0.0010193	6.4598	267.93	2615.8	0.88125	7.8451
65.000	0.25042	0.0010199	6.1935	272.12	2617.5	0.89365	7.8296
66.000	0.26183	0.0010204	5.9399	276.30	2619.2	0.90602	7.8142
67.000	0.27368	0.0010210	5.6984	280.49	2621.0	0.91835	7.7990
68.000	0.28599	0.0010216	5.4682	284.68	2622.7	0.93064	7.7839
69.000	0.29876	0.0010222	5.2488	288.87	2624.4	0.94291	7.7689
70.000	0.31201	0.0010228	5.0395	293.07	2626.1	0.95513	7.7540
71.000	0.32575	0.0010234	4.8400	297.26	2627.8	0.96733	7.7392
72.000	0.34000	0.0010240	4.6496	301.45	2629.5	0.97949	7.7246
73.000	0.35478	0.0010246	4.4680	305.64	2631.2	0.99161	7.7100
74.000	0.37009	0.0010252	4.2945	309.84	2632.9	1.0037	7.6955
75.000	0.38595	0.0010258	4.1289	314.03	2634.6	1.0158	7.6812
76.000	0.40239	0.0010265	3.9708	318.22	2636.3	1.0278	7.6670
77.000	0.41941	0.0010271	3.8197	322.42	2638.0	1.0398	7.6528
78.000	0.43703	0.0010277	3.6752	326.62	2639.7	1.0517	7.6388
79.000	0.45527	0.0010284	3.5372	330.81	2641.3	1.0637	7.6249
80.000	0.47414	0.0010291	3.4052	335.01	2643.0	1.0756	7.6111
81.000	0.49367	0.0010297	3.2789	339.21	2644.7	1.0874	7.5973
82.000	0.51387	0.0010304	3.1581	343.41	2646.4	1.0993	7.5837
83.000	0.53476	0.0010311	3.0425	347.61	2648.0	1.1111	7.5702
84.000	0.55635	0.0010317	2.9318	351.81	2649.7	1.1229	7.5567
85.000	0.57867	0.0010324	2.8258	356.01	2651.3	1.1346	7.5434
86.000	0.60173	0.0010331	2.7244	360.22	2653.0	1.1463	7.5302
87.000	0.62556	0.0010338	2.6271	364.42	2654.6	1.1580	7.5170
88.000	0.65017	0.0010345	2.5340	368.63	2656.3	1.1696	7.5040
89.000	0.67558	0.0010352	2.4447	372.83	2657.9	1.1813	7.4910
90.000	0.70182	0.0010360	2.3591	377.04	2659.5	1.1929	7.4781
91.000	0.72890	0.0010367	2.2770	381.25	2661.2	1.2044	7.4653
92.000	0.75684	0.0010374	2.1982	385.46	2662.8	1.2160	7.4526
93.000	0.78568	0.0010381	2.1227	389.67	2664.4	1.2275	7.4400
94.000	0.81541	0.0010389	2.0502	393.88	2666.0	1.2389	7.4275
95.000	0.84608	0.0010396	1.9806	398.09	2667.6	1.2504	7.4151
96.000	0.87771	0.0010404	1.9137	402.30	2669.2	1.2618	7.4027
97.000	0.91030	0.0010411	1.8496	406.52	2670.8	1.2732	7.3904
98.000	0.94390	0.0010419	1.7879	410.73	2672.4	1.2846	7.3783
99.000	0.97852	0.0010427	1.7287	414.95	2674.0	1.2959	7.3661
100.000	1.0142	0.0010435	1.6718	419.17	2675.6	1.3072	7.3541

VAPOR DE AGUA SATURADO (SEGÚN LA PRESIÓN)

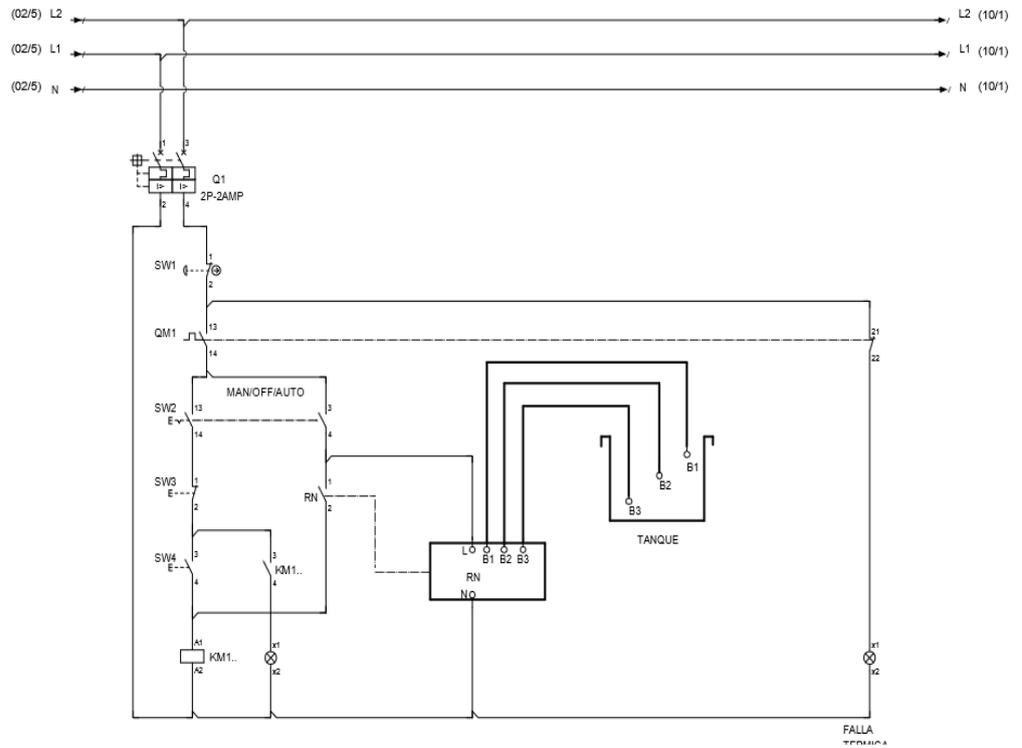
P (bar)	T (C)	v' (m ³ /kg)	v'' (m ³ /kg)	h' (kJ/kg)	h'' (kJ/kg)	s' (kJ/kgK)	s'' (kJ/kgK)
0.01000	6.9696	0.0010001	129.18	29.299	2513.7	0.10591	8.9749
0.01500	13.019	0.0010007	87.959	54.683	2524.7	0.19556	8.8270
0.02000	17.495	0.0010014	66.987	73.428	2532.9	0.26056	8.7226
0.02500	21.077	0.0010021	54.240	88.420	2539.4	0.31182	8.6420
0.03000	24.079	0.0010028	45.653	100.98	2544.8	0.35429	8.5764
0.03500	26.672	0.0010035	39.466	111.82	2549.5	0.39061	8.5211
0.04000	28.960	0.0010041	34.791	121.39	2553.7	0.42239	8.4734
0.04500	31.012	0.0010047	31.131	129.96	2557.4	0.45069	8.4313
0.05000	32.874	0.0010053	28.185	137.75	2560.7	0.47620	8.3938
0.05500	34.581	0.0010059	25.762	144.88	2563.8	0.49945	8.3599
0.06000	36.159	0.0010065	23.733	151.48	2566.6	0.52082	8.3290
0.06500	37.627	0.0010070	22.009	157.61	2569.3	0.54060	8.3007
0.07000	39.000	0.0010075	20.524	163.35	2571.7	0.55903	8.2745
0.07500	40.290	0.0010080	19.233	168.75	2574.0	0.57627	8.2501
0.08000	41.509	0.0010085	18.099	173.84	2576.2	0.59249	8.2273
0.08500	42.663	0.0010089	17.095	178.67	2578.3	0.60780	8.2060
0.09000	43.761	0.0010094	16.199	183.25	2580.2	0.62230	8.1858
0.09500	44.807	0.0010098	15.396	187.63	2582.1	0.63607	8.1668
0.10000	45.806	0.0010103	14.670	191.81	2583.9	0.64920	8.1488
0.20000	60.058	0.0010172	7.6480	251.42	2608.9	0.83202	7.9072
0.30000	69.095	0.0010222	5.2284	289.27	2624.5	0.94407	7.7675
0.40000	75.857	0.0010264	3.9930	317.62	2636.1	1.0261	7.6690
0.50000	81.317	0.0010299	3.2400	340.54	2645.2	1.0912	7.5930
0.60000	85.926	0.0010331	2.7317	359.91	2652.9	1.1454	7.5311
0.70000	89.932	0.0010359	2.3648	376.75	2659.4	1.1921	7.4790
0.80000	93.486	0.0010385	2.0871	391.71	2665.2	1.2330	7.4339
0.90000	96.687	0.0010409	1.8694	405.20	2670.3	1.2696	7.3943
1.0000	99.606	0.0010432	1.6939	417.50	2674.9	1.3028	7.3588
1.0000	99.606	0.0010432	1.6939	417.50	2674.9	1.3028	7.3588
1.5000	111.35	0.0010527	1.1593	467.13	2693.1	1.4337	7.2230
2.0000	120.21	0.0010605	0.88568	504.70	2706.2	1.5302	7.1269
2.5000	127.41	0.0010672	0.71866	535.34	2716.5	1.6072	7.0524
3.0000	133.52	0.0010732	0.60576	561.43	2724.9	1.6717	6.9916
3.5000	138.86	0.0010786	0.52418	584.26	2732.0	1.7274	6.9401
4.0000	143.61	0.0010836	0.46238	604.65	2738.1	1.7765	6.8955
4.5000	147.90	0.0010882	0.41390	623.14	2743.4	1.8205	6.8560
5.0000	151.83	0.0010925	0.37481	640.09	2748.1	1.8604	6.8207
5.5000	155.46	0.0010967	0.34260	655.76	2752.3	1.8970	6.7886
6.0000	158.83	0.0011006	0.31558	670.38	2756.1	1.9308	6.7592
6.5000	161.98	0.0011044	0.29259	684.08	2759.6	1.9623	6.7322
7.0000	164.95	0.0011080	0.27277	697.00	2762.8	1.9918	6.7071
7.5000	167.75	0.0011114	0.25551	709.24	2765.6	2.0195	6.6836
8.0000	170.41	0.0011148	0.24034	720.86	2768.3	2.0457	6.6616
8.5000	172.94	0.0011180	0.22689	731.95	2770.8	2.0705	6.6409
9.0000	175.35	0.0011212	0.21489	742.56	2773.0	2.0940	6.6213
9.5000	177.66	0.0011242	0.20410	752.74	2775.1	2.1165	6.6027
10.000	179.88	0.0011272	0.19436	762.52	2777.1	2.1381	6.5850
10.000	179.88	0.0011272	0.19436	762.52	2777.1	2.1381	6.5850
11.000	184.06	0.0011330	0.17745	781.03	2780.6	2.1785	6.5520
12.000	187.96	0.0011385	0.16326	798.33	2783.7	2.2159	6.5217
13.000	191.60	0.0011438	0.15119	814.60	2786.5	2.2508	6.4936
14.000	195.04	0.0011489	0.14078	829.97	2788.8	2.2835	6.4675
15.000	198.29	0.0011539	0.13171	844.56	2791.0	2.3143	6.4430
16.000	201.37	0.0011587	0.12374	858.46	2792.8	2.3435	6.4199
17.000	204.31	0.0011634	0.11667	871.74	2794.5	2.3711	6.3981
18.000	207.11	0.0011679	0.11037	884.47	2795.9	2.3975	6.3775
19.000	209.80	0.0011724	0.10470	896.71	2797.2	2.4227	6.3578
20.000	212.38	0.0011767	0.099585	908.50	2798.3	2.4468	6.3390
21.000	214.86	0.0011810	0.094938	919.87	2799.3	2.4699	6.3210

P (bar)	T (C)	v' (m ³ /kg)	v'' (m ³ /kg)	h' (kJ/kg)	h'' (kJ/kg)	s' (kJ/kgK)	s'' (kJ/kgK)
22.000	217.25	0.0011852	0.090698	930.87	2800.1	2.4921	6.3038
23.000	219.56	0.0011894	0.086815	941.53	2800.8	2.5136	6.2872
24.000	221.79	0.0011934	0.083244	951.87	2801.4	2.5343	6.2712
25.000	223.95	0.0011974	0.079949	961.91	2801.9	2.5543	6.2558
26.000	226.05	0.0012014	0.076899	971.67	2802.3	2.5736	6.2409
27.000	228.08	0.0012053	0.074066	981.18	2802.7	2.5924	6.2264
28.000	230.06	0.0012091	0.071429	990.46	2802.9	2.6106	6.2124
29.000	231.98	0.0012129	0.068968	999.51	2803.1	2.6283	6.1988
30.000	233.85	0.0012167	0.066664	1008.3	2803.2	2.6455	6.1856
32.000	237.46	0.0012241	0.062475	1025.4	2803.1	2.6787	6.1602
34.000	240.90	0.0012314	0.058761	1041.8	2802.9	2.7102	6.1360
36.000	244.18	0.0012385	0.055446	1057.6	2802.4	2.7403	6.1129
38.000	247.33	0.0012456	0.052467	1072.8	2801.7	2.7691	6.0908
40.000	250.35	0.0012526	0.049776	1087.5	2800.8	2.7968	6.0696
45.000	257.44	0.0012696	0.044059	1122.2	2797.9	2.8515	6.0197
50.000	263.94	0.0012864	0.039446	1154.6	2794.2	2.9210	5.9737
55.000	269.97	0.0013029	0.035642	1185.1	2789.7	2.9762	5.9307
60.000	275.58	0.0013193	0.032448	1213.9	2784.6	3.0278	5.8901
65.000	280.86	0.0013356	0.029727	1241.4	2778.9	3.0764	5.8516
70.000	285.83	0.0013519	0.027378	1267.7	2772.6	3.1224	5.8148
75.000	290.54	0.0013682	0.025330	1292.9	2765.9	3.1662	5.7793
80.000	295.01	0.0013847	0.023526	1317.3	2758.7	3.2081	5.7450
85.000	299.27	0.0014013	0.021923	1340.9	2751.0	3.2483	5.7117
90.000	303.34	0.0014181	0.020490	1363.9	2742.9	3.2870	5.6791
95.000	307.25	0.0014352	0.019199	1386.2	2734.4	3.3244	5.6473
100.00	311.00	0.0014526	0.018030	1408.1	2725.5	3.3606	5.6160
110.00	318.08	0.0014885	0.015990	1450.4	2706.3	3.4303	5.5545
120.00	324.68	0.0015263	0.014264	1491.5	2685.4	3.4967	5.4939
130.00	330.85	0.0015665	0.012780	1531.5	2662.7	3.5608	5.4336
140.00	336.67	0.0016097	0.011485	1571.0	2637.9	3.6232	5.3727
150.00	342.16	0.0016570	0.010338	1610.2	2610.7	3.6846	5.3106
160.00	347.35	0.0017094	0.0093088	1649.7	2580.8	3.7457	5.2463
170.00	352.29	0.0017693	0.0083709	1690.0	2547.5	3.8077	5.1787
180.00	356.99	0.0018398	0.0075017	1732.1	2509.8	3.8718	5.1061
190.00	361.47	0.0019268	0.0066773	1777.2	2466.0	3.9401	5.0256
200.00	365.75	0.0020400	0.0058652	1827.2	2412.3	4.0156	4.9314
210.00	369.83	0.0022055	0.0049961	1887.6	2338.6	4.1064	4.8079
210.00	369.83	0.0022055	0.0049961	1887.6	2338.6	4.1064	4.8079
210.00	369.83	0.0022055	0.0049961	1887.6	2338.6	4.1064	4.8079
210.00	369.83	0.0022055	0.0049961	1887.6	2338.6	4.1064	4.8079

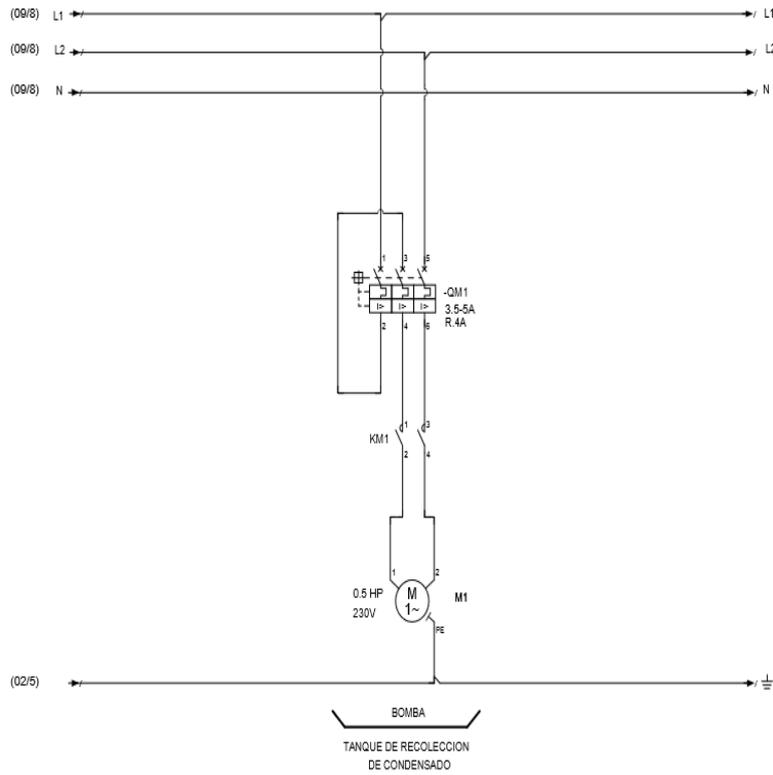
CIRCUITO FUERZA BOMBA DE REFUERZO H2O
CALDERA PIRO TUBULAR 12 HP



TANQUE RECOLECCION DE CONDENSADOS CIRCUITO DE CONTROL



TANQUE RECOLECCION DE CONDENSADOS
CIRCUITO DE FUERZA



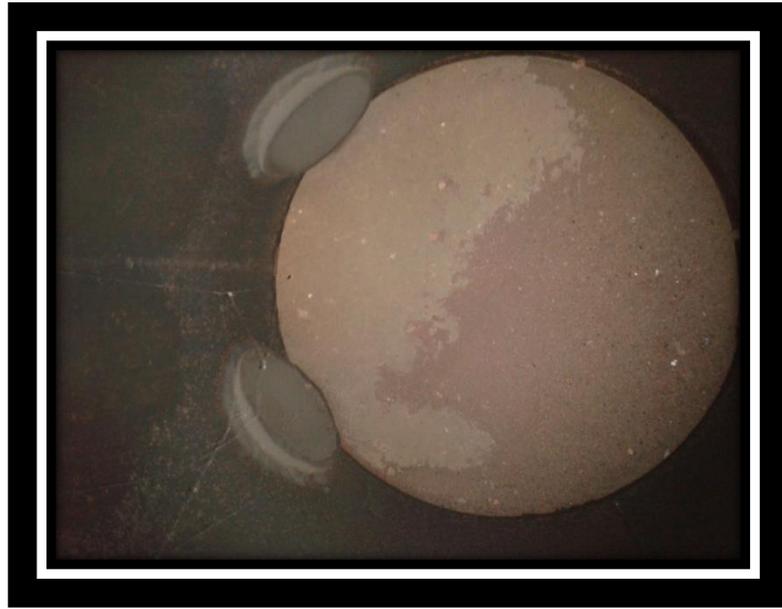
LIMPIEZA ADECUACIÓN DEL SISTEMA DE GENERACIÓN DE VAPOR.



Apertura del caldero



Apertura del caldera



Interior del hogar.



Limpieza y mantenimiento del quemador.



Limpieza y extracción de lodos de la caldera.



Lodos del fondo de purga.



Apertura del McDonald.



Incrustaciones y oxido dentro del caldero.



Llave de paso de vapor (antes)



Llave de paso de vapor (después)



Colocación del recubrimiento aislante a las tuberías.



Recubrimiento térmico del acumulador de vapor.



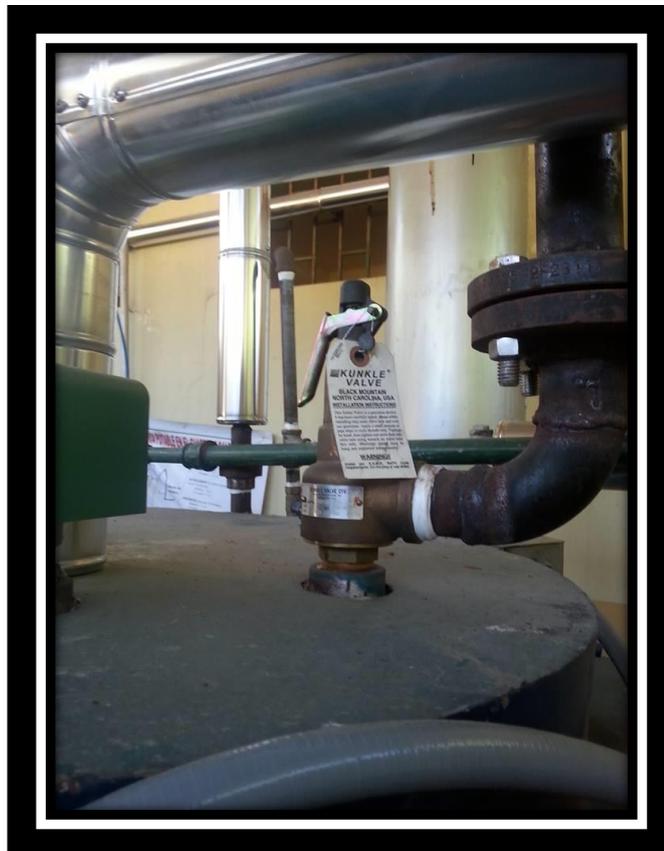
Acumulador de vapor.



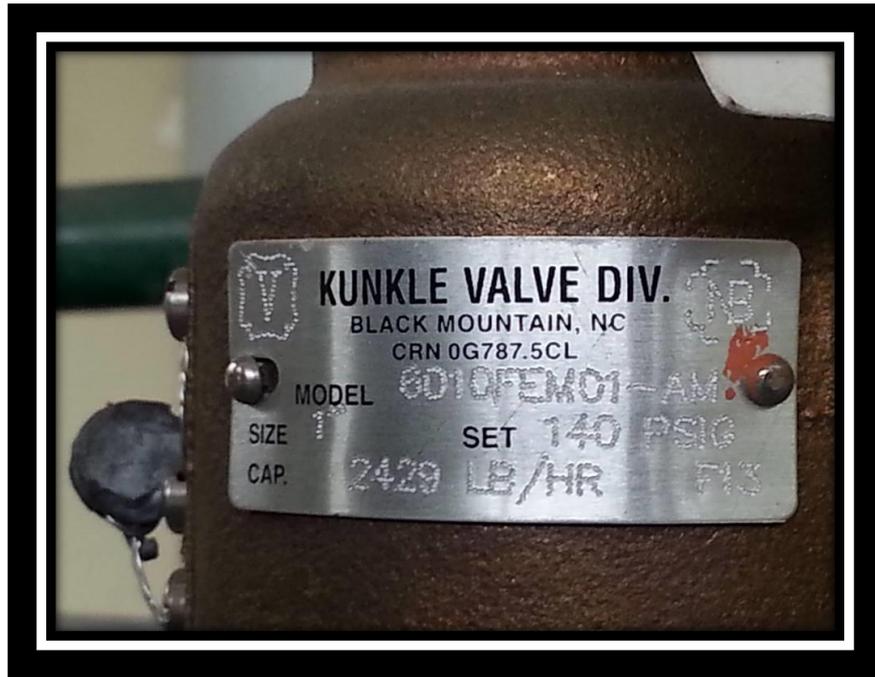
Valvula de paso de combustible y filtro.



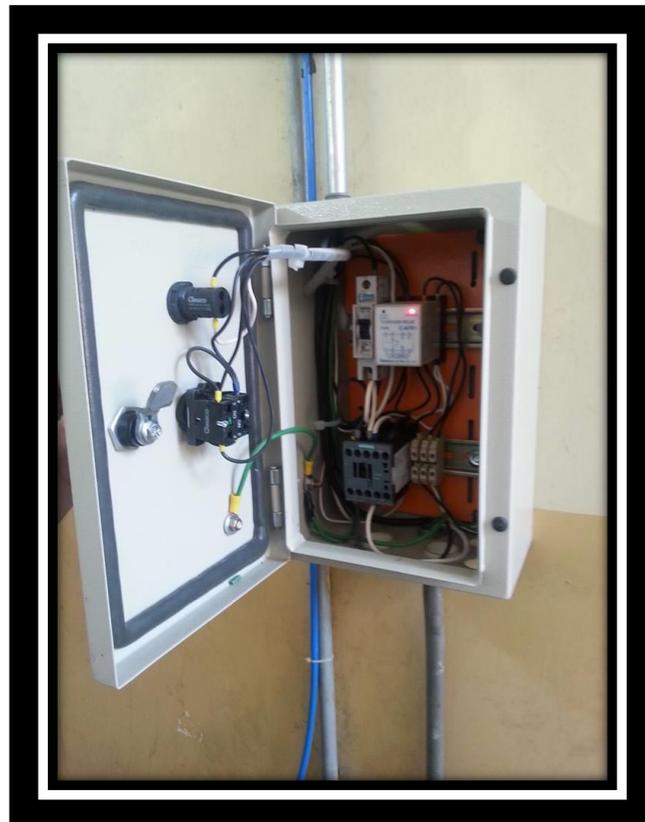
Tanque de almacenamiento de combustible.



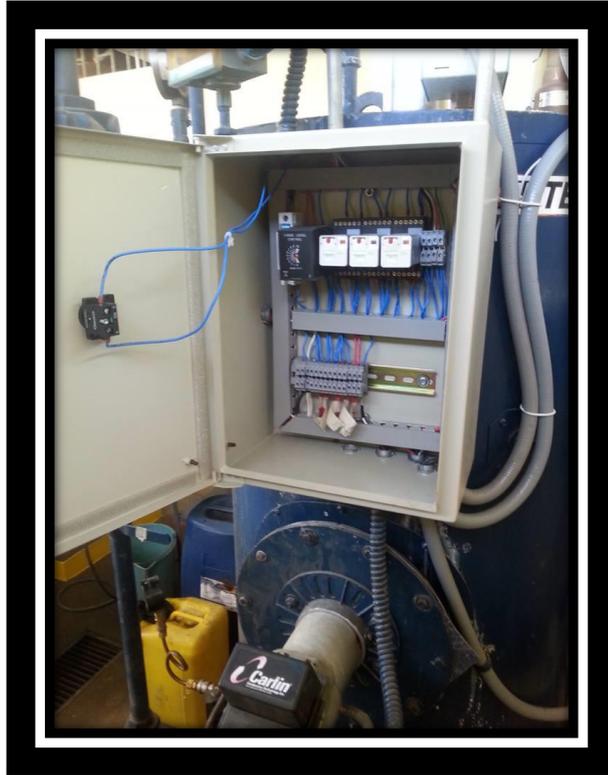
Válvula de seguridad de presión (140PSI)



Especificaciones de la válvula de seguridad de la caldera.



Panel de control automático del sistema de ablandamiento de agua.



Panel de control automático del sistema de generación de vapor.



Reinstalación del McDonald



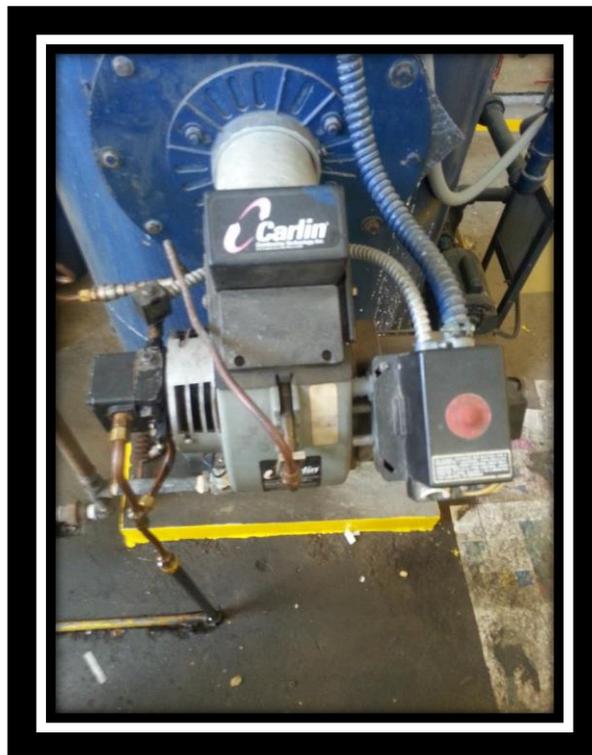
Presostato regulador de presión de trabajo (50PSI)



Medidor de nivel del precalentador



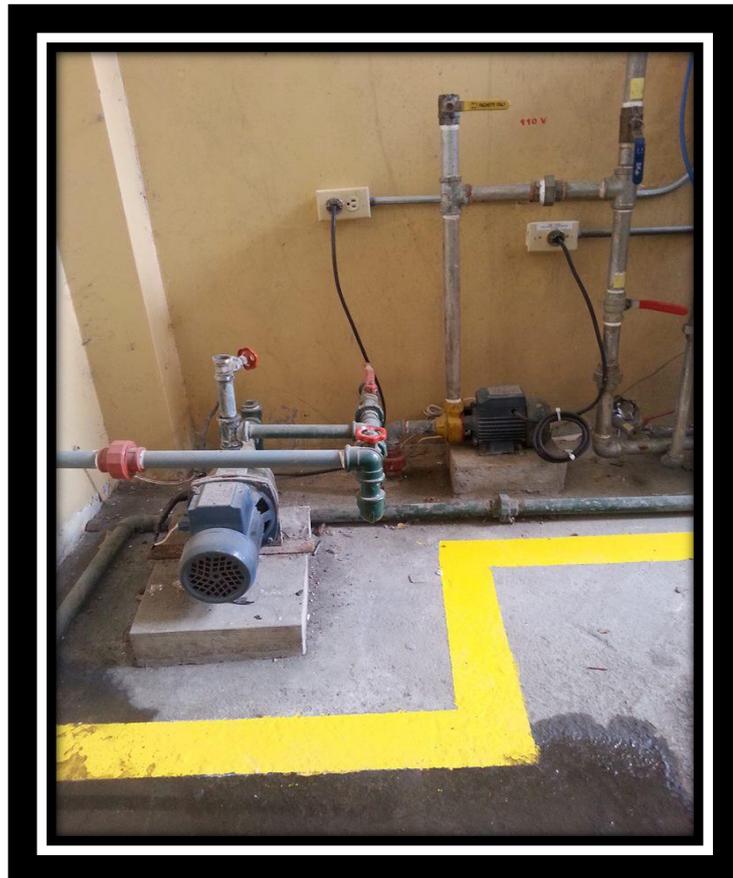
Termómetro de chimenea de gases de combustión.



Reinstalación del quemador.



Purga de caldera y señalización.



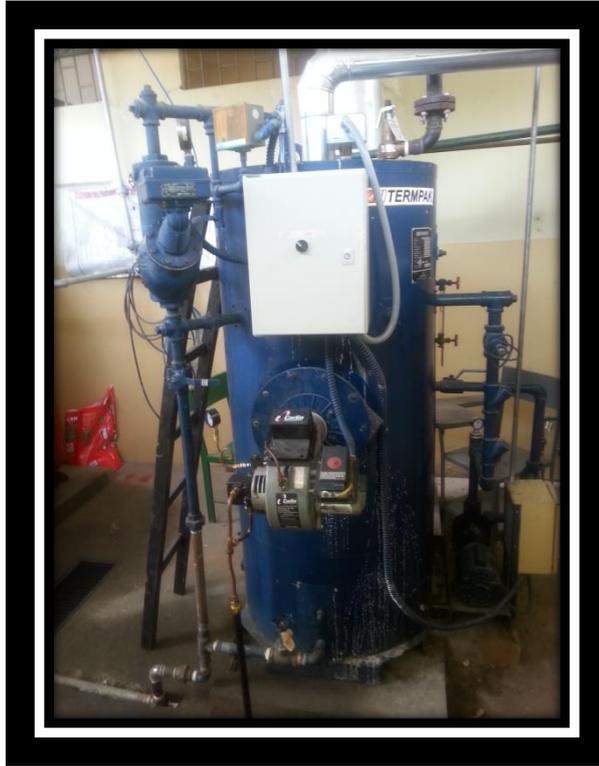
Bombas de alimentación y señalización.



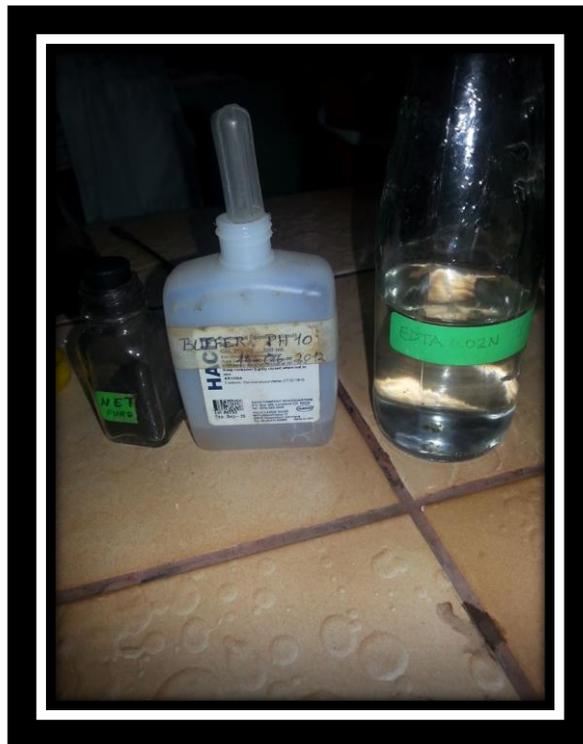
Sistema ablandador de agua.



Caldera del Laboratorio de Operaciones Unitarias (antes)



Caldera del Laboratorio de Operaciones Unitarias (después)



Reactivos para determinación de dureza.



Análisis de determinación de dureza.



Resultados de análisis de dureza.



Análisis de dureza (kit)



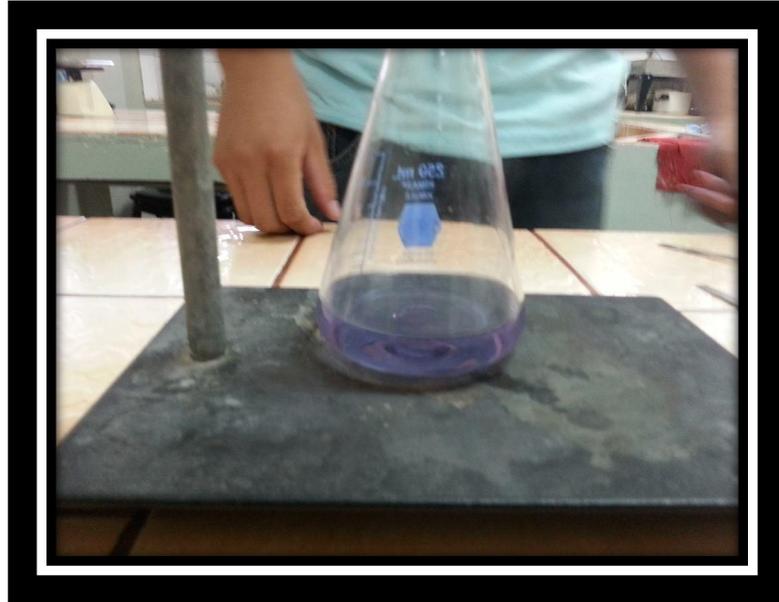
Resultados de análisis de dureza (kit)



Resultados de análisis de pH



Determinación de dureza.



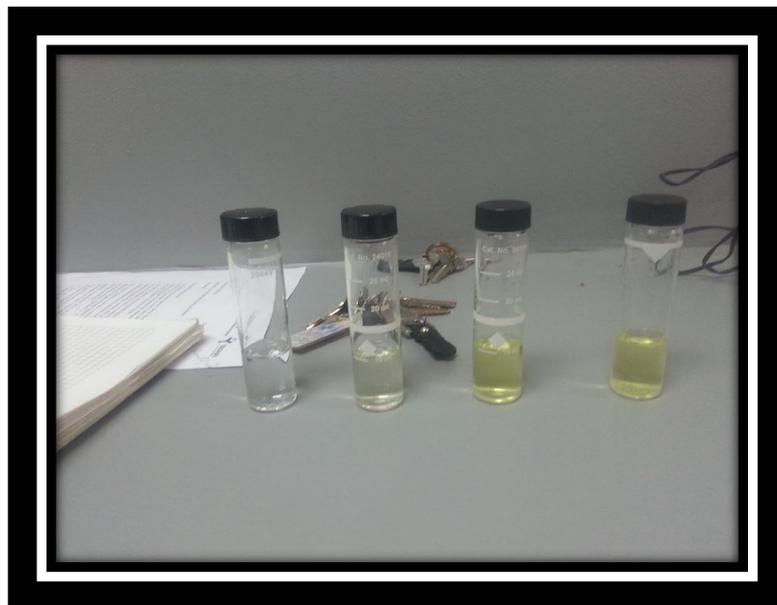
Resultados de dureza.



Preparación de muestras para análisis en espectrofotómetro.



Preparación de blanco para el espectrofotómetro.



Blanco y muestras a analizar.



Colocación de blanco.



Resultados de análisis de hierro.



Resultado de análisis de sílice.



Determinación de oxígeno disuelto, pH, TDS.



Calibración de oxigenometro



Cloruro de potasio para calibración de equipo



Medición de oxígeno disuelto en la cisterna



Medición de oxígeno disuelto en agua ablandada



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ

**FACULTAD DE CIENCIAS MATEMÁTICAS FÍSICAS Y
QUÍMICAS**

ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

**ACTUALIZACIÓN DEL MANUAL DE OPERACIÓN DEL
SISTEMA DE GENERACIÓN DE VAPOR (CALDERA) DE LA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA DE LA DE LA
FACULTAD DE CIENCIAS MATEMÁTICAS, FÍSICAS Y
QUÍMICAS DE LA UNIVERSIDAD TECNINAS DE MANABÍ**

AUTORES:

CUSME CHINGA GABRIEL ANTONIO

VALENCIA MACIAS GUILLERMO RAFAEL

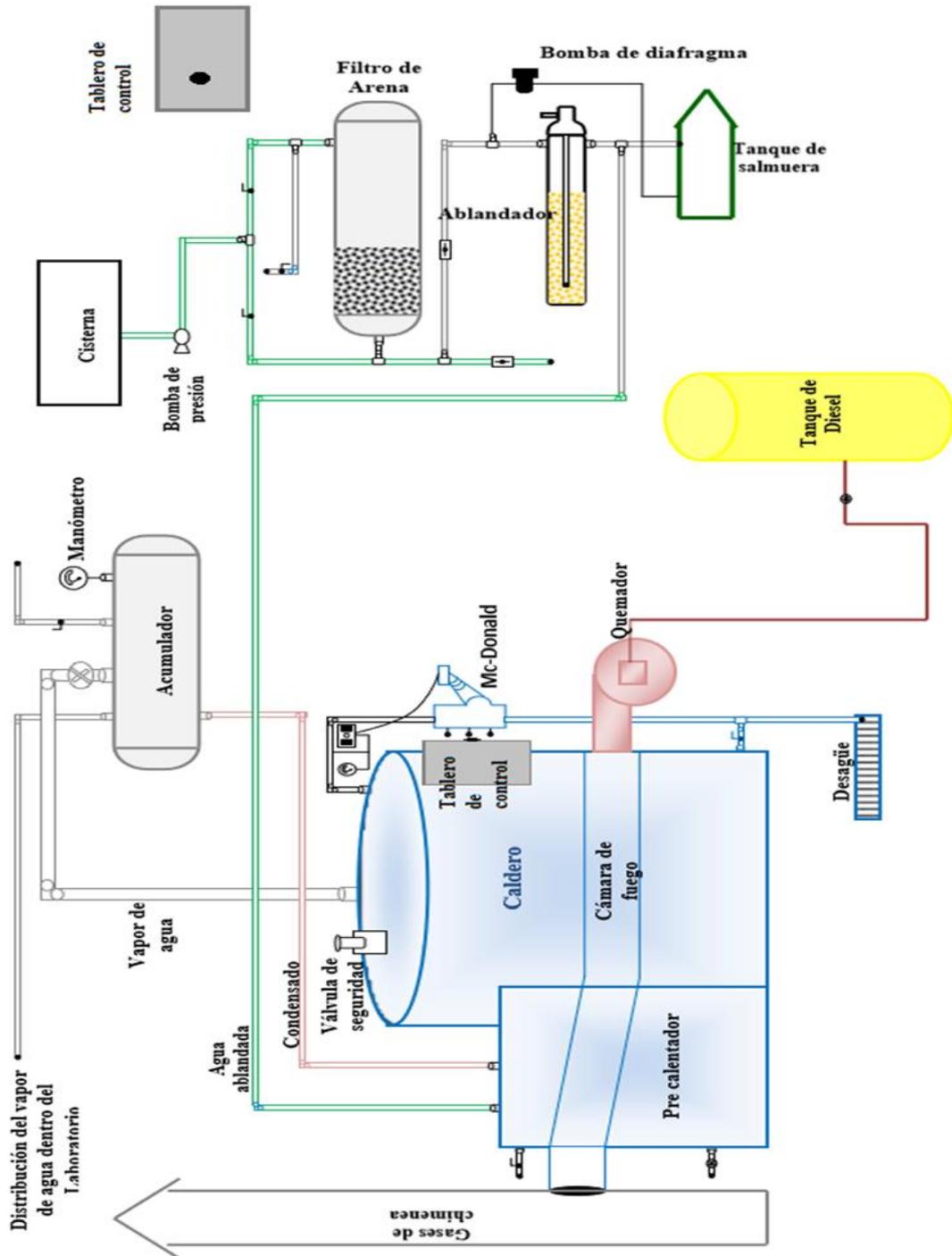
DIRECTOR DE TESIS:

ING. FRANCISCO SANCHEZ

PRTOVIEJO-MANABÍ-ECUADOR

2014

Diagrama del Sistema de Generación de Vapor (Caldera)



Manual de Operación del Sistema de Generación de Vapor

Introducción

Un sistema de generación de vapor es la parte principal de cualquier industria, ya sea alimenticia, productos químicos, jabones etc. Es el corazón de estas industrias y por ello es el pilar fundamental de cada una de las industrias existentes.

Los sistemas de vapor tienen hoy en día un uso muy extenso en aplicaciones diversas, tales como generación de energía mecánica y eléctrica, como agente calefactor en servicios comerciales e industriales, y como materia prima en determinados procesos entre otros.

Las operaciones unitarias son parte fundamental del conocimiento de Ingeniero Químico. El laboratorio de operaciones unitarias cuenta con los equipos necesarios para que al finalizar el periodo de enseñanza aprendizaje dentro de la universidad por parte del alumno este alcance las competencias necesarias para desempeñarse en una industria, ya que todos estos equipos se diseñaron con el objetivo de llevar la teoría a la práctica como lo exige la educación basada en competencias. La aplicación de cada uno de los equipos no se limita a una sola asignatura lo que da como resultado una gran versatilidad en su uso y aprendizajes en las diferentes asignaturas del programa de Ingeniería Química. Para que un laboratorio de Operaciones Unitarias pueda funcionar en su totalidad debe contar con una fuente que le abastezca de la energía suficiente para poner en marcha los distintos tipos de procesos a llevarse a cabo dentro del mismo.

Conociendo la primer Ley de la Termodinámica, “la energía no se crea ni se destruye, solo se transforma” podemos repartir energía a los distintos equipos dentro del Laboratorio de Operaciones Unitarias gracias a un componente básico y abundante, como lo es el agua, que tiene la propiedad de poder almacenar gran cantidad de energía al estar en estado de vapor, podrá ser utilizada posteriormente en las diferentes operaciones.

La caldera siendo un intercambiador de calor en el cual se quema combustibles para convertirlos en energía y transferirlos al agua elevando su temperatura hasta el punto de ebullición alcanzando su estado de vapor; obtendremos la materia prima para el funcionamiento del Laboratorio de Operaciones Unitarias. Esto nos da a entender que el principal equipo del Laboratorio es la caldera, que es el corazón de todos los procesos ya que gracias a él se pone en marcha cada operación.

Componentes Principales

Conjunto del Quemador.- Al encender la caldera, hace que se produzca una chispa entre los electrodos que se encuentran dentro del quemador origina la llama. Se abre paso al combustible para que exista la combustión y empiece el funcionamiento.

Control del nivel del agua.- Comprobar que el nivel del agua dentro de la caldera se encuentre dentro del nivel para que esta encienda y pueda funcionar con normalidad. Durante el funcionamiento de la caldera el warrick enviara la señal a la bomba de alimentación para que encienda la bomba e ingrese más agua de alimentación. En caso de que el nivel siga bajando se encenderá la alarma automáticamente por falta de agua, se procederá a revisar que sucede y parar la bomba, en caso contrario de que el nivel de agua suba se enviara una señal automáticamente para que la bomba de alimentación pare.

Bomba de Inyección de Agua.- Al reducirse el nivel de agua para la operación recibe la señal del control de agua y enciende, alimentándose de agua de la cisterna e introduciéndolo al sistema de ablandamiento para posteriormente ingresar a la caldera; en cambio cuando supera el nivel máximo de la caldera se envía la señal para que se apague y no exceder el nivel de operación y ahogar la caldera.

Cuerpo de la Caldera.- Dentro de la caldera se encuentra el hogar que es donde se lleva a cabo la combustión y donde se calienta el agua, ya sea en la parte interna o

externa de los tubos, cuenta con un aislamiento interior y exterior para evitar pérdidas de calor.

Sistema de Combustible.- Se debe verificar el nivel del tanque de combustible para que la caldera pueda funcionar debidamente ya que si el nivel es bajo o se encuentra por debajo del nivel este equipo ni funcionara adecuadamente.

Controles Eléctricos.- El tablero de control es el cerebro de la caldera, debido a ser un proceso automatizado envía las señales de encendido o apagado de la caldera y controla el nivel del agua.

EQUIPOS AUXILIARES DEL SISTEMA DE GENERACIÓN DE VAPOR

- Sistema de Ablandamiento del agua
- Tanque de retorno de condensado
- Desarenador

Sistema de Generación de Vapor del Laboratorio de Operaciones Unitarias (Caldera)

Partes Externas e Internas del Sistema de Generación de Vapor

Exteriormente



1. Tablero de Control
2. Bomba de Alimentación de agua de caldero
3. Medidor del nivel de agua existente en la caldera.
4. Medidor del nivel de agua del Mcdonald
5. Bomba de alimentación del Diésel
6. Válvula de Purga del Caldera

7. Válvula de distribución de vapor
8. Válvula de purga del Mcdonald
9. Manómetro medidor de Presión interior de vapor
10. Manómetro medidor de presión de alimentación de diésel
11. Chimenea de las gases de combustión
12. Quemador de combustible (Hogar)
13. Botón de reinicio de la caldera
14. Válvula de seguridad para dar paso al exceso de presión
15. Entrada de recuperación de reflujo y condensado
16. Cables de alimentación eléctrica al tablero de control
17. Sistema automatizado para el nivel del agua (Warrick)

INTERIORMENTE:

1. Medidor del nivel de agua existente en la caldera.
2. Bomba automática de boya para mantener el nivel en $\frac{3}{4}$.
3. Cuerpo interior de la caldera.
4. Doble pared de la caldera con agua en su interior.
5. Válvula de seguridad para dejar pasar el exceso de presión y salida del vapor para servicio.
6. Boca de salida del vapor.
7. Alimentación del agua con válvula CHECK que impide el retorno del agua.
8. Drenaje inferior para la limpieza periódica de la caldera.

9. Campana superior.
10. Chimenea para el escape de gases de la combustión.
11. Quemador automático a diésel.
12. Llama de soplete calentador de los tubos internos de la caldera.
13. Alimentación de combustible.
14. Tubo interno para calentamiento.
15. Columna de agua rodeando los tubos.

**Características de la caldera del laboratorio de operaciones unitarias de la
universidad técnica de Manabí**

- Equipo: Caldera Pirotubular Vertical
- Modelo: VSB – 12/0
- Capacidad: 12 BHP
- Serie #: P - 07 - 046
- Año de fabricación: 2007
- Presión de diseño: 150 Psi
- Calor añadido: 402000 BTU/h
- Producción de vapor: 415 Lbm/h
- Combustible: Diesel (Fuel Oil # 2)
- Consumo pico de combustible: 3.5 GPH
- Marca: Tempak
- Condiciones eléctricas:
- 240 Voltios 3 PH (fases) 60HZ
- Potencia Blower: 1/6 HP
- Potencia bomba diesel: 1.5 HP

Funcionamiento de la Caldera

La puesta en marcha de una caldera se define como el orden técnico y razonable de las diferentes corrientes de entrada y salida.

Paso 1.- Verificar el nivel del diésel que no se encuentre por debajo del nivel requerido para que la caldera pueda funcionar con normalidad.



Paso 2.- Abrir las válvulas de paso de combustible hacia la caldera, verificando que la válvula de distribución y purga se encuentren cerradas.



Paso 3.- Encender el sistema de ablandamiento para que ingrese el agua ablandada a la cámara por medio de la bomba. La bomba se apagará cuando el nivel indicado en el Mc Donald se haya alcanzado.



Paso 4.- Encender la caldera que pone en funcionamiento el quemador constituido por la bomba de combustible, soplador de aire, transformador, electrodos y los correspondientes ordenadores electrónicos (válvula solenoide y ampollas de mercurio).



Paso 5.- Se observará en el manómetro que la presión interna del caldero comenzará a subir; esto debe ocurrir teniendo la precaución de que la válvula de salida de vapor se encuentre completamente cerrada.



Paso 6.- Una vez alcanzado la presión adecuado (50 psi) la caldera se apagará automáticamente y se procede a abrir la válvula de distribución de vapor que lo conduce al acumulador y a los demás equipos del laboratorio. Se procede a purgar el condensado que existe dentro del acumulador.



Paso7.- Una vez que empieza la distribución de vapor la caldera encenderá automáticamente para recuperar su presión óptima.

El manómetro deberá indicar la máxima presión generada (de acuerdo con la graduación seleccionada) y estaremos listos para utilizar el vapor para los diferentes procesos, abriendo lentamente la válvula de vapor.

Observaciones generales: los gases de combustión calentarán por radiación el agua ablandada contenida en el tanque de alimentación, luego de esto los gases son descargados a la atmósfera por medio de la chimenea.

Se podrá dar cuenta que a partir de ese momento el régimen de generación de vapor es continuo con prendidas y apagadas automáticas del conjunto quemador y la bomba de agua durante todo el funcionamiento y el uso de vapor en planta.

APAGADO DE LA CALDERA

Paso 1.- Colocar el tablero de control en off.

Paso 2.- Cerrar las válvulas de paso de diésel.

Paso 3.- Apagar el sistema de ablandamiento de agua.

Paso 4.- Dejar purgado el acumulador después de que el vapor se haya condensado.

SI LA CALDERA NO ARRANCA

1. Chequee todos los fusibles.
2. Chequee el nivel del agua de la caldera
3. Chequee los controles de límite para asegurar que esté funcionando.
4. Verifique el control del nivel de agua.
5. Verifique la llegada de combustible a las tomas.
6. Encienda el caldero.
7. En caso de no encender utilizar el botón de reinicio, ubicado en el quemador.



8. Si no enciende, no insistir, proceda a chequear todo

VARIABLES DE CONTROL DE LA CALDERA

- Nivel de agua (cantidad de agua).
- Nivel de combustible (cantidad de combustible)
- Flujo de aire.
- Presión de vapor generado
- Presión de la bomba de alimentación.
- Temperatura de agua de alimentación.
- Temperatura del combustible.
- Temperatura de los gases de combustión de salida (analizador Orsat).
- Parámetros físico-químicos del agua de alimentación.
- Caída de presión de vapor: máxima presión seleccionada (automatismo).
- Caída de presión de vapor: por consumo en planta (automatismo intermitente).

Instructivo del Sistema de Generación de Vapor (Caldera)

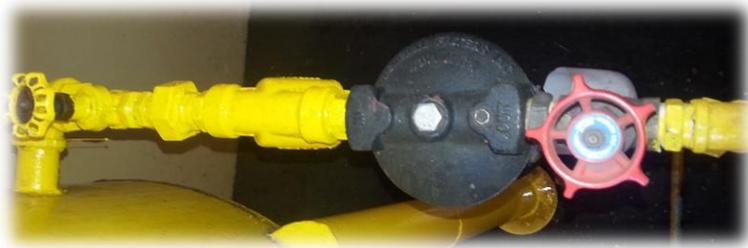
1.- Válvula del distribuidor



2.- Nivel de diésel, que se encuentre en el nivel correcto



3.- Válvulas de nivel de diésel



4.- Válvula de purga de fondo



5.- Quemador de diésel (Hogar), botón de reinicio y bomba de diesel



6.- Tablero de control del Sistema de Generación de Vapor (Caldera)



7.- McDonald, controlador del nivel de agua dentro del Sistema de Generación de Vapor (Caldera)



8.- Tablero de control del Sistema de Ablandamiento



9.- Distribuidor de Vapor



10.- Bomba de alimentación de agua al precalentador



11.- Válvula de purga del distribuidor



12.- Termómetro y manómetro del distribuidor



13.- Válvula de purga de emergencia del Sistema de Generación de Vapor



14.- Presostato, en donde se regula la presión a la que se desea trabajar



15.- Medidor del nivel de Mcdonald



16.- Manómetro controlador de la presión interna



17.- Tanque de combustible



18.- Filtro de Arena



19.- Ablandador



20.- Tanque de Regeneración con salmuera



21.- Bombas de Alimentación del Sistema de Ablandamiento



MANTENIMIENTO MÍNIMO A REALIZARSE A UNA CALDERA

RUTINAS DIARIAS.

- Comprobar el correcto funcionamiento y purgar indicadores de nivel ópticos.
- Purgar la caldera, por lo menos cada ocho horas de trabajo.
- Purgue la columna de agua del Mac Donald hasta el punto más bajo cuando la unidad esté funcionando (llama encendida), la caldera debe pararse, investigue y corrija si no se para.
- Comprobar que la presión del combustible indicada en el manómetro sea la sugerida para el funcionamiento.
- Comprobar funcionamiento automático del sistema de seguridad, falla en la llama, control de nivel de agua, combustible, etc.
- Secar y limpiar filtro de combustible.
- Verificar el nivel de vibración, ruido en motores, bomba y ventiladores.
- Comprobar si existen fugas de aire-agua o vapor en todo el sistema de alimentación.
- Comprobar el color de llama y combustión general.
- Chequéese la temperatura del agua de alimentación la cual debe estar entre 85-90° C
- Examínese las condiciones de succión de la bomba de combustible que exista una buena inyección del líquido.
- Verifique la alimentación de químico al tanque de agua de Alimentación.
- Efectúe el análisis de campo al agua y de caldera registre e informe. Análisis diario dureza, PH, Cloruros; Alcalinidad, Sulfitos, Fosfato, Hierro, TDS y Sílice.
- Verifique que el ablandador esté trabajando correctamente si es necesario realizar la regeneración de la resina. Análisis diario de dureza.

RUTINA SEMANAL

- Chequéese la operación del control de combustible, investigue y corrija cualquier defecto de cierre de la válvula de combustible.
- Chequéese el interruptor de presión, observe si es normal el funcionamiento del control del programa
- Límpiase la unidad completa, especialmente las partes funcionales de modo que el combustible ni el polvo se acumula.
- Límpiase el atomizador de combustible, no use lijas ni objetos metálicos durante la limpieza, utilice disolvente, limpie cualquier depósito de carbón que se acumula en los aisladores de los electrodos.
- Limpie el filtro de diésel y el combustible.
- Engrase general de rodamiento del soplador.

RUTINAS MENSUALES.

- Realizar simulacros o pruebas de seguridad.
- Realizar pruebas de funcionamiento de equipos y accesorios del quemador.
- Prueba de buen funcionamiento de bombas de alimentación de agua.
- Tomar y analizar muestras del agua contenida en el interior de la caldera, (salinidad, dureza, pH, contenido O₂)

RUTINAS BIMESTRALES.

- Inspeccionar el material aislante de calor que constituye el hogar, parte trasera y cambio de empaques.
- Realizar pruebas de disparo en la válvula de seguridad accionando la palanca para ver su funcionamiento y evitar que se pegue en su asiento.
- Destapar los registros de las partes intermedias e inferior de la caldera para evaluar su estado.
- Deshollar la chimenea de la caldera.

RUTINAS SEMESTRALES.

- En caso de utilizar combustibles líquidos, se procede a la limpieza de tubos de humo, eliminar hollín.
- Comprobar el estado del quemador, tapón de registro, y acceso al hogar.
- Inspección interna en el agua y gases. Se procede a limpieza en caso de ser necesario.
- Retire todo el hollín que sea posible.
- Chequee empaques, válvulas y tuberías por escape de combustible agua, químicos y vapor.
- Verifique el correcto funcionamiento de los Contactores eléctricos.

RUTINAS ANUALES.

- Inspección en frío, caldera parada, procedimiento a la apertura de todos los registros en el lado agua y vapor.
- Eliminación de incrustaciones y sedimentos del lado del agua.
- Verificar la aparición de corrosiones y evaluar si el tratamiento de agua es el correcto.
- Comprobar el estado de elementos de seguridad: presión, temperatura y nivel.
- Realizar prueba hidrostática para comprobar la integridad y hermeticidad de la caldera.

CONTROL DEL TRATAMIENTO DEL AGUA DE LA CALDERA

Lo principal que se debe controlar dentro de un sistema de generación de vapor son las condiciones del agua de alimentación, control que no solo debe realizarse diariamente sino semanal, mensual, semestral y anualmente.

OBLIGACIONES DIARIAS DEL LABORATORIO O PERSONAL ENCARGADO DIRECTAMENTE DEL CALDERO

Diariamente debe realizar, reportar y determinar los correctivos necesarios de los siguientes análisis:

Dureza Total, pH, TDS, Alcalinidad, Sulfito, Fosfato, Hierro, Sílice, Cloruros.

DUREZA TOTAL. Debe realizarse este análisis porque mediante éste prevenimos la formación de incrustaciones en los calderos.

Según el grado de dureza las aguas se clasifican en:

Rango	Concepto
0-75 mg/L Ca CO₃	Agua Blanda
75-150 mg/L Ca CO₃	Agua Semi-Dura
150-300 mg/L Ca CO₃	Agua dura
Más de 300 mg/L Ca CO₃	Agua muy Dura

OBLIGACIONES DIARIAS DE UN CALDERISTA

Un operador al entrar en sus funciones en su turno respectivo debe tomar en cuenta los siguientes parámetros; basándose en el reporte proporcionado por su compañero del anterior turno. En sí estas son obligaciones para que haya un buen funcionamiento del caldero.

Antes de comenzar un trabajo diario revisar:

1.-Análisis de dureza del agua de alimentación a caldero

Muestra tomada de los ablandadores, esta prueba es fundamental ya que nos permite controlar dos equipos.

- El funcionamiento del ablandador,
- El caldero mismo para evitar posibles incrustaciones.
- La dureza total debe ser cero.

2.- Chequear la temperatura de alimentación, debe ser entre el orden 80- 90° C este factor es importante para el control de la corrosión.

3.- Realizar las purgas de fondo.

Este procedimiento se lo realiza dependiendo de la concentración de sólidos totales existentes dentro del caldero. Dato proporcionado al operador por el laboratorio o personas encargadas del control químico del caldero quien le va a decir cada que tiempo deba purgar.

La finalidad de esta operación es evitar que los sólidos disueltos se concentren en los tubos produciendo daños posteriores en el caldero. Valor máximo permitido 3500ppm. Un factor por el cual debemos basarnos para determinar la concentración de sólidos es alcalinidad y cloruros deben estar en orden 300 - 600 alcalinidad total y cloruros máximo 1000 ppm CCNA (estos valores se encuentran en la

Además de éstos factores tenemos otros procedimientos diarios que es de observar.

4. Purgar la columna de agua hasta el punto más bajo cuando la unidad esté funcionando.

La finalidad de este procedimiento es evitar que los instrumentos (MAC-DONAL) se dañe o de datos falsos debido a concentraciones de impurezas existentes.

5. Chequear el nivel de combustible

DATOS A REPORTAR

1. Dureza total del agua (debe ser 0)
2. Temperatura del agua (80 - 90° C)
3. Hora en que realizó la última purga de fondo
4. Hora de purga de superficie (cada 24 horas)
5. Nivel de combustible (lleno - bajo - hora)

PROBLEMAS QUE SUELEN OCASIONAR EL AGUA

Efecto	Problema	Observaciones
Incrustación	Sílice	Forma un recubrimiento duro y vidrioso en las superficies internas de la caldera. Se vaporiza en las calderas de alta presión y se deposita en los alábeles de las turbinas
	Dureza	El CaSO ₄ , MgSO ₃ , CaCO ₃ y MgCO ₃ forman incrustaciones en los tubos de la caldera
Se reduce la transferencia de calor	Depósitos: incrustaciones y lodos	Perdida de eficiencia, desperdicio de combustible
Corrosión	Oxígeno	Causa erosión en las superficies metálicas de la caldera y las tuberías de condensado
	Dióxido de Carbono	Es la causa principal del deterioro de las líneas de retorno de condensado
	Oxígeno y Dióxido de Carbono	Su combinación es más corrosiva que cuando actúan aislados
Arrastre de agua y espumado	Alta concentración de agua en calderas	Contaminación del sistema de distribución, vapor húmedo y depósitos en las tuberías, en alabes de turbinas y asientos de válvulas
Fragilidad Caustica	Alta concentración caustica	Causa fisuras intercristalinas del metal de la caldera (tubos)
Perdidas Económicas	Reparaciones	Reparación de calderas dañadas y limpieza mecánica de calderas son incrustaciones
	Paros no Programados	Se reduce la eficiencia y capacidad de toda la planta

INCRUSTACIONES MÁS COMUNES

Nombre Común	Símbolo	Efecto
Analcita	$\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	Incrustación Dura
Serpentina	$3\text{MgO} \cdot 2\text{SiO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	Incrustación Dura
Aemita	$\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2$	Incrustación Dura
Aragonita, Calcita	CaCO_3	Incrustación Blanda
Anhidrita	CaCO_4	Incrustación Dura
Hidroxiapatita	$\text{Ca}_{10}(\text{OH})_2(\text{PO}_4)_6$	Incrustación Blanda
Hematita	Fe_2O_3	Incrustación Blanda
Silice	SiO_2	Incrustación Dura
Cuprita	Cu_2O	Incrustación Blanda
Brucita	$\text{Mg}(\text{OH})_2$	Incrustación Blanda
PO ₄ Básico de Mg	$\text{Mg}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 2\text{Mg}(\text{OH})_2$	Incrustación Blanda

CONTROL FÍSICO QUÍMICO DEL AGUA

PARÁMETROS	DESCRIPCIÓN
T	Temperatura
O ₂	Oxígeno Disuelto
pH	Potencial Hidrógeno
DT	Dureza Total
DCa	Dureza de Calcio
DMg	Dureza de Magnesio
Alcalinidad P	Alcalinidad Parcial o a la fenolftaleína
Alcalinidad M	Alcalinidad Total o Metil - Naranja
Alcalinidad OH	Hidróxidos
HCO ₃	Bicarbonatos
CO ₃ -2	Carbonatos
Cl-	Cloruros
Fe ++	Hierro
SiO ₂	Sílice

CONTROL DE VÁLVULAS

FILTRO DE ARENA.

FILTRACIÓN:

Abierto: 1 y 5.

Cerrados: 2, 3 y 4.

RETROLAVADO: Se realiza durante un periodo de 10 minutos.

Abierto: 2 y 3

Cerrados: 1, 4, 5.

ENJUAGUE: Durante 10 minutos,

Abierto: 1 y 4.

Cerrados: 2, 3 y 5.



ABLANDADOR

RETRO LAVADO: Posición retro lavado. Lavado del ablandador invirtiendo el flujo del agua, elimina la suciedad en el ablandador. Se lo realiza durante 10 minutos, utilizando agua potable.

Abierto: 1 y 5.

Cerrado: 2, 3, 4, 6, 7, 8.

REGENERACIÓN CON SALMUERA: Posición Enjuague. Restituye la capacidad de ablandamiento, la resina cambia los iones Ca, Mg, etc. Por iones Na. Se lo realiza durante 20 minutos, utilizando la solución de salmuera.

Abierto: 6.

Cerrado: 1, 2, 3, 4, 5, 7.

ENJUAGUE: Posición enjuague. Para eliminar el exceso de sal que queda en el ablandador quedando listo para reiniciar el ciclo.

Abierto: 1 y 5.

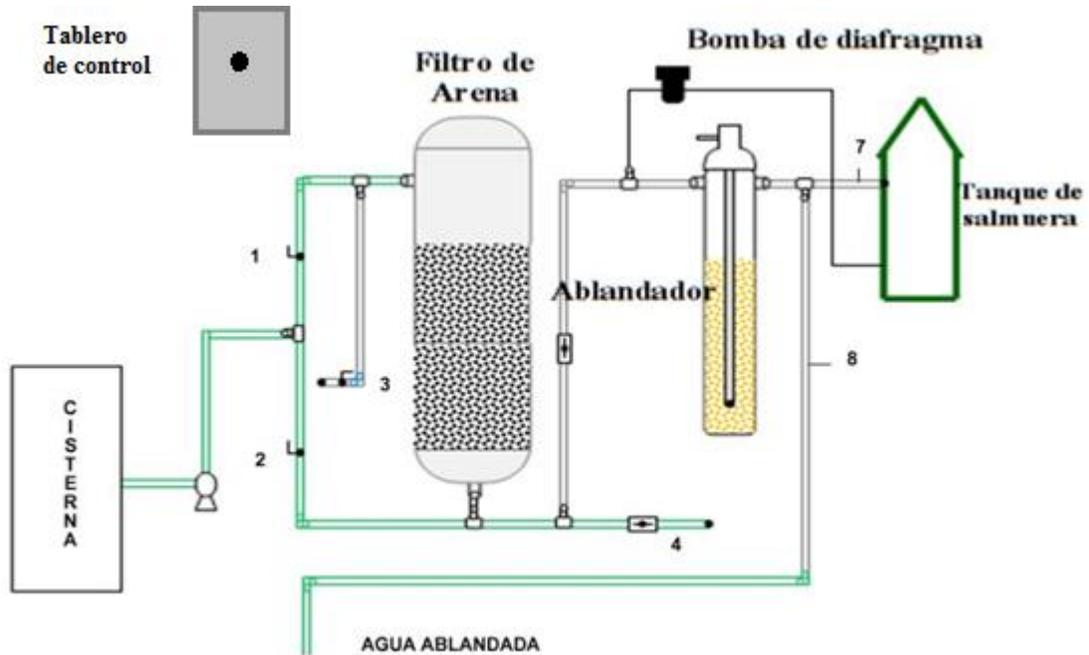
Cerrado: 2, 3, 4, 6, 7, 8.



SISTEMA DE ABLANDAMIENTO



Diagrama del Sistema de Ablandamiento del agua que ingresa al Sistema de Generación de Vapor



Recomendaciones para el buen funcionamiento

- 1.- Que el agua de alimentación que ingresa a al sistema de generación de vapor sea agua suave es decir agua ablandada, no alimentar el equipo con agua cruda; ya que la mayoría de los problemas de los sistemas de generación de vapor es por no darle tratamiento al agua.
- 2.- Proporcionar un tratamiento químico interno al agua de alimentación a las calderas, a parte del ablandamiento que se le hace al agua existen elementos como la acidez, alcalinidad, hidróxidos, fosfatos, sulfitos, nitratos y sílice los cuales deben permanecer dentro de los rangos permisibles para evitar cualquier fallo en el equipo (corrosión, incrustaciones arrastre; entre otros).
- 3.- Que no exista fuga en las tuberías de vapor, porque de lo contrario existirían pérdidas y se desperdiciaría el vapor producido y esto afectara económicamente al sistema ya que generaría más costos, se tendría que producir más vapor y consumir más diésel.

4.- Recubrimiento térmico del Sistema de Generación de Vapor, para que no se produzcan pérdidas por transferencia de calor porque de lo contrario la caldera tendrá que trabajar de más para mantener su potencia, sufriendo desgastes y teniendo un desperdicio de combustible.

5.- Verificar que no se forme hollín; esto se lo puede verificar a través de un termómetro a laser que mide la temperatura de la salida de los gases de combustión.

6.- Que el agua de alimentación del precalentador se mantenga caliente, ya que entre más alta esté la temperatura del agua será más fácil subirla hasta los 100°C dentro de la caldera, temperatura en que se evapora y esto beneficiara al sistema ahorrando combustible.