

**Universidad de Holguín.
“Oscar Lucero Moya”.
Facultad de Ingeniería.
Departamento de Ingeniería Mecánica.**

**CURSO DE MAESTRÍA: EFICIENCIA ENERGÉTICA
EVALUACIÓN FINAL.
GESTIÓN Y USO DEL AGUA**

**TÍTULO: Análisis del proceso de tratamiento del agua en la
Industria azucarera, CAI Cristino Naranjo.**

Profesor: Ms.C. Ing. Alberto Carballo Peña.

Autor: Ing. Yanet Rivas Cruz

HOLGUÍN

2015

Resumen

En el presente trabajo se hace una breve exposición de las características generales de la planta de tratamiento de agua del Complejo Agro Industrial Cristino Naranjo perteneciente al municipio de Cacocum, teniendo en cuenta la importancia de este proceso para el correcto funcionamiento de las calderas en la generación de vapor.

Se establecen los parámetros técnicos y eléctricos de los principales equipos que la conforman (Conjunto Bomba-Motor) en vistas a que no se tuvo acceso a la totalidad de la información necesaria para realizar un análisis energético encaminado a lograr un uso más eficiente del agua. Para el desarrollo del trabajo se utilizaron los métodos de investigación teóricos: análisis y síntesis y empíricos: la revisión de documentos.

Índice

INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO 1. Marco teórico conceptual de la investigación. (Estado del arte).....	3
1.1 Agua en la industria	3
1.2 Términos y definiciones.....	3
1.3 Agua para la producción de vapor en la industria.....	4
1.4 Procedimientos para el análisis del agua.....	5
1.4.1 Determinación de azúcar.....	5
1.4.2 Determinación de sólidos disueltos.....	5
1.4.3 Determinación de la alcalinidad total.....	5
1.4.4 Determinación de la dureza total.....	5
CAPÍTULO 2. Desarrollo. Descripción del proceso y su importancia para una correcta operación de la caldera	8
2.1 Descripción del proceso en la planta de tratamiento de agua.....	8
2.2 Características técnicas de los equipos que forman la planta.....	9
2.3 Importancia del tratamiento del agua para una correcta operación de la caldera.....	9
CONCLUSIONES.....	13
BIBLIOGRAFÍA.....	14
ANEXOS.....	15

INTRODUCCIÓN

El agua es el recurso que dio origen a la vida, es una sustancia tan valiosa como el Oro y el Petróleo, constituye uno de los elementos estratégicos del mundo. La Tierra, con sus diversas y abundantes formas de vida que incluyen a más de 6 000 millones de seres humanos, se enfrenta en este comienzo del Siglo XXI con una grave crisis del agua.

Todas las señales indican que la crisis está empeorando y que continuará, a no ser que se emprenda una acción correctiva en la gestión de los recursos hídricos, esencialmente inadecuados actualmente.

La creciente presión sobre los recursos de agua dulce, causada por el incremento de la demanda y por su dispendioso uso, así como por la progresiva contaminación a nivel planetario, es tema de profunda preocupación en todos los foros internacionales, al punto de que se ha llegado a considerar esto como el problema clave del siglo XXI. Gracias al esfuerzo que ha llevado a cabo la Revolución en los más de 40 años para el desarrollo hidráulico del país, Cuba dispone en la actualidad de más de 1200 m³ de agua /habitante/año, lo que la sitúa entre los países que no sufren de escasez del recurso. Sin embargo, considerando la tasa actual de crecimiento de la población del país, que es de 1 % anual, para el año 2025 (año que se toma como referencia por diversos organismos de la ONU esta cifra pudiera disminuir en 12 %, con una disponibilidad per cápita para esa fecha de alrededor de 900 m³ de agua /habitante/año. Lo anterior significa que es necesario para el futuro el desarrollo de una acertada política de uso y aprovechamiento de los recursos hidráulicos, de manera tal que ellos satisfagan las necesidades del desarrollo nacional en concordancia con los principios de sostenibilidad y de la preservación de la calidad de la vida y del medio ambiente. En los últimos años han ocurrido cambios en la organización productiva de sectores tan importantes como la agricultura, la que consume más de 70 % del agua disponible en el país. Estos cambios han hecho surgir en este sector nuevos usuarios, con responsabilidades económicas y jurídicas diferentes, que requieren una atención técnica y legal también diferente. Por su parte el crecimiento de la industria del turismo impone nuevos patrones en la calidad y cantidad de agua

a utilizar por este sector, así como la alta demanda que representa este recurso hídrico para la industria azucarera objeto de estudio del presente trabajo encaminado hacia su uso racional y eficiente así como la preservación de la calidad del mismo en las diferentes etapas del proceso industrial.

Ha de tomarse conciencia de que el problema del agua es uno de los más importantes de nuestra época, tan importante como los del cambio climático, la deforestación, la protección de la diversidad biológica y la desertificación, todos los cuales están relacionados con la ordenación de los recursos hídricos.

CAPÍTULO 1. Marco teórico conceptual de la investigación. (Estado del arte)

1.1 Agua en la industria.

El agua es ampliamente usada en la industria, pero aunque es generalmente abundante y relativamente económica, esta realidad ha estado cambiando drásticamente debido a una mayor demanda, a la destrucción de las cuencas hidrográficas y la contaminación de la misma. La tendencia actual es a su uso racional preservando el medio ambiente.

Entre los problemas apremiantes que la industria azucarera debe enfrentar se encuentran las pérdidas (calor, combustible, vapor y agua) en las calderas atribuidas a la calidad del agua de alimentación a las mismas: baja temperatura y presencia de contaminantes lo que se traduce en altos consumos de combustibles. Los contaminantes que con mayor frecuencia están presentes en esta agua son: azúcar y aceites.

La necesidad de agua de alimentación a la caldera es superior en muchos ingenios a la producción de condensados puros. Es práctica común suplir este déficit con aguas crudas sin tratar o suavizadas lo que obliga al tratamiento químico en el interior de las calderas en aras de minimizar uno de los problemas básicos de la industria azucarera: las pérdidas lo que se traducen en elevación de los costos de producción del azúcar.

El manejo del agua de forma empírica se refleja en el deterioro de los equipos y redes a lo que se suma el consumo de aditivos químicos que exceden en gran medida lo necesario lo que obliga a mantener una estrecha vigilancia antes y durante la operación de la caldera. Se tiene que hacer realidad en los ingenios que la planta de tratamiento de agua es para arrancar el ingenio y que el agua cruda no puede llegar a las calderas.

1.2 Términos y definiciones

Agua de alimentación a la caldera: Aguas inyectadas a la caldera que proceden de los condensados puros que pueden mezclarse con las aguas vegetales del segundo vaso del arreglo de evaporadores, tachos y las aguas

suavizadas cuando las de condensados no son suficientes (reposición).

Agua suavizadas: Agua cruda tratada cuya dureza se ha reducido significativamente.

Agua cruda: Agua cuyas fuentes de suministro puede ser las aguas superficiales o subterráneas de las que se abastece el ingenio y son tratada para servir como relleno.

Agua tratada: Agua sometida a cualquier proceso físico químico para reducir las impurezas contenida en el agua cruda.

Agua de calderas: El agua presente en el interior de la caldera sometida a tratamiento para su evaporación.

Agua de reposición: agua adicionada al sistema de alimentación de la caldera para cubrir las pérdidas producidas durante el proceso.

Agua de retorno: Condensado que vuelve a incorporarse al ciclo de generación de vapor

Condensado puro: Aguas procedentes del primer vaso del arreglo de evaporadores y de tacho si utiliza vapor de escape como medio de calentamiento.

Condensado vegetal: Aguas procedentes de las vaporizaciones del guarapo.

1.3 Agua para la producción de vapor en la industria.

Las aguas para la producción de vapor requieren tratamientos externos e internos que en primera instancia están determinados por el fabricante del equipo, pero que de forma general están sujetos a recomendaciones generales de acuerdo al tipo de equipo y a la presión de operación.

Después de las aguas de enfriamiento este es el segundo gran consumo de agua en la industria y el de mayor importancia por los tratamientos que requiere y por lo que estos representan desde los siguientes puntos de vista:

- Gran Costos por tratamientos especiales requeridos para evitar incrustaciones y corrosión.

- Interrupciones a la producción o los servicios por fallas en el sistema.

La utilización del agua destinada a la alimentación de los equipos productores de vapor, presenta a menudo una serie de dificultades surgidas principalmente por impurezas contenidas en la misma provocan que la caldera y los equipos accesorios no trabajen en forma normal (2).

En el proceso de producción de vapor estas impurezas precipitan en las superficies internas de calentamiento de las calderas, formando sedimentos que poseen un coeficiente de conductividad térmica muy bajo provocando un sobrecalentamiento del metal de los tubos, así como incrustaciones que dificultan el paso de agua a través de los mismos.

Podemos añadir que en el recorrido del agua por el interior de la caldera se puede también dar el caso de que en algunas secciones se produzcan condiciones en las que el agua o el vapor adquieran propiedades corrosivas, lo cual es altamente perjudicial para la superficie de los tubos.

Por las razones anteriores y alguna otra no mencionada es necesario eliminar las impurezas del agua antes de su alimentación a las calderas, o por lo menos reducirlas hasta un valor admisible que garantice que tanto las calderas como las turbinas puedan operarse con seguridad.

Para eliminar estas impurezas es necesario el tratamiento del agua, tanto la del agua de reposición como la del condensado eventualmente contaminado si se pretende utilizarlo en la alimentación de calderas.

Este tratamiento puede constar de varios procesos, tales como la clarificación, descarbonatación, filtración, suavizante, desgasificación, etc.

Por todo lo anteriormente expuesto es necesario establecer un régimen de tratamiento de esta agua que, además de ser económico, nos proporcione seguridad en el buen funcionamiento de las calderas, turbinas y equipos accesorios. (2)

1.4 Procedimientos para el análisis del agua.

1.4.1 Determinación de azúcar.

Este método nos proporciona la detección y evaluación del contenido de azúcar en las aguas lo que nos permite decidir su uso. La presencia de este contaminante contribuye a la formación de espumas, incrustaciones y acelera la velocidad de la corrosión que disminuyen la vida útil de los equipos y la temperatura del agua de alimentación de las calderas lo que ocasiona un consumo adicional de combustible y se elevan los costos de mantenimientos en tuberías, generadores de vapor, turbinas e intercambiadores de calor.

1.4.2 Determinación de sólidos disueltos totales.

La concentración de Sólidos Disueltos Totales en el agua de alimentación a la caldera limita su uso de ahí la importancia de su determinación. El método se basa en la neutralización de un volumen de agua de las calderas, determinándose posteriormente su conductividad específica

1.4.3 Determinación de la alcalinidad total.

El acondicionamiento de aguas de calderas así como el funcionamiento de plantas suavizadoras cal-soda dependen en gran medida de las concentraciones de $(\text{CO}_3)_2^-$, $(\text{HCO}_3)^-$ y $(\text{OH})^-$ expresadas como alcalinidad. En presencia de indicadores como la fenolftaleína y metil naranja en soluciones normalizadas a valores de pH de 4.3 y 8.3, estas especies cambian de color y constituyen puntos de equivalencias para determinaciones de los tres componentes que expresan la alcalinidad señalados anteriormente.

1.4.4 Determinación de la dureza total.

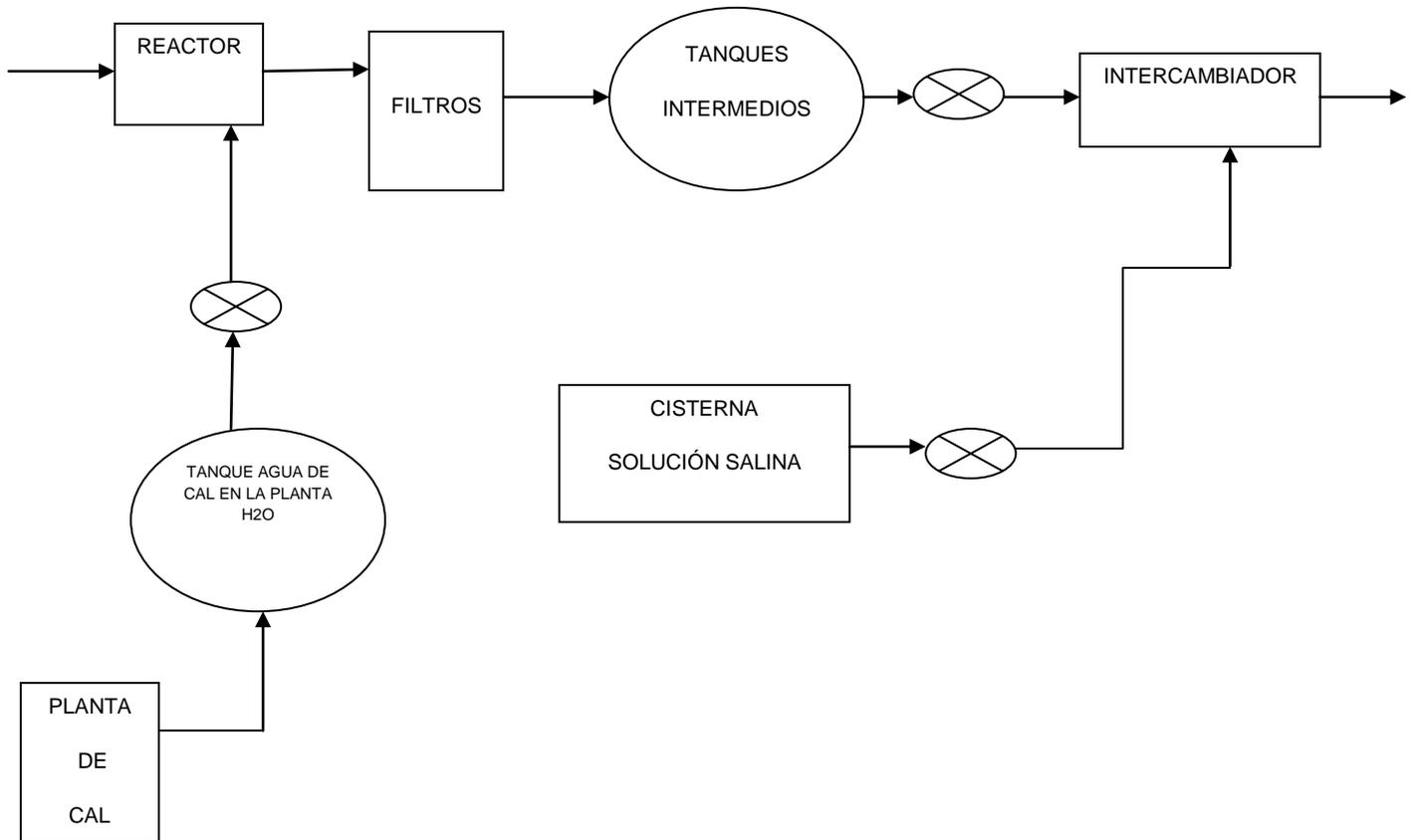
La presencia de iones calcio y magnesio en el agua es conocida como dureza. El contenido de estos varía de acuerdo a la fuente de abasto

de manera significativamente y son responsables de las incrustaciones que dificultan el trabajo de los intercambiadores de calor en la industria. Este método tiene como propósito determinar la dureza total en las muestras de aguas naturales e industriales por titulación con EDTA y el indicador correspondiente.

En el Anexo 1 se muestran las tablas de los valores permisibles de alcalinidad, dureza y sólidos disueltos permisibles según la presión de la Caldera.

CAPÍTULO 2. Desarrollo. Descripción del proceso y su importancia para una correcta operación de la caldera.

2.1 Descripción del proceso en la planta de tratamiento de agua.



El agua cruda llega al reactor por gravedad y baja del mismo de igual forma hacia los filtros; de aquí pasa a los tanques intermedios por gravedad y se bombea a los intercambiadores. Del proceso de fabricación del azúcar (Planta de cal) se llena un tanque en la planta de tratamiento de agua con agua de cal la cual se bombea al reactor. En la propia planta de agua hay una cisterna con solución salina de la cual se bombea a los intercambiadores con el objetivo de limpiarlos.

La planta de tratamiento de agua tiene una capacidad de $40 \text{ m}^3 / \text{hora}$, entre los equipos fundamentales se encuentran:

1. Reactor (1)
2. Filtros de grava (3)

3. Intercambiadores iónicos (2)
4. Tanque para dosificación de productos químicos (1)
5. Tanque intermedio (2)
6. Deposito para solución de cloruro de sodio (1)
7. Bombas centrifugas horizontales (6) en total pero en el régimen normal de trabajo solo se mantienen funcionando tres de ellas las restantes quedan de reserva.

2.2 Características técnicas de los equipos que forman la planta.

1. Sistema de Bombeo

Tabla 1. Datos de Placa de las Bombas

Numero de bomba	Bomba 1	Bomba 2	Bomba 3	Bomba 4	Bomba 5	Bomba 6	Bomba 7
Marca	BSA30-20	BSA30-20	BSA30-20	BSA30-20	-	-	BSA40-15
Diámetro del impulsor nominal (mm)	279	279	279	279	279	279	279
Tipo de impulsor							
Gasto nominal(m ³ /h)	80(g/min)	80(g/min)	80(g/min)	80(g/min)	900(g/min)	900(g/min)	180(g/min)
Carga nominal (m)	13.7	14.7	15.7	16.7	31.09	32.09	13.2

2. Motores Acoplados a las bombas

Tabla 2. Datos de Placa de los Motores

Numero de bomba	Bomba 1	Bomba 2	Bomba 3	Bomba 4	Bomba 5	Bomba 6	Bomba 7
Potencia (kW)	1.5	1.5	1.5	1.5	22	22	3
Velocidad (rpm)	1150	1150	1150	1150	1150	1150	1150
Frecuencia (Hz)	60	60	60	60	60	60	60

2.3 Importancia del tratamiento del agua para una correcta operación de la caldera.

Una caldera no puede considerarse como un recipiente simple productor de vapor, pues en realidad es una cámara de presión altamente complicada donde distintas sustancias disueltas en el agua de alimentación están sujetas a

muchos cambios químicos complicados es por ello que es de vital importancia el tratamiento del agua para lograr su funcionamiento eficiente, evitando los problemas que se relacionan a continuación.

Algunas de esas sustancias disueltas pueden reaccionar causando incrustaciones o depósitos en las superficies de calentamiento. Otras pueden promover corrosiones muy activas, espumeo, arrastres e incluso fragilidad cáustica. Ninguna de esas dificultades puede olvidarse cuando se está operando un generador de vapor.

Incrustaciones: Cuando el agua se evapora en una caldera las sales disueltas de calcio y magnesio se depositan en las superficies de los tubos de las calderas. Esos depósitos son absolutamente estables porque son muy pobres conductores de calor, reducen la eficiencia del generador, aumentan el consumo de combustible y son, además las causas más frecuentes de las roturas de los tubos. Todas estas dificultades provocan una erogación de divisas extraordinaria y además, las paradas que se originan son aun más costosas. La formación de incrustaciones en las superficies de calentamiento puede evitarse eliminando todas las sales de calcio y magnesio antes de que el agua penetre en la caldera. Eso es conocido por **TRATAMIENTO EXTERNO**. También pueden añadirse algunos productos químicos al agua de calderas, los cuales pueden reaccionar con las sales disueltas de calcio y magnesio formándose unos fangos fluidos en lugar de las incrustaciones. Esos fangos pueden ser eliminados de la caldera por medio de las extracciones. Este método se llama **TRATAMIENTO INTERNO**.

Corrosión: La corrosión es la pérdida del material de las superficies metálicas en las calderas y la misma puede progresar tanto que provoque la deteriorización completa del equipo.

La corrosión en las calderas, economizadores, calentadores de agua de alimentación, tuberías de distribución, etc., es provocada por un ácido o un pH bajo, en adición de la presencia de oxígeno disuelto en el agua de alimentación, y puede evitarse con la adición de sales alcalinas para neutralizar los ácidos en el agua y subir el pH. Además, el oxígeno disuelto puede eliminarse por una

deareación mecánica y la adición de sulfito de sodio para la eliminación de las tareas residuales que pudieran quedar después de la deareación.

Espuma, arrastres de agua y arrastres de sales.- Los términos de espuma, arrastres de agua y arrastres de sales están muy íntimamente asociados.

El espumeo puede ocurrir sobre la superficie del agua y puede también ocurrir y ocupar todo el espacio o cámara de vapor. En cualquier caso puede contaminarse el vapor con apreciable cantidad de agua de calderas.

El arrastre de agua propiamente dicho es cuando la descarga del agua con el vapor se produce en una forma violenta y sucede principalmente cuando el nivel de agua en la caldera tiene fluctuaciones muy rápidas.

Por arrastres de sales se entiende cuando los sólidos en el agua de calderas se mezclan con el vapor aun cuando no hay indicación de que exista espumeo o arrastres de agua, aunque generalmente son provocados por esas causas.

Todas estas dificultades son muy perjudiciales pues afectan la operación de los equipos que se ponen en contacto con el vapor producido, presentándose frecuentemente incrustaciones y erosión en esos equipos, fundamentalmente en los alabes de las turbinas o interfiriendo, además, con la lubricación de las maquinas reciprocantes, etc.

Fragilidad cáustica: La fragilidad cáustica o la rajadura ínter cristalina del acero de una caldera se puede definir como la acción destructiva de un agua de calderas con una concentración alta de alcalinidad cáustica sobre la parte del metal que se encuentre por debajo de la superficie del agua.

Este problema no es tan común como los otros que ya mencionamos anteriormente porque para que se produzca el fallo del metal tienen que ocurrir simultáneamente tres condiciones distintas:

- 1- Que el metal de la caldera este sujeto a una gran tensión, tanto interna como externa.
- 2- Que haya un derrame de agua en el agua en el área de mayor tensión.
- 3- Que el agua derramada tenga un contenido de sosa cáustica.

Es correcto aclarar, además, que en las calderas que tienen los domos soldados los peligros de fragilidad cáustica han disminuido extraordinariamente. Donde son más frecuentes estas dificultades son en las calderas que tienen los domos remachados.

En sentido general el tratamiento del agua requiere de un adecuado control mediante análisis periódico de aguas y vapores para que tenga la eficiencia y eficacia requerida en el proceso industrial.

CONCLUSIONES.

Se realiza una caracterización general de la planta de tratamiento de agua del Complejo Agro Industrial Cristino Naranjo así como de los principales problemas que atentan contra el funcionamiento eficiente de la caldera motivada por la mala calidad del agua.

Se establecen los parámetros técnicos y eléctricos de los principales equipos que la conforman que sirvan de base para realizar un diagnóstico energético encaminado a lograr un uso más eficiente del agua.

Bibliografía

1. López Bastida, E.; Francisco Martín, W.; Monteagudo Yanes, J.P.
“Gestión y uso racional del agua”.
2. Tratamiento de Agua en la industria azucarera. DIRECCION DE
MAQUINARIA INDUSTRIAL,DPTO DE GENERACION DE VAPOR,
MINAZ- 1989
3. <http://www.cubaindustria.cu>. (consultado abril 2015).

ANEXOS

ANEXO I

Tabla I. Alcalinades totales permisibles del agua de caldera según presión.

Presión Caldera (Lbf/in2)	M.Mínima (ppm CaCO3)	M.Máxima (ppm CaCO3)
De 0 - 150	240	800
De 151 - 250	200	700
De 251 - 400	160	600
De 401 - 600	120	500

Tabla II. Clasificación del agua de caldera según dureza.

Dureza total (ppm, CaCO3)	Clasificación de las aguas
Menos de 15	Muy suaves
De 15 - 50	Suaves
De 51 - 100	Medianamente suaves
De 101 - 200	Duras
Más de 200	Muy Duras

Tabla III. Sólidos disueltos totales permisibles del agua de calderas, según presión.

Presión Caldera (Lbf/in2)	Sólidos disueltos totales (ppm CaCO3)
De 0 - 150	4000
De 151 - 250	3500
De 251 - 400	3000
De 401 - 600	2500

ANEXO II. Planta de Tratamiento de Agua CAI Cristino Naranjo.



ANEXO III. Conjunto Bomba-Motor.

