

UNIVERSIDAD DE MATANZAS

"CAMILO CIENFUEGOS"

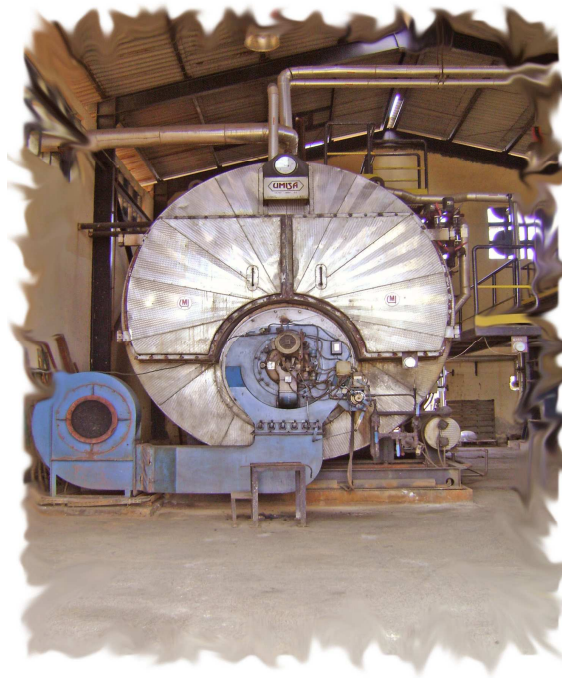


FACULTAD QUÍMICA - MECÁNICA

TRABAJO DE DIPLOMA

Título:

**Evaluación del Sistema de Generación de Vapor de la Caldera,
en la Empresa Comercializadora de Combustibles Matanzas.**



Autor: María de Lourdes Bueno Coronado

Tutor: Ing. Elina Pérez Moré

Asesores: Teresita Rodríguez Nogueira

Ena de los Ángeles Hernández López

Matanzas

Julio 2009

Nota de Aceptación.

Jefe del Tribunal

Fecha

Miembro del Tribunal

Fecha

Miembro del Tribunal

Fecha

Provincia _____ **Fecha** _____ **Calificación** _____

Declaración de Autoridad.

Declaro que soy la única autora de este Trabajo de Diploma realizado en la Universidad de Matanzas " Camilo Cienfuegos ", como parte final de los estudios en la especialidad de Ingeniería Química, por lo que autorizo que el mismo sea utilizado en la institución con la finalidad que estima conveniente.

María de Lourdes Bueno Coronado

Dedicatoria.

A mi querida hija Leandra, por todo su amor y comprensión en estos seis años de sacrificio. A mis padres y hermano, por haberme guiado y apoyado siempre en los proyectos de mi vida. A mi esposo y su familia, por su consagración. A mis amigos del grupo, por haber estado en todos los momentos a mi lado y a los que nunca olvidaré. A mis queridos profesores, por regalarme sus conocimientos de esa forma tan extraordinaria, que solo ellos saben.

Por último, no puedo dejar de mencionar a mi tutora Elina Pérez Moré, quien incondicionalmente, con sencillez y modestia, entregó sus conocimientos para la elaboración de este trabajo.

Agradecimiento.

A lo largo de estos seis años, he tenido la oportunidad de sentirme agradecida muchas veces, con mi familia, amigos y queridos profesores, porque todos, de una forma u otra, han contribuido en mi formación como profesional.

Quiero brindar un agradecimiento especial por su apoyo incondicional, a lo largo de toda mi carrera y mi vida, al Ing. Basilio Rodríguez Muñiz.

A mis queridos amigos: Reniel León Sanabria, Anabel Fernández Fraga y Yunisaira Álvarez Ramírez, los cuales han jugado siempre un papel importante en cualquier situación.

A dos jóvenes: Yoel y Enrique, quienes me ayudaron en la medición de todas las tuberías del agua de condensado de la caldera. Sin ellos, hubiese sido imposible lograrlo.

Al personal del Departamento Técnico y del Área de la Caldera, en especial a la Ing. Berta Luzardo, Ing. Magalys Suárez, Ing. Yamilet Tápanes y al Lic. Noel León Penichet.

A mis padres y hermano, por brindarme su ejemplo. A mi hija, por darme fuerzas para lograrlo.

A mi querido profesor: Ing. Camilo Cabrera. Ms. C, por su confianza y ayuda, en los momentos que pensé que las puertas se me estaban cerrando.

Para terminar, dejo el agradecimiento más importante, a mi tutora: Ing. Elina Pérez Moré, quien, me ha ayudado, no solo en la realización de la tesis de grado, sino, en todos los proyectos de curso que abordé en estos años.

Resumen.

El presente trabajo fue realizado en la Caldera de generación de vapor de la Empresa Comercializadora de Combustibles Matanzas, ubicada en la zona Industrial de Versalles, en el kilómetro 4,3. En el mismo se efectuó un amplio análisis bibliográfico y además se plasmó el funcionamiento del proceso de generación de vapor de la Caldera, así como la explicación física - química de todos sus equipos. Con el objetivo de realizar una evaluación del funcionamiento de la caldera, se le realizaron ensayos físico-químicos a las aguas de la misma, procesándose estadísticamente los resultados del laboratorio para el año 2008 de algunos de los parámetros que se incluyen en la carta tecnológica, determinándose cuáles son los que se incumplen. Se estudian las causas de los incumplimientos y se proponen soluciones aplicando técnicas como el diagrama causa y efecto, balances de masa y energía. Se analiza el sistema de retorno del condensado, comprobándose con la ecuación de Bernoulli si los diámetros de los diferentes tramos de las tuberías del condensado que van desde los consumidores a la caldera, son correctos. También se analiza el proceso de tratamiento de agua y se proponen mejoras. Se realiza un balance energético de la caldera determinándose la eficiencia de la misma por el método directo e indirecto. Desde el punto de vista económico se cuantifican las pérdidas en valores que se producen como consecuencia del incumplimiento de los parámetros, y además se calculan el VAN y el TIR, para los trabajos de inversión que se proponen.

Abstract.

This work explains the steps to obtain in the bowl vapor generation in the Fuel Commercialization Enterprise of Matanzas. Located in the Industrial area of Versalles in the 4.3 km. In effectuate ample bibliographic analysis and explains how the vapor generation prove stakes place in the bowl, as well as the chemical and physical function of all its equipment. We made physical – chemical test to bouts water in order to evaluate its function. We analysis was bound in the results obtains in the 2008 year, using some of the parameter including the technical letter, determining which on were incorrect. The proponent causes on analyzed and we propose solutions using techniques like the cause – effect diagram, weight and energy balance there are many ways analysis the return system of the condensation. One of them is thought Bernoulli s´ formula which determines if condensate tube system diameters that go from the consumers to the bowl are correct. We on analyze the process of the treatment and we propose betterment. We naked energetic balance of the bowl determining its efficiency based on direct and indirect method. From the economic point of view we determine the lost of the value that are result of the consequences of the incumbent parameters and we calculate the VAN on TIR for the investments works which are proposed.

Tabla de Contenido.

	Páginas
Introducción.....	1
Capítulo 1. Revisión Bibliográfica.....	3
1.1 Componentes de un sistema de vapor.....	3
1.2 Generadores de Vapor.....	3
1.2.1 Requerimientos que debe cumplir un generador de vapor.....	4
1.3 El agua como sustancia de trabajo en el proceso de generación de Vapor.....	4
1.3.1 Tratamiento que se le realizan al agua de los generadores de vapor.....	5
1.3.2 Problemas derivados por utilización del agua en los generadores de vapor.....	6
1.3.3 Aditivos que se le añaden al agua de Caldera para mejorar sus propiedades.....	8
1.3.4 Razones básicas por las que se utiliza el agua preferentemente como fluido portador de calor sobre otros fluidos.....	9
1.4 Causas principales por las que se emplea el agua en fase vapor, en preferencia a la fase líquida.....	10
1.5 Criterios de diseño y selección de generadores de vapor.....	10
1.6 Clasificación, componentes y principios del funcionamiento de los generadores de vapor.....	12
1.6.1 Descripción y principio del funcionamiento de las calderas pirotubulares.	14
1.7 Requisitos para declarar una sala de generadores de vapor eficiente....	16
1.7.1 Eficiencia de los generadores de vapor.....	18
1.8 Requisitos de Seguridad para la puesta en explotación de los generadores de vapor.....	19
1.9 Control del gas de chimenea.....	20
Capítulo 2. Materiales y Métodos.....	22
2.1 Descripción del Proceso de Obtención de Vapor.....	22
2.1.1 Análisis Fenomenológico a los equipos del proceso de generación de vapor de la caldera.....	23
2.2 Estudios realizados al agua de caldera.....	24
2.2.1 Caracterización de los distintos ensayos realizados al agua de caldera....	24
2.2 Análisis realizados al agua de caldera.....	25
2.3 Cálculos de los índices de consumo de las materias primas.....	25
2.3.1 Consumos de agua, combustible, Na Cl y electricidad.....	25
2.4 Análisis de los incumplimientos.....	26
2.4.1 Diagrama causa - efecto.....	26
2.4.2 Análisis del sistema de retorno de condensado.....	27
2.4.3 Metodología para el cálculo de las tuberías de condensado.....	27
2.4.4 Metodología para el cálculo del balance de masa y energía en la caldera.	29
2.4.5 Metodología utilizada para el cálculo de consumo de vapor para cada uno de los equipos de intercambio de calor (intercambiadores y serpentines).....	33
2.5 Metodología para realizar los cálculos económicos.....	34

Capítulo 3. Análisis de los resultados.....	36
3.1 Resultados del análisis estadístico para los parámetros que se analizaron en el generador de vapor.....	36
3.2 Análisis estadístico de la producción de vapor y los índices de consumo de agua, combustible, Na Cl y electricidad.....	38
3.3 Análisis de los Parámetros que se incumplieron.....	41
3.4 Valoración de los índices de consumo de las materias primas (agua y Cloruro de Sodio).....	43
3.4.1 Índice de Consumo de agua.....	44
3.4.1.1 Resultados obtenidos del estudio realizado a las líneas de retorno de condensado.....	49
3.4.2 Índice de consumo del Na Cl.....	52
3.5 Resultados obtenidos del Cálculo de la eficiencia del generador de vapor.....	53
3.6 Resultados del Cálculo del consumo de vapor para los diferentes equipos que utilizan el vapor como medio de calentamiento.....	61
3.7 Análisis Económico.....	63
3.7.1 Cálculo de los indicadores económicos del proceso de producción de mezclas de la empresa.....	63
3.7.2 Análisis Económico después de las modificaciones realizadas, con el objetivo de ver si es factible la inversión.....	65
Conclusiones.....	68
Recomendaciones.....	69
Bibliografía.....	70
Anexos.....	73

Introducción.

En el mundo han ido ocurriendo una serie de transformaciones de forma paulatina, gracias al desarrollo que han ido alcanzando los países, la mayoría de los cuales, dependen de la Industria Petrolera, ya sea para la generación de la corriente eléctrica, el funcionamiento del transporte y otros disimiles usos.

Para que la Industria Petrolera trabaje de forma eficiente, es necesario que el petróleo crudo se envíe a las refinerías mediante oleoductos, barcazas o gigantescos petroleros oceánicos.

Nuestro país no está exento del desarrollo mundial, ya que cuenta, no solo con empresas capaces de extraer y refinar el petróleo, sino además, es capaz de trasladarlo a través de vía terrestre o marítima.

En la provincia de Matanzas, se encuentra la Empresa Comercializadora de Combustibles, la cual se encarga de la distribución y comercialización del petróleo crudo y sus derivados; contando para ello con 5 muelles (Pt-1, PC-2, PC-3, Bayona y Frank País), además de tener oleoductos capaces de trasladar el combustible a los consumidores que así lo requieran. En el caso del petróleo crudo, es un líquido muy viscoso, el cual para trasladarlo, se hace necesario un calentamiento previo, el cual se logra, gracias a un generador de vapor. El mismo permite trasladar el vapor a 16 T/h por las líneas hacia los diferentes consumidores que lo necesitan, por lo que es muy importante mantener todas las medidas necesarias para que el proceso marche bien, pues de acuerdo con el desarrollo energético del país, el ahorro de energía es importante para el trabajo eficiente de la misma, por lo que deben conocerse si sus indicadores cumplen con los parámetros establecidos.

En reiteradas ocasiones se han detectado irregularidades en los parámetros que se controlan para el buen funcionamiento del generador de vapor, esto incide a que se tengan que realizar limpiezas químicas con más regularidad, las cuales son muy costosas y afectan al equipo, haciéndose necesario realizar un estudio de todo el proceso de generación de vapor, por lo que se determina la siguiente problemática a tratar.

PROBLEMA.

Existe inestabilidad en el proceso de producción de vapor que provoca desviaciones en los indicadores de consumo más importantes.

HIPOTESIS.

Si se realiza una evaluación general del proceso de producción de vapor, podrían identificarse los parámetros y las causas que provocan éstas desviaciones.

OBJETIVO GENERAL.

Realizar la evaluación general del proceso de generación de vapor.

TAREAS.

- Realizar un análisis estadístico del comportamiento de los indicadores de consumo.
- Determinación de las causas que provocan los incumplimientos.
- Efectuar un balance de materia y energía en el generador de vapor.
- Estudio de las redes de condensado.
- Análisis económico que permita comparar los resultados de la empresa antes y después de la inversión.

Capítulo 1. Revisión Bibliográfica.

1.1 Componentes de un sistema de vapor.

1. Generador de vapor (caldera) y sus auxiliares.
2. Tuberías de vapor.
3. Válvulas de regulación.
4. Equipos consumidores.
 - Motores Primarios: Máquinas de Vapor, Turbinas.
 - Equipos de Proceso: Intercambiadores, Evaporadores, Secadores, Reactores, Trampas de Vapor, sellos barométricos, controles de nivel.
6. Sistema de condensado: Tuberías, Tanques, Bombas.
7. Sistema de agua de alimentación: Tanques, Bomba, Calentadores.
8. Sistema de tratamiento de agua.
9. Instrumentación y sistemas de control.

(Borroto, A. 2007)

1.2 Generadores de Vapor.

La energía térmica para usos industriales se puede obtener a partir de varias fuentes, aunque en la mayoría de los casos, se obtiene a partir de la energía química liberada en forma de calor por los combustibles, al quemarse en los hogares de los generadores de vapor. De ahí la importancia que tiene la correcta explotación de estos equipos, logrando una operación óptima y eficiente.

Un generador de vapor es un conjunto de equipos y agregados auxiliares, integrados en un esquema tecnológico con el objetivo de producir vapor a partir de agua de alimentación, para lo cual utilizan energía proveniente de una fuente de calor. La fuente de calor puede ser de combustión, que son los generadores de vapor convencionales, calor residual o gases de escape, que son las calderas recuperadoras, fisión nuclear: que son los generadores de vapor de centrales nucleares. **(Borroto, A. 2007).**

Afirmando el criterio del autor Borroto, A. 2007, no puede dejarse de mencionar, que en el caso del generador de vapor, del cual, abordaremos este trabajo diploma, es de combustión del tipo convencional.

1.2.1 Requerimientos que debe cumplir un generador de vapor.

Satisfacer demanda de vapor: flujo, presión, temperatura, calidad (producción de potencia, calor, requerimientos de proceso). Eficiencia térmica: mantenerla en el rango de carga. Confiabilidad: alta disponibilidad. Costo: inicial, operación, mantenimiento y reparación. Impacto ambiental: límites de emisiones. **(Borroto, A. 2007)**

Estos requerimientos, expuestos por el autor Borroto, A. 2007, son de vital importancia su puesta en práctica, ya que, con el control de sus parámetros fundamentales, no solo se logra un mejor funcionamiento de la caldera, con menos contaminación ambiental, sino además, contribuye, a que su mantenimiento sea cuando lo requiera, según lo planificado, y no por roturas; evitando así un gasto superior al esperado.

1.3 El agua como sustancia de trabajo en el proceso de generación de Vapor.

Salvo cuando 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. **(Borroto, A. 2007)**

Características del Agua.

El agua pura no tiene olor, ni sabor. Su fórmula química es H₂O dos partes de hidrógeno una parte de oxígeno. En la mayoría de las aplicaciones nunca encontramos agua absolutamente pura, ya que una de las características sobresalientes del agua es la capacidad para disolver, en mayor o menor grado, todo aquel material con el que se hace contacto.

Si el agua que se utiliza con fines industriales se ajustara al término de “agua pura”, no haría falta ningún tipo de tratamiento de agua. Desafortunadamente, todas las aguas naturales contienen diferentes impurezas, materia disuelta o en suspensión, las cuales se hace necesario eliminar parcial o totalmente, a fin de que el agua se pueda utilizar en los procesos industriales.

Las principales impurezas de las aguas naturales se pueden clasificar en tres grupos:

1. Materias disueltas (cationes y aniones).
2. Materias en suspensión (no iónicas).
3. Gases disueltos.

En el primer grupo encontramos las sales de calcio, magnesio, sodio. En el segundo grupo tenemos cualquier elemento que causa turbidez en el agua, por lo general algún tipo de lodo. En el tercer grupo está el oxígeno, el bióxido de carbono y el amoníaco.

Las clases de agua corrientemente utilizadas con fines industriales, son las aguas superficiales (lagos y ríos) y las aguas subterráneas (pozos). Estas dos clases de agua pueden ser muy diferentes en cuanto a la proporción y cantidad de impurezas presentes. Las aguas superficiales son por lo general más altas en sólidos en suspensión y más bajas en sólidos disueltos que las aguas de pozo.

El sistema de tratamiento requerido para eliminar o disminuir impurezas se escogerá basado en las características del agua que se va a utilizar, debiendo también tomar en cuenta las condiciones de operación de cada caso en particular. **(VAPENSA. 2008).**

1.3.1 Tratamiento que se le realizan al agua de los generadores de vapor.

Tratamiento Externo: Es el tratamiento del agua para cierta aplicación antes de que la misma llegue al punto de utilización.

En términos generales, el propósito del tratamiento externo es reducir la dureza del agua causada por la presencia de calcio y magnesio, eliminar el oxígeno disuelto y los sólidos en suspensión (turbidez). La cantidad y tipo de equipo a emplearse, variará de acuerdo con la aplicación del agua y con las características de la misma. Clarificadores, filtros, ablandadores y desaeradores, son piezas esenciales en el tratamiento externo.

Tratamiento Interno: Es el tratamiento dado al agua en el punto mismo de su utilización.

El tratamiento del agua en su punto de utilización, es particularmente importante en sistemas de calderas (generación de vapor) en los cuales el agua de alimentación debería ser siempre de una calidad estable.

En sistemas de calderas, el tratamiento interno tiene como propósito evitar la formación de incrustaciones, contrarrestar la acción corrosiva del agua y mantener la pureza del vapor. Parte muy importante del tratamiento interno son los controles de operación que se establecen para mantener la constancia del trabajo diario sin interrupciones. **(VAPENSA. 2008).**

1.3.2 Problemas derivados por utilización del agua en los generadores de vapor.

Los problemas más frecuentes presentados en calderas pueden dividirse en dos grandes grupos: problemas de corrosión y problemas de incrustación y, aunque menos frecuente, suelen presentarse ocasionalmente, problemas de ensuciamiento u contaminación.

A continuación, se describirá brevemente las principales características de los ítems mencionados anteriormente:

Corrosión: Para que esta aparezca, es necesario que exista presencia de agua en forma líquida, el vapor seco con presencia de oxígeno, no es corrosivo, pero los condensados formados en un sistema de esta naturaleza son muy corrosivos.

En las líneas de vapor y condensado, se produce el ataque corrosivo más intenso en las zonas donde se acumula agua condensada. La corrosión que produce el oxígeno, suele ser severa, debido a la entrada de aire al sistema, a bajo valor de pH, el bióxido de carbono abarca por si mismo los metales del sistema y acelera la velocidad de la corrosión del oxígeno disuelto cuando se encuentra presente en el oxígeno.

El oxígeno disuelto ataca las tuberías de acero al carbono formando montículos o tubérculos, bajo los cuales se encuentra una cavidad o celda de corrosión activa: esto suele tener una coloración negra, formada por un óxido ferroso- férrico hidratado.

Otra forma frecuente de corrosión, suele ser por una reacción electroquímica, en la que una corriente circula, debido a una diferencia de potencial existente en la superficie metálica. Los metales se disuelven en el área de más bajo potencial, para dar iones y liberar electrones.

Incrustación: La formación de incrustaciones en el interior de las calderas suelen verse con mayor frecuencia que lo estimado conveniente.

El origen de las mismas está dado por las sales presentes en las aguas de aporte a los generadores de vapor, las incrustaciones formadas son inconvenientes debido a que poseen una conductividad térmica muy baja y se forman con mucha rapidez en los puntos de mayor transferencia de temperatura.

Por esto, las calderas incrustadas requieren un mayor gradiente térmico entre el agua y la pared metálica que las calderas con las paredes limpias.

Otro tema importante que debe ser considerado, es la falla de los tubos, ocasionadas por sobrecalentamientos debido a la presencia de depósitos, lo que dada su naturaleza, aíslan el

metal del agua que los rodea pudiendo así sobrevenir desgarros o roturas en los tubos de la unidad con los perjuicios que ello ocasiona.

Las sustancias formadoras de incrustaciones son principalmente el carbonato de calcio, hidróxido de magnesio, sulfato de calcio y sílice, esto se debe a la baja solubilidad que presentan estas sales y algunas de ellas como es el caso del sulfato de calcio, decrece con el aumento de la temperatura. Estas incrustaciones forman depósitos duros muy adherentes, difíciles de remover, algunas de las causas más frecuentes de este fenómeno son las siguientes: excesiva concentración de sales en el interior de la unidad, el vapor o condensado tienen algún tipo de contaminación, transporte de productos de corrosión a zonas favorables para su precipitación, aplicación inapropiada de productos químicos.

Ensuciamiento por contaminación: Se consideran en este rubro como contaminante, distintas grasas, aceites y algunos hidrocarburos, ya que este tipo de contaminación son las más frecuentes vistas en la industria.

Dependiendo de la cantidad y característica de los contaminantes existentes en el agua de aporte a caldera, la misma generará en su interior depósitos, formación de espuma con su consecuente arrastre de agua concentrada de caldera a la línea de vapor y condensado, siendo la misma causante de la formación de incrustaciones y depósitos en la sección post-caldera.

La formación de espuma, suele ocurrir por dos mecanismos, uno de ellos es el aumento del tenor de sólidos disueltos en el interior de la unidad, los que sobrepasan los límites aceptados de trabajo, la presencia de algunos tipos de grasas y/o aceites (como ácidos orgánicos) producen una saponificación de las mismas dada la alcalinidad, temperatura y presión existentes en el interior de la caldera.

La contaminación por hidrocarburos agrega a lo visto la formación de un film aislante dificultando la transferencia térmica entre los tubos y el agua del interior de la unidad, agravándose esto con las características adherentes de este film que facilita y promueve la formación de incrustaciones y la formación de corrosión bajo depósito, proceso que generalmente sigue al de formación de depósitos sobre las partes metálicas de una caldera.

Luego de un tiempo, las características físicas del film formado cambian debido a la acción de la temperatura que reciben a través de las paredes metálicas del sistema, lo que hace que el mismo sufra un endurecimiento y coquificación, siendo este difícil de remover por procedimientos químicos simples. **(Ángel, M. 2005).**

1.3.3 Aditivos que se le añaden al agua de caldera para mejorar sus propiedades.

Descripción General del VAPEN 220:

Es un producto neutralizante formulado en base de aminas volátiles que evitan la corrosión de las líneas de conducción de vapor y retorno de condensados causadas por el ácido carbónico.

Uno de los problemas que se presenta cuando no se tratan los condensados es la acidez que se produce cuando de bióxido de carbono se disuelve en ellos formando ácido carbónico que ataca las tuberías y las corroe. Las aminas volátiles se condensan junto al vapor y neutralizan el ácido carbónico protegiendo de esta manera el metal.

Propiedades Físicas.

Apariencia	Líquido transparente
Color	incoloro
pH al 1%	10.50
Gravedad Específica	1.0 ± 0.02
Toxicidad	Ligeramente tóxico
Solubilidad	Completa
Punto de Inflamación	Ninguno (disolución acuosa)

Dosificación: Nuestro ingeniero de servicio determinará la dosis a utilizar una vez evaluado el sistema a tratar.

Forma de uso: Se debe aplicar en forma continua utilizando preferiblemente una bomba dosificadora. VAPEN 220 se debe añadir en cantidad suficiente para mantener el pH del condensado entre 7.5-8.5.

Este aditivo no debe exceder 62.5 ppm de producto en vapor que entre en contacto con alimentos y no debe usarse en el proceso de leche o productos lácteos.

Descripción General del VAPEN 300:

Es un tratamiento integral, contra la corrosión y formación de incrustaciones en calderas, formulado en base de polifosfatos, sulfito de sodio, secuestrantes, antiespumantes, inhibidores de fragilidad cáustica y poliacrilatos de bajo peso molecular para el control de depósitos calcáreos.

Los polifosfatos formarán películas en las superficies del metal, estas películas protegerán eficazmente el metal expuesto, al contacto con el agua, de la corrosión en el sistema de recirculación. El sulfito de sodio evita la corrosión al secuestrar el oxígeno disuelto. Los agentes quelantes (EDTA) reaccionan rápidamente con los iones metálicos bivalentes (Ca, Mg, Fe, etc.) para formar iones complejos solubles en agua. Además, si hay incrustaciones ayuda a removerlas convirtiendo las sales de calcio insolubles en iones complejos solubles resultando en una lenta disolución de las incrustaciones. Los antiespumantes reducen la formación de espuma evitando arrastres que contaminan el vapor. Los inhibidores de fragilidad cáustica evitan la cristalización del metal debido al continuo contacto con pH alcalinos. Los terpolímeros dispersantes ayudan a evitar la precipitación de sales de calcio por sobresaturación, lo cual permite mayor flexibilidad en cuanto a control de pH, ya que el dispersante ayuda a tolerar un índice de saturación por encima de la normal.

Propiedades Físicas.

Apariencia	Líquido transparente
Color	Amarillo pálido
pH al 1%	11.0
Gravedad Específica	1.10 + 0.02

Dosificación: Nuestro ingeniero de servicio determinará la dosis a utilizar una vez evaluado el sistema a tratar.

Forma de Uso: Se debe aplicar en forma continua a la caldera utilizando de preferencia una bomba dosificadora. **(VAPENSA. 2008).**

Existen distintos tipos de aditivos, pero solo se hace referencia al: VAPEN 220 y 300, según el Manual de Tratamiento de Agua. VAPENSA. 2008, por ser los que se le añaden diariamente al agua de condensado de la caldera de la Empresa Comercializadora de Combustibles Matanzas. La elección para el uso de estos aditivos se debe, a que ambos cumplen, para su aplicación, con las propiedades del generador de vapor que se aborda.

1.3.4 Razones básicas por las que se utiliza el agua preferentemente como fluido portador de calor sobre otros fluidos.

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, inflamable, ni corrosiva.

(Borroto, A. 2007)

1.4 Causas principales por las que se emplea el agua en fase vapor, en preferencia a la fase líquida.

- 1 El contenido energético del vapor es muy superior al del líquido a igualdad de masa, temperatura y presión.
- 2 El vapor se auto-transporta sin necesidad de equipos de bombeo, aunque sobre la base de consumir parte de la energía aportada por el combustible para vencer la resistencia de las tuberías.
- 3 El vapor en condensación permite alcanzar mayores coeficientes de transferencia de calor y un mejor control de la temperatura en los procesos. Resulta más fácil satisfacer demandas de energía térmica a diferentes temperaturas. (Borroto, A. 2007)

1.5 Criterios de diseño y selección de generadores de vapor.

Cuando se desea diseñar o seleccionar un generador de vapor para satisfacer determinado servicio deben tomarse en cuenta los siguientes elementos:

1. Combustible:

- Fuentes presentes y futuras, costo, composición, características, parámetros límites.

2. Demanda de vapor.

- Flujo de vapor: máximo, mínimo, curvas de demanda, razón de variación.
- Presión de vapor: transporte y uso.
- Temperatura de vapor: nominal y rango de control.
- Calidad de vapor: límites de impurezas.

3. Agua de alimentación.

- Fuente y calidad.
- Temperatura.

4. Regulaciones sobre emisiones al medio ambiente.

- Gases de combustión: partículas, SO₂, NO₂.
- Desechos sólidos.
- Aguas residuales: planta de tratamiento de agua, lavado.

5. Personal de operación y mantenimiento.

- Nivel técnico y experiencia.
- Costo de la mano de obra.

6. Equipos auxiliares.

- Interrelación con la planta.
- Costo de la energía para auxiliares.

7. Garantías y bases de evaluación.

- Para una carga y combustible dados.
- Eficiencia.
- Temperatura de vapor sobrecalentado (recalentado).
- Caída de presión domo y salida sobrecalentador.
- Resistencia total en conductos de aire y gases.
- Calidad del vapor.
- Capacidad.
- Rangos de control de la temperatura del vapor.
- Consumo de potencia en auxiliares.
- Emisiones al medio.

8. Otras consideraciones: de localización, espacio, acceso, etc. Relación del nuevo

equipamiento con otras calderas e instalaciones existentes. Características del terreno, resistencia al viento, etc. **(Borroto, A. 2007)**

1.6 Clasificación, componentes y principios del funcionamiento de los generadores de vapor.

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.
 - De tubos de agua (acuotubulares). Son generadores de vapor, medianos y grandes. En ellos el agua circula por dentro de los tubos mientras que los gases están por fuera.
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: $D < 20\ 000\ \text{kg/h}$. Presión: $P < 2,0\ \text{MPa}$.
 - 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, pequeños y medianos.
- De tubos curvos. La flusería está compuesta por tubos curvos con diferentes formas. Son generadores de vapor, medianos y grandes.

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.

(Borroto, A. 2007)

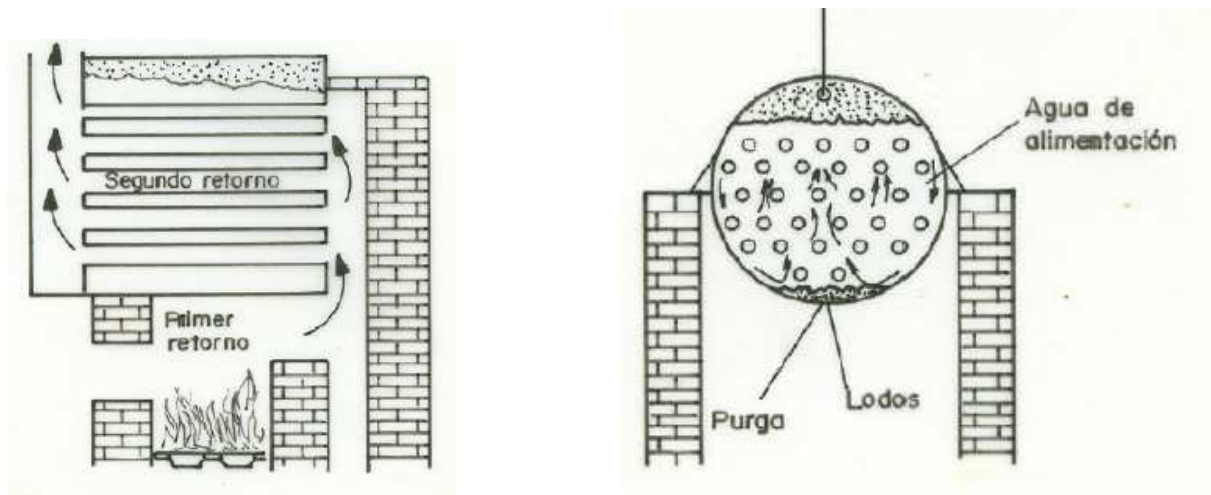
Atendiendo a la clasificación, componentes y principios del funcionamiento de los generadores de vapor, según Borroto, A. 2007, se puede mencionar que la caldera de la Empresa Comercializadora de Combustibles de Matanzas, de acuerdo a la disposición del fluido en los tubos: es pirotubular (de tubos de fuego) se encuentra, para su empleo, de modo estacionario, de acuerdo con su tamaño, es un generador de vapor pequeño, por tener 1,01 MPa de presión aproximadamente, referido a la forma y posición de los tubos, es de tubos rectos horizontales; considerando el sistema de circulación de la sustancia de trabajo, es de circulación continua; el combustible que se utiliza es líquido y el tiro de gases es mecánico.

1.6.1 Descripción y principio del funcionamiento de las calderas pirotubulares.

Las calderas pirotubulares producen vapor para la industria desde hace más de 150 años. Las primeras calderas construidas eran simples recipientes cilíndricos remachados y hermetizados con las correspondientes tuberías de suministro de agua y extracción de vapor, las cuales contaban con un calentamiento externo por su parte inferior a partir de la combustión de carbón ó leña, acumulándose en la parte superior de este recipiente el vapor generado.

Con el tiempo se comprendió que si se incrementaba la superficie de transferencia de calor, se incrementaría su generación. Esto se hizo colocando tubos dentro del recipiente, por los cuales circulaban los gases calientes; de esta forma se originó la caldera de tubos de fuego.

La construcción general de la caldera de tubos de fuego no es otra que un casco metálico de forma cilíndrica, en cuyos extremos se han colocado para su cierre, placas conocidas como espejos. Colocados dentro del cilindro y yendo de espejo a espejo están los tubos, los cuales se fijan mediante mandrilado o soldadura; por dentro de estos tubos circulan los gases calientes.



a) Circulación de los gases

b) Circulación del agua.

Fig. No 1.1. Caldera de tubos de fuego. Tipo HRT.

El desarrollo técnico trajo como consecuencia la necesidad de incrementar la presión de trabajo y alcanzar mayores capacidades, usando para su construcción materiales más resistentes como el acero.

La evolución de las calderas de tubos de fuego en sus inicios estuvo marcada por la tendencia hacia la disminución en el diámetro de los tubos de humo, buscando incrementar la velocidad de los gases y el área de transferencia de calor, haciendo la caldera más compacta. En sus inicios el fogón estaba colocado en la parte exterior de la caldera debajo de ésta, de manera que la caldera recibía calor de la llama directa proveniente del fogón y los gases calientes mediante el uso de cámaras de inversión se hacían pasar a través de uno ó varios pases convectivos. Posteriormente surgió el diseño con el fogón integrado dentro del casco, formado por un tubo cilíndrico y liso, soportado en los espejos de la caldera, denominado caldera escocesa.

La caldera Escocesa (véase la Fig. No 1.2) es la caldera de tubos de fuego que se ha impuesto y en la actualidad es muy utilizada en pequeñas empresas industriales y centros donde se requiera la generación de pequeñas cantidades de vapor. Esta caldera es construida de forma compacta, de tal manera que para su puesta en servicio sólo se requiere la construcción de una simple cimentación y su interconexión con el sistema.

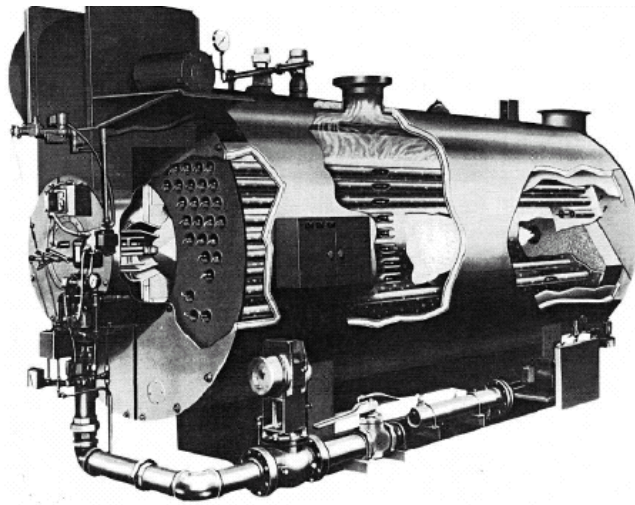


Figura No 1.2. Caldera Pirotubular Tipo Escocesa.

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:

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

(Borroto, A. 2007)

1.7 Requisitos para declarar una sala de generadores de vapor eficiente.

1. El operador de la caldera deberá estar recalificado y con el certificado correspondiente.
2. Combustión correcta y eficiente del combustible con los siguientes parámetros:
 - a-) índice de Bacará 3 ó 4.
 - b-) Contenido de CO_2 $>12\%$.
 - c-) Contenido de O_2 $< 5\%$.
 - d-) Humo gris pardo por la chimenea.
3. Cumplir con el régimen de tratamiento de agua teniendo los parámetros exigidos por el

fabricante.

4. Tener la instrumentación completa y en buen estado (con el sello apto para su uso).
 - Manómetro de Vapor de presión en Caldera, colector distribuidor y consumidores.
 - Manómetro de presión de Combustibles.
 - Manómetro de agua de alimentación.
 - Termómetro de temperatura de Combustible.
 - Termómetro de temperatura de gases de salida.
 - Termómetro de temperatura de agua de alimentación.
 - Termómetro de temperatura de aire caliente.
 - Termómetro de temperatura del vapor sobrecalentado.
5. Dispositivos de seguridad en buen estado y funcionando.
6. Tener instalado y funcionando el emulsor.
7. Tener instalado y funcionando el magnetizador.
8. No tener salideros y derrames de combustibles en todo el sistema.
9. No tener salideros innecesarios de vapor y agua caliente en todos los sistemas energéticos.
10. Aislamiento térmico adecuado en todas las líneas de fluidos calientes.
11. Tener el sistema de recuperación de condensado en buen estado técnico y funcionando.
12. Tener el libro de Control e Incidencias actualizado.
13. Tener el libro de Control de Operación actualizado.
14. Cumplir con las etapas de Mantenimiento, llevando el control de los mismos.
15. Mantener el área limpia y libre de objetos ajenos a la operación y funcionamiento.

(Destacamento de Calderas. 2005)

El generador de vapor de la Empresa Comercializadora de Combustibles de Matanzas, se rige por los requisitos expuestos por el Destacamento de Calderas. 2005.

1.7.1 Eficiencia de los generadores de vapor.

Existen algunas diferencias para calcular la eficiencia de los generadores de vapor, las cuales pueden significar “eficiencia térmica”, la cual no toma en consideración las pérdidas por radiación ni las pérdidas convectivas, o la eficiencia “combustible-vapor”, la cual sí toma en consideración las pérdidas mencionadas anteriormente. Por lo tanto, la eficiencia “combustible-vapor” es una indicación real de la eficiencia general de la caldera. La eficiencia combustible-vapor puede calcularse utilizando el Método de Aporte-Capacidad del Método de Pérdida de Calor.

El Método Aporte-Capacidad se calcula dividiendo la capacidad de la caldera (en unidades de energía) por el aporte de combustible a la caldera (en unidades de energía). El Método de Pérdida de Energía resta las pérdidas experimentadas a través de la chimenea y las pérdidas por radiación y convectivas, así como también por la purga.

En resumen, la eficiencia de las calderas se calcula de la misma manera que la eficiencia de los calentadores, con el término adicional de pérdida de energía, para tomar en consideración la purga.

La eficiencia η (%) de un calentador se define como: $\eta = \text{Calor útil transferido} \cdot 100 / \text{Aporte de calor}$.

El aporte de calor es la cantidad de combustible, multiplicada por el calor de combustión. En la fórmula mencionada anteriormente, el calor útil transferido es la cantidad de calor transferido al fluido o al vapor de proceso, etc. También puede ser calor transferido al aire de combustión o al combustible. Esta cantidad es constante, independientemente del hecho si se utiliza el valor alto o el valor bajo de calentamiento. Por lo tanto, considerando que el valor alto de calentamiento es una cifra elevada, la eficiencia es menor que la eficiencia calculada utilizando el valor bajo de calentamiento.

En tanto se sea constante, cualquiera de los dos valores de calentamiento es apropiado. Sin embargo, puede presentarse un problema cuando se compara el desempeño real con el diseño, si la base del cálculo de la eficiencia de diseño no está establecida claramente.

El segundo problema con la fórmula de eficiencia de los calentadores consiste en que, con bastante frecuencia, es difícil calcular la cantidad de calor transferido al proceso. Este problema se presenta, en particular, cuando hay vaporización parcial en el calentador. Para calcular la cantidad de vaporización pueden utilizarse métodos manuales o programas computarizados de simulación pero, incluso con buenos datos de campo, el error es razonablemente grande.

Un método para eliminar esta fuente potencial de error consiste en modificar la ecuación, de manera que el calor útil transferido sea igual al aporte de calor, menos todas las pérdidas totales.

$$\text{Eficiencia (\%)} = (\text{Aporte de calor} - \text{Pérdidas totales}) / \text{Aporte de calor} * 100$$

Se recomienda calcular la eficiencia utilizando tanto el método de “calor útil transferido” como el método “pérdidas totales”. Los dos cálculos servirán como herramientas de verificación cruzada. La disponibilidad y la calidad de los datos de campo determinarán cuál estimación de eficiencia es más confiable.

Se recomienda especialmente que las instalaciones preparen hojas de cálculo de eficiencia, específicas del sitio, que listen los datos de campo y de laboratorio y el procedimiento de cálculo a seguir. Los procedimientos varían de nomogramas y gráficos, a cálculos estrictos por medio de paquetes computarizados de simulación. Las filosofías descritas en este documento proveen una base para estas hojas de cálculo. **(Franklin, N. 2000).**

1.8 Requisitos de Seguridad para la puesta en explotación de los generadores de vapor:

- La primera puesta en explotación de la sala de calderas o de la caldera se realizará con la autorización de las entidades correspondientes según la legislación vigente y los Organismos Recolectores de la Protección e Higiene del Trabajo.
- Las siguientes puestas en explotación de la caldera se realizarán por el responsable de calderas.
- La operación de la caldera sólo se realizará bajo el control de un operador calificado y ésta se operará y mantendrá de acuerdo a lo establecido en las disposiciones legales vigentes para la explotación y las regulaciones dispuestas por la empresa donde se encuentra la caldera.
- Las interrupciones y deficiencias serán informadas por el operador al responsable de la sala de calderas.
- Existirá un libro, en el que se registrará por el responsable de la sala, los trabajos de mantenimiento, limpieza y reparación.
- La comprobación y puesta en funcionamiento de los dispositivos e instrumentos de medición, control y seguridad se realizará solamente por trabajadores autorizados para este tipo de trabajo. **(NC 19-03-20. 1984).**

1.9 Control del gas de chimenea.

El gas de chimenea de cada calentador y cada caldera debe ser sometido a prueba con la mayor frecuencia posible. Muchos calentadores tienen analizadores de oxígeno u controles en la chimenea. Éstos deben ser controlados regularmente. Cuanto mayor el tiro (mayor la presión negativa) mayor el ingreso de aire, a través de fugas y otras aberturas, en el calentador. Por esta razón, sugerimos muestrear el gas de la combustión lo más cerca posible de la caja de combustión. (La presión más alta (menor tiro) se registra en el arco, o en la entrada de la sección de convección. Si la muestra se toma en el arco, la probeta debe ser de óxido de circonio, ya que la temperatura normalmente está en el rango de 1,400-1,800°F). Evitar tomar la muestra cerca, o corriente abajo, de un ventilador de tiro inducido, ya que la succión del ventilador tiene muy baja presión (es decir, tasas potencialmente altas de ingreso de aire).

Los análisis del gas de la combustión pueden realizarse utilizando diversos equipos, tales como cromatógrafos, aparato ORSAT, y analizadores Bacharach (Fyrite). Estos dispositivos varían en lo que se refiere a su sofisticación. Algunos pueden medir un sólo gas (algunos analizadores Fyrite miden el oxígeno y otros miden el anhídrido carbónico) mientras que otros, tales como el aparato ORSAT, pueden medir el oxígeno, el monóxido de carbono y el anhídrido carbónico. Cualquiera sea el dispositivo utilizado, su precisión debe ser confirmada regularmente por medio de pruebas estándares.

Para proteger al calentador/caldera de una situación insegura, también se instalan analizadores para gases combustibles (hidrocarburos, hidrógeno y monóxido de carbono) en la chimenea del gas de la combustión. La lectura de este instrumento se utiliza para omitir la lectura del analizador de oxígeno.

Se debe calcular la eficiencia de cada calentador y caldera, por lo menos, semanalmente. Esto puede hacerse por medio de tablas, gráficos, nomogramas u hojas de datos. Para una mejor comprensión del desempeño del calentador, debe llevarse registro de la eficiencia en el tiempo. Deben observarse los parámetros operativos clave, de manera que puedan determinarse las causas de oscilaciones en la eficiencia. Las lecturas del oxígeno y la temperatura de salida del gas de chimenea deben ser reportadas, por lo menos, diariamente, preferiblemente en cada turno.

La eficiencia de las calderas es, primariamente, una función de la tasa de exceso de aire y la temperatura de salida del gas de la combustión. Otros factores incluyen la temperatura del aire ambiente y las condiciones del combustible. Recomendamos que el control del desempeño del calentador incluya el registro simultáneo del análisis del gas de la combustión y la temperatura de

salida de la chimenea, así como también las condiciones ambientales. Es preferible que el análisis del combustible y la temperatura del combustible sean registrados aproximadamente al mismo tiempo que el control de la chimenea.

Otra variable importante para controlar es el perfil de tiro a través del calentador y el ducto. Esto es especialmente necesario si se sospecha si la caldera no funciona bien. Cuando se realice un estudio del tiro, registrar la posición del regulador de tiro y la condición de cualquier equipo presente en la chimenea, corriente abajo de la sección de convección. Asegurarse de que los medidores del tiro funcionen apropiadamente y que las líneas del instrumento, no estén obstaculizadas.

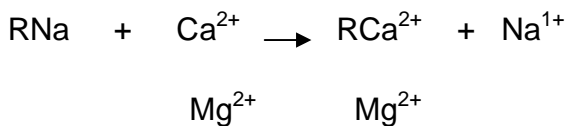
Se recomiendan estudios más intensivos, tales como la termografía y el análisis de los gases presentes en la caja de combustión, si el calentador opera ineficientemente y las prácticas normales no producen el efecto deseado. Estos estudios también son requeridos si se planifican mejoras a la capacidad del calentador. **(Franklin, N. 2000).**

Según lo expuesto por Franklin, N. 2000, se puede afirmar que es de gran importancia el control del gas de chimenea, ya que se puede considerar la principal fuente de contaminación del medio ambiente, tanto por los gases contaminantes que se emiten, como por las altas temperaturas de éstos.

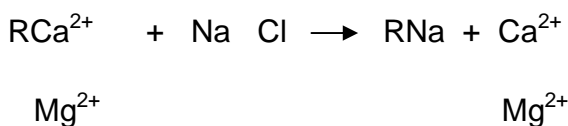
Capítulo 2. Materiales y Métodos.

2.1 Descripción del Proceso de Obtención de Vapor. (Ver diagrama en el anexo No 12).

El agua cruda es bombeada desde una cisterna hasta los suavizadores (1 en funcionamiento y el otro de reserva), en estos suavizadores ocurre el proceso de tratamiento de agua mediante intercambio iónico pues cada suavizador contiene una resina de intercambio (de Na), el agua cruda intercambia con la resina (Wofatit SBW) los iones Ca y Mg por el catión Na.



Cuando la resina se agota, es necesario regenerarla haciéndole pasar una corriente de Na Cl, ocurriendo entonces el proceso inverso:



El agua que sale del suavizador tiene una dureza de 0 (contenido de Calcio y Magnesio) y es almacenada en un tanque de agua tratada, mediante una bomba con control automático se envía el agua a un tanque de alimentación que suministra el agua directamente a la caldera junto con esa agua se adicionan 2 productos químicos (VAPEN 220 y 300) cuya función es regular los parámetros del agua de la caldera.

Existe a su vez otro sistema de suministro de petróleo a la caldera que consiste en un intercambiador de calor por el cual pasa el petróleo procedente de los tanques de almacenamiento (T-320 y T-29), donde en este intercambiador se eleva la temperatura del combustible hasta 70 °C, el cual se almacena en un tanque cilíndrico horizontal, de ahí se bombea directamente a la caldera, pasando por un precalentador que eleva la temperatura del combustible de 110°C a 120°C.

En el interior de la caldera la energía química contenida en el combustible se convierte en energía calorífica se transmite a través de las paredes del hogar de la caldera hasta el agua. Mediante la adición de esta energía calorífica la temperatura del agua aumenta y cuando alcanza el punto de saturación hierve: generándose entonces el vapor.

El vapor es utilizado por los distintos consumidores de la Empresa y retorna el condensado a un tanque colector que alimenta al tanque de alimentación interna de la caldera. **(Ruiz, C. 2005).**

2.1.1 Análisis Fenomenológico a los equipos del proceso de generación de vapor de la caldera.

1. Cisterna: No hay Operación Unitaria. Su función es almacenar el agua.
2. Suavizadores: Ocurre Fenómeno Químico de intercambio iónico.
3. Tanque de Agua tratada: No hay Operación Unitaria. Su función es almacenar el agua.
4. Alimentación de la Caldera: Ocurre Reacción Química por la dosificación de aditivos químicos como sulfito que es para eliminar el oxígeno disuelto y el fosfato que es para eliminar los restos de Ca y Mg, que pueden quedar en el agua.
5. Tanque de Almacenamiento de Petróleo: No hay Operación Unitaria. Su función es almacenar el combustible.
6. Intercambiador de Calor: Ocurre el fenómeno Físico de transferencia de calor por el intercambio de calor entre el petróleo y el vapor con un aumento de temperatura hasta 70 °C.
7. Tanque de Almacenamiento de Petróleo: No hay Operación Unitaria.
8. Tanque de Alimentación de Combustible: Hay fenómeno físico pues aumenta la temperatura (por serpentines) hasta 80 °C.
9. Precalentador: Ocurre fenómeno físico, pues aumenta la temperatura de 110 a 120°C.
10. Caldera: Ocurre reacciones químicas y físicas.

Fenómeno Químico: Hay \longrightarrow combustión del petróleo.

Petróleo + Oxígeno Gases de combustión

Fenómeno Físico: Hay calentamiento del agua (de 80 °C a 100°C) = calor sensible.

Hay cambio de estado del agua (de líquido a vapor) = calor latente.

11. Consumidores de Vapor: Intercambiadores de la 1-1, Intercambiadores de la 2-1 y serpentines de tanques 38, 27, 28,15, 8 y 6.

2.2 Estudios realizados al agua de caldera.

Con el objetivo de identificar cuales parámetros del agua de caldera cumplían con los valores señalados en la carta tecnológica y frecuencia analítica del régimen químico (2008), se le realizaron al agua de condensado: análisis de pH, Alcalinidad Total, Dureza Total y Conductividad, de forma diaria. Además, a través del Balance Energético mensual que se realiza con el objetivo de controlar los consumos de agua, combustible, electricidad, vapor y Na Cl, se pudieron tomar datos de valores mensuales para identificar así, cuál de estos consumos se encontraba fuera de los parámetros establecidos.

A cada una de las variables durante el 2008 se sometió a un análisis estadístico. Para el procesamiento de los datos se utilizará el paquete estadístico Statgraphic Plus 5, y los datos a procesar se pueden ver en el anexo No 1 y anexo No 4.

Se comprobó primeramente, si los valores seguían la distribución normal para cada una de las variables, demostrando así la validez de los datos. Posteriormente, se realizó una prueba de Hipótesis a cada una de las variables, comparando los valores promedios, con el valor presentado en la carta tecnológica.

Para la obtención de esta data de valores de la caldera se utilizaron distintos métodos de ensayos, a los cuales haremos referencia a continuación.

2.2.1 Caracterización de los distintos ensayos realizados al agua de caldera.

Al agua de la caldera de la Empresa Comercializadora de Combustibles Matanzas se le realizaron una serie de ensayos para determinar que parámetros en los mismos se encontraban fuera de Control. Estos ensayos se rigieron por el Manual de: **ALASTOR. 2005**, el cual indica todos los pasos a seguir para que el resultado fuera lo más certero posible, además de tener que cumplir la repetitividad y reproducibilidad de éstos.

El laboratorio de ensayos de la Empresa Comercializadora de Combustibles, donde se realizaron los análisis, tiene implantado el Sistema de Gestión de la Calidad y se encuentra acreditado por la norma **NC ISO/IEC 17025:2006**.

2.2 Análisis realizados al agua de caldera.

- **Análisis de pH:** Se realizó por el método potenciómetro con el empleo del peachímetro, marca Metter Toledo y modelo D 650. El electrodo a utilizar es de vidrio.
- **Conductividad:** Se utiliza el método potenciométrico con el empleo de un conductímetro BASIC 30. El electrodo que presenta es de 1.052 cm^{-1} .
- **Dureza Total:** Se realiza por el método volumétrico por complexometría con el empleo de Etilen Diamino Tetra Acético (EDTA).
- **Alcalinidad a la M (Alcalinidad Total):** Se realiza por el método volumétrico por neutralización. Con utilización de ácido sulfúrico como agente neutralizante.

2.3 Cálculos de los índices de consumo de las materias primas.

2.3.1 Consumos de agua, combustible, Na Cl y electricidad.

Se pudieron obtener a partir de los Balances de masa que se realizan diariamente en los tanques de agua y combustible de la caldera para controlar sus consumos, y la data de valores de estos consumos que se encuentran en la tabla del anexo No 1, son referidos a los mensuales, por lo que se toman los 12 meses de año 2008.

La fórmula utilizada es la ecuación general del Balance de masa:

Existencia inicial (m^3) + entrada (m^3) – Existencia final (m^3) = Consumo (m^3).

La existencia inicial se conoce mediante la medición del tanque por nivel a las 6:00 am de cada día. La entrada es la cantidad de agua o petróleo que se recibe en el área. En el caso del agua se mide por flujómetro y el petróleo por diferencia de nivel en el tanque receptor. Para la determinación de la existencia final se miden los tanques de agua y petróleo cada vez que se termine una recepción. Con los niveles medidos de la forma anteriormente explicada, se busca en la tabla de cubicación del tanque el equivalente en m^3 .

La producción de vapor y el consumo de electricidad se miden por la lectura de los metros a las 6:00 am de cada día, de forma simultánea con las mediciones de crudo y agua.

El consumo de sal se calcula por la cantidad de sacos de Na Cl que se añaden al tanque de preparación de la solución regenerante (cada saco pesa 20 kg).

El índice de consumo de agua y combustible es el cociente de la cantidad de agua y crudo respectivamente entre la cantidad de vapor producido y se expresa en m^3/T .

El índice de consumo de Cloruro de Sodio se calcula dividiendo los kg de Na Cl entre las toneladas de vapor producido y se expresa en kg/T .

2.4 Análisis de los incumplimientos.

2.4.1 Diagrama causa - efecto.

Según (Valls, F. 2002) un diagrama causa - efecto es una técnica que muestra la relación entre una característica de calidad y los factores que la determinan. En su estructura básica se observan, por un lado las causa (factores) que provocan los efectos o características de calidad y por otro el efecto o característica de calidad analizada. Esta técnica se conoce, además con el nombre referido, con el de diagrama de espina de pescado (por su estructura). De la buena elaboración de un diagrama causa - efecto depende su utilidad posterior. A continuación se recoge una serie de etapas que son básicas en el proceso que ocupa. En primer lugar, es necesario definir el problema de calidad a analizar, identificar la característica efecto que lo mida, colocarla en un recuadro a la derecha y, a su izquierda, dibujar una flecha que finalice justo en el recuadro. A continuación se deben identificar los factores (causas) que determinan el efecto (Característica de calidad). En esta segunda etapa se utilizan varios métodos, entre los que cabe señalar los siguientes:

1. Método de expansión de grandes ramas.
2. Método de expansión de pequeñas ramas (*brainstorming*).
3. Método de expansión de pequeñas ramas (diagramas de afinidad).

En este trabajo se realizaron dos Diagramas Causa – Efecto de pequeñas ramas (diagramas de afinidad), uno para el elevado índice de consumo de agua (Anexo No 5) y el otro para el elevado índice de consumo de Na Cl (Anexo No 6), analizándose cada una de las causas que ocasionan el problema en cada caso, así como medidas para solucionar cada causa.

Para la confección de estos diagramas se realizaron una serie de pruebas y comprobaciones, así como una tormenta de ideas con personal especializado en la materia que incluye personal técnico, operadores de experiencia, y analistas del laboratorio.

Las pruebas realizadas tienen como objetivo la verificación de los métodos de cálculo de los consumos, así como la precisión de los sistemas de medición, como flujómetros, niveles y panel de control.

También se verificó el cumplimiento de las instrucciones de operación para la caldera y para el sistema de tratamiento de agua con vistas a detectar violaciones del régimen tecnológico por parte de los operadores, que pueden influir en el resultado final del proceso de producción de vapor.

2.4.2 Análisis del Sistema de retorno de condensado.

Se analiza el sistema de retorno de condensado, calculando los diámetros necesarios para cada tramo de tubería. Esto se realiza aplicando la ecuación de Bernoulli, en cada tramo correspondiente (ver esquema de retorno de condensado en el anexo No 15) para cada uno de los consumidores.

2.4.3 Metodología para el cálculo del diámetro de las tuberías de condensado: Se analiza el sistema de retorno de condensado, calculando los diámetros necesarios para cada tramo de tubería. Esto se realiza aplicando la ecuación de Bernoulli, en cada tramo correspondiente (ver esquema de retorno de condensado en el anexo No 15) para cada uno de los consumidores.

Para esto utilizaremos la ecuación de Bernoulli descrita en la página No 75, ecuación 4.30 según Mc Cabe, W. 1998.

- Como el diámetro en la tubería de cada tramo es el mismo, las velocidades son iguales y entonces se simplifican.
- Como no hay bomba de la bomba Hb se simplifica.
- Como Z₁ se toma como referencia se simplifica.

$$\frac{P_1}{\rho g} + \cancel{z_1} + \frac{\alpha_1 (v_1)^2}{2g} + \cancel{Hb} = \frac{P_2}{\rho g} + z_2 + \frac{\alpha_2 (v_2)^2}{2g} + \sum Hf \tag{Ecuac. 2.1}$$

En esta expresión todavía hay incógnitas que se deben calcular, como es el caso de la velocidad 1 que se calcula con la siguiente ecuación:

$$v_1 = \frac{q}{A} = \frac{4q}{\pi d^2}$$

Ecuac. 2.2

Luego se tiene que conocer el valor del Reynolds para saber como es el régimen y el valor de α , y

con este determinar el factor de fricción: $Re = \frac{vd}{\mu}$

Ecuac. 2.3

Como la viscosidad es cinemática, ya viene multiplicada por la densidad.

Las pérdidas por fricción se calculan por la siguiente ecuación:

$$\sum Hf = Hf_{tubería} + Hf_{accesorios}$$

Ecuac. 2.4

Para este cálculo se debe saber al cantidad de accesorios que hay en cada tramo y conocer el valor de K (Rosabal. 2006).

Codos de 90° (K = 0,75)

Codos de 45° (K = 0,35)

Válvulas de compuerta abierta (K = 0,17)

T (K = 0,4)

El factor de fricción se calcula por la siguiente expresión porque el flujo es turbulento.

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log\left(\frac{e/D}{3.7} + \frac{2.51}{Re \cdot \sqrt{f}}\right)$$

Ecuac. 2.5

Teniendo todo lo necesario para calcular las pérdidas se pasará a calcular por separado cada una de ellas:

Pérdidas en tuberías.

$$Hf_{tubería} = f \frac{Lv^2}{2gd}$$

Ecuac. 2.6

Pérdidas en los accesorios.

$$Hf_{\text{accesorios}} = \frac{\sum K_v^2}{2g} \quad \text{Ecuac. 2.7}$$

$$\sum Hf = Hf_{\text{tubería}} + Hf_{\text{accesorios}} \quad \text{Ecuac. 2.8}$$

Despejando en la ecuación de Bernoulli, se calcula P_2 en el otro extremo del tramo.

Si la presión en el punto 2 es inferior a la presión de la otra corriente el condensado no retorna y entonces se repiten los cálculos con otro diámetro, hasta lograr igualar las presiones. Este mismo método se aplica a todos los tramos, proponiéndose las modificaciones pertinentes.

2.4.4 Metodología para el cálculo del balance de masa y energía en la caldera.

Se realiza un balance de masa y energía en la caldera para, a partir de este, calcular la eficiencia de la caldera, así como las pérdidas de calor y valorar si están dentro del permisible.

Balance de masa: Para la realización del balance de masa y energía se determinaron los datos necesarios con un analizador de gases y se envió muestra del crudo y el agua al laboratorio. El resto de los datos se tomaron del panel de control de la caldera.

La ecuación general para realizar el balance de masa es la siguiente:

$$n \text{ (entra)} + n \text{ (genera)} - n \text{ (consume)} = n \text{ (sale)} \quad \text{Ecuac. 2.9}$$

De ella se desprenden todas las que aparecen a continuación.

$$m = F * x \quad \text{Ecuac. 2.10}$$

$$n = m / M \quad \text{Ecuac. 2.11}$$

$$\% \text{ exceso } O_2 = \frac{\text{Cdad. alim } O_2 - \text{Cdad. teor. } O_2}{\text{Cdad. teor } O_2} * 100 \quad \text{Ecuac. 2.12}$$

$$\text{Cdad. teor} = \text{Cdad. estq} - \overset{0}{\text{Cdad. que acomp.}} \quad \text{Ecuac. 2.13}$$

$$\% \text{ Conv} = \text{RL cons} / \text{RL alim} \quad \text{Ecuac. 2.14}$$

$$O_2 \text{ alim} * 79 \text{ kmol } N_2 / 21 \text{ kmol } O_2 = \text{kmol } N_2 \text{ (entran)} \quad \text{Ecuac. 2.15}$$

$$AS = O_2 + N_2 \quad \text{Ecuac. 2.16}$$

$Y_{\text{humedad absoluta}} = 0,0188 \text{ kg H}_2\text{O} / \text{Kg AS}$ (con T entrada agua y Y_R) Humedad Carta Psicométrica aire – agua a temperaturas medias. **(Perry.1958)**. Ecuac. 2.17

$$H_2O_{\text{entra aire}} = Y_{\text{humedad absoluta}} \times \text{kgAS} \quad \text{Ecuac. 2.18}$$

$$H_2O_{\text{entra total}} = H_2O_{\text{entra aire}} + H_2O_{\text{entra combustible}} \quad \text{Ecuac. 2.19}$$

El C, el H y el S consumido se determinan mediante la ecuación 2.20 y 2.21.

$$\% \text{Conv} = \frac{RL_{\text{cons}}}{RL_{\text{al}}} \quad \text{Ecuac. 2.20}$$

$$C_{\text{cons}} = \% \text{conv} \times C_{\text{alim}} \quad \text{Ecuac. 2.21}$$

Reacción I:

Para hallar el Oxígeno consumido se aplicó la ecuación siguiente para cada reacción.

$N_{O_2 \text{ consumido}} = \text{Reactivo Limitante} \times \text{conversión} \times \text{Rendimiento} \times \text{Relación Estequiométrica}$.

Ecuac. 2.22

$$O_2 (\text{consume Total}) = O_2 \text{ consume R.I} + O_2 \text{ consume R.II} + O_2 \text{ consume R.III} \quad \text{Ecuac. 2.23}$$

El H_2 consumido y S consumido al no salir ni generarse, son igual al que entra.

El O_2 consumido total es la suma del O_2 consumido en las 3 ecuaciones de las reacciones que ocurren en la caldera.

El CO_2 , H_2O y el SO_2 generados se obtienen por la relación estequiométrica de las reacciones.

El C y O_2 que salen son la resta del que entra menos el que se consume.

El H_2O que sale es la suma de la que entra más la que se genera.

El SO_2 y el CO_2 que salen son igual al que se genera.

El nitrógeno es inerte, por lo tanto el que entra es igual al que sale.

Balance de energía: Se calcula la eficiencia de la caldera por el método directo y el indirecto:

Las ecuaciones utilizadas para el balance de energía fueron:

Para hallar la eficiencia por el método directo:

$$Eb = \frac{Qu}{VCN \times Q_{pre-comb}} \times 100$$

Ecuac. 2.24

Donde:

Qu – Calor útil y se calcula mediante la ecuación 2.18 y 2.19.

$$Qu = Q_{\cancel{sobre\cancel{cal}}} + Q_{\cancel{recal}} + Q_{\cancel{extracc-vapor-sat}} + Q_{\cancel{purga}} + Q_{\cancel{adicional}}$$

Ecuac.2.25

$$Qu = Q_{\cancel{extracc-vapo-sat}} = Wv \times (H_v - H_L)$$

Ecuac. 2.26

$$Qu = Wv * (Hv_H - H_L) \quad Hv_H = Hv_S \quad (\text{diag. Moliere})$$

Ecuac. 2.27

$$Wv = \underline{\text{Flujo de Vapor}}$$

Ecuac. 2.28

Flujo de Comb. Quemado

$$Qd = Q_{\cancel{vc}} + Q_{\cancel{atom}} + Q_{\cancel{prec.}} + Q_{\text{fisic.}}$$

Ecuac. 2.29

$$Q_{vc} = VCN$$

$$Q_{\text{fisic.}} = \text{calor esp} * T_{\text{comb.}}$$

Ecuac. 2.30

$$\text{Calor esp} = 0,415 + 0,0006 * T_{\text{comb.}}$$

Ecuac. 2.31

Para hallar la eficiencia por el método indirecto.

$$Eb = 1 - \Sigma q$$

Ecuac. 2.32

$$\Sigma q = \frac{\Sigma Q_{\text{perd.}}}{Q_{\text{disp.}}}$$

Ecuac. 2.33

$$Q_2 = W_{AC} * (H_{vc} - H_{LC}) \quad \text{Ecuac. 2.34}$$

Como $T_8 = T$ gases de salida < 302 °C, entonces :

$$(H_{vc} - H_{LC}) = 4,1876 * (595,4 + 0,46 (T_8 - T_c)) \quad \text{Ecuac. 2.35}$$

Donde $T_c = T$ entrada del combustible:

$$Q_3 = 9H (H_{vc} - H_{LC}) \quad \text{Ecuac. 2.36}$$

$$Q_4 = W_{AV} * 1,926 (T_8 - T_a) \quad \text{Ecuac. 2.37}$$

Donde $T_a = T$ entrada de aire

$$Q_5 = W_{GS} * C_{pGS} (T_8 - T_a) \quad \text{Ecuac. 2.38}$$

Después de calcular la eficiencia de la caldera por ambos métodos, se procedió a calcular el consumo de vapor para cada uno de los equipos de intercambio de calor (intercambiadores y serpentines). La metodología utilizada se expondrá a continuación, así como los datos para realizar éstos cálculos (Ver Tabla No 1).

Tabla No 1 Datos específicos para la entrega a buques (Manual de operaciones BCS) y entrega a termoeléctricas.

Datos	U/M	ESTACIÓN 1.1		ESTACIÓN 1.1		Estación 2.1	Estación 2.	Estación 2.1	Estación 2	Estación 2
		(1 bomba)		(2 bombas)						
		I. A	I.B	I. A	I. B	I.CTE.A. Guiteras	I. CTE E. Habana	I. CTE E. Habana a 50	IE 117	IE 118
Alimentación	Kg/h	654984.0	654984.0	1290120.0	1290120.0	89316.0	106186.8	49620.0	297720.0	297720.0
Cp. del crudo	Kcal/Kg-°C	0.47	0.47	0.47	0.47	0.47	0.47	0.47	0.47	0.47
T inicial del crudo	°C	40.0	50.0	40.0	50.0	42.0	42.0	42.0	47.0	35
T final del crudo	°C	50.0	60.0	50.0	60.0	75.0	75.0	75.0	75.0	50
Pres. Vapor abs.	Kg/cm2	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5
Landa del vapor	Kcal/Kg	512.3	512.3	512.3	512.3	512.3	512.3	512.3	512.3	512.3

La entrega a CTE Este Habana, puede ser a pleno caudal (120 m³ /h) o a caudales reducidos, en dependencia del consumo de la misma.

2.4.5 Metodología utilizada para el cálculo de consumo de vapor para cada uno de los equipos de intercambio de calor (intercambiadores y serpentines).

Para calcular el consumo de vapor en cada uno de los intercambiadores de calor se realizó un balance de calor en dichos equipos planteándose de la siguiente forma:

$$Q_{ced} = Q_{abs} + Q_{per}$$

Ecuac. 2.39

Considerando que no existen pérdidas de calor debido a que los intercambiadores se encuentran aislados térmicamente y que todo el calor cedido por el vapor es absorbido por el petróleo crudo, el balance de calor resulta:

$$Q_{ced} = Q_{abs} \quad \text{Ecuac. 2.40}$$

Desarrollando la ecuación anterior la masa de vapor puede calcularse como:

$$m(vapor) = \frac{m(crudo) * Cp * (Tf - Ti)}{\lambda} \quad \text{Ecuac. 2.41}$$

Donde: m (crudo).masa de crudo (kg)

Cp: calor específico (kcal/kg⁰C)

Tf: temperatura final del crudo (°C)

Ti: temperatura inicial del crudo (°C)

λ: Entalpía de saturación del vapor (kcal/kg)

La λ saturación del vapor se buscó en la Tabla No 7 del KERN, Q. 1969 con la presión del vapor (absoluta).

Basados en los consumos de vapor y a la capacidad de producción de vapor se define el uso racional de una o dos calderas de acuerdo a la simultaneidad de las operaciones.

El consumo de los serpentines de vapor se calcula por promedio histórico (10 años).

2.5 Metodología para realizar los cálculos económicos.

Para calcular los indicadores económicos de la producción se utilizaron las siguientes fórmulas:

$$CF = \text{Salario} + \text{Seg. Social} + \text{Amortización} + \text{Atención al hombre} \quad \text{Ecuac. 2.42}$$

$$CV = \text{Materiales} + \text{Comb.} + \text{Energía} + \text{Mantenimiento} + \text{Serv. Productivos} + \text{Otros gastos} \quad \text{Ecuac. 2.43}$$

$$CT = CF + CV \quad \text{Ecuac. 2.44}$$

$$G = VP - CT \quad \text{Ecuac. 2.45}$$

$$VP = N * (\text{pup}) \quad \text{Ecuac. 2.46}$$

Cálculo del punto de equilibrio.

$$CUV = C_v / N \quad \text{Ecuac. 2.47}$$

CP/VP

$$N_0 = C_f / (\text{pup} - CUV) \quad \text{Ecuac. 2.48}$$

Donde:

N = volumen de la producción.

C_{prod} = costo de la producción.

C_f = costos fijos.

C_v = costos variables.

P = valor de la producción.

pup = precio unitario del producto.

CUV = costos unitarios variables.

Con las mismas fórmulas anteriores y las variaciones en los costos, como resultado de la inversión propuesta se recalculan todos los indicadores y se determina el nuevo punto de equilibrio.

Para la evaluación de la inversión se calculan el VAN y el TIR mediante las ecuaciones siguientes:

$$I = \text{Costo proy.} + C_{\text{equipos}} + \text{Otros C.} \quad \text{Ecuac. 2.49}$$

$$VAN = \sum_{t=0}^n \frac{S_t}{(1+i)^t} = S_0 + \frac{S_1}{(1+i)^1} + \dots + \frac{S_n}{(1+i)^n} \quad \text{Ecuac. 2.50}$$

$$TIR = \frac{i_1 - VAN}{VAN} \quad \text{Ecuac. 2.51}$$

Capítulo 3. Análisis de los resultados.

En este capítulo, se muestran los resultados de toda la evaluación realizada en el capítulo 2, a la caldera.

A continuación se expondrá detalladamente, toda la información sobre el área objeto de estudio y las valoraciones efectuadas al respecto.

3.1 Resultados del análisis estadístico para los parámetros que se analizaron en el generador de vapor.

- **pH del condensado:** Se procesaron los valores de pH del condensado que se obtuvieron de las muestras realizadas durante el año y al ser sometidos a la prueba de normalidad en el paquete estadístico Statgraphic, demuestran que los datos obtenidos en este año, siguen una distribución normal, esto significa que los análisis estadísticos son válidos y que los datos fueron tomados correctamente. Esta prueba se realizó para un 90 % de confiabilidad.

La caracterización estadística de la variable para cada caso puede verse en el anexo No 2.

Para el año 2008, los histogramas de frecuencia obtenidos muestran una gaussiana normal lo que indica que los datos están agrupados respecto al valor central.

La prueba de hipótesis para el pH se realizó comparando los valores de pH del condensado con el valor de la carta de régimen para la caldera (7.5). Ver anexo No 3.

La hipótesis nula plantea que los valores de pH son iguales a 7.5, mientras que la hipótesis alternativa plantea que los valores tomados están por debajo de 7.5.

Esta prueba fue realizada para un 95 % de confiabilidad.

La hipótesis aceptada resultó ser la alternativa, como el valor del pH Value es menor que el de α , se rechaza la hipótesis nula por lo que se demuestra de esta forma, que los valores de pH del condensado están por debajo de la establecida para este parámetro o sea se incumple con la carta régimen. Los resultados de este análisis aparecen en el anexo No 1.

- **Conductividad:** Se procesaron los valores de conductividad de las muestras realizadas durante el año y al ser sometidos a la prueba de normalidad en el paquete estadístico Statgraphic, demuestran que los datos obtenidos en este año, siguen una distribución normal, esto significa

que los análisis estadísticos son válidos y que los datos fueron tomados correctamente. Esta prueba se realizó para un 90 % de confiabilidad.

La caracterización estadística de la variable para cada caso puede verse en el anexo No 2.

Para el año 2008, los histogramas de frecuencia obtenidos muestran una gaussiana normal lo que indica que los datos están agrupados respecto al valor central.

La prueba de hipótesis para la conductividad se realizó comparando los valores obtenidos con el valor de la carta de régimen para la caldera (7000).

La hipótesis nula plantea que los valores de conductividad son iguales a 7000, mientras que la hipótesis alternativa plantea que los valores tomados están por debajo de 7000.

Esta prueba fue realizada para un 95 % de confiabilidad.

La hipótesis aceptada resultó ser la alternativa, como el valor del P. Value es menor que el de α , se rechaza la hipótesis nula por lo que se demuestra de esta forma, que los valores de conductividad están por debajo del máximo establecida para este parámetro o sea se cumple con la carta régimen. Los resultados de este análisis aparecen en el anexo No 1.

- **Alcalinidad total:** Los valores de alcalinidad total de las muestras realizadas al agua de calderas durante el año al ser sometidos a la prueba de normalidad en el paquete estadístico Statgraphic, demuestran que los datos obtenidos en este año, siguen una distribución normal, esto significa que los análisis estadísticos son válidos y que los datos fueron tomados correctamente. Esta prueba se realizó para un 90 % de confiabilidad.

La caracterización estadística de la variable para cada caso puede verse en el anexo No 2.

Para el año 2008, los histogramas de frecuencia obtenidos muestran una gaussiana normal lo que indica que los datos están agrupados respecto al valor central.

La prueba de hipótesis para la alcalinidad total se realizó comparando los valores obtenidos con el valor de la carta de régimen para la caldera (1000).

La hipótesis nula plantea que los valores de alcalinidad son iguales a 1000, mientras que la hipótesis alternativa plantea que los valores obtenidos están por debajo de 1000.

Esta prueba fue realizada para un 95 % de confiabilidad.

La hipótesis aceptada resultó ser la alternativa, como el valor del P. Value es menor que el de α , se rechaza la hipótesis nula por lo que se demuestra de esta forma, que los valores de alcalinidad total están por debajo del máximo establecido para este parámetro, o sea, se cumple con La carta tecnológica referida en el anexo No 3. Los resultados de este análisis aparecen en el anexo No 1.

3.2 Análisis estadístico de la producción de vapor y los índices de consumo de agua, Na Cl, combustible y electricidad.

- **Producción de vapor:** Los datos procesados se obtuvieron por las lecturas del flujómetro que se realizan diariamente a las 6:00 am.

Los valores de la cantidad de vapor generado durante el año al ser sometidos a la prueba de normalidad en el paquete estadístico Statgraphic, demuestran que los datos obtenidos en este año, siguen una distribución normal, esto significa que los análisis estadísticos son válidos y que los datos fueron tomados correctamente. Esta prueba se realizó para un 90 % de confiabilidad.

La caracterización estadística de la variable para cada caso puede verse en el anexo No 2.

Para el año 2008, los histogramas de frecuencia obtenidos muestran una gaussiana normal lo que indica que los datos están agrupados respecto al valor central.

- **Índice de consumo de combustible:** El índice de consumo se calcula diariamente por la metodología explicada en el capítulo 2.

Los índices de consumo calculados durante el año al ser sometidos a la prueba de normalidad en el paquete estadístico Statgraphic, demuestran que los datos obtenidos en este año, siguen una distribución normal, esto significa que los análisis estadísticos son válidos y que los datos fueron tomados correctamente. Esta prueba se realizó para un 90 % de confiabilidad.

La caracterización estadística de la variable para cada caso puede verse en el anexo No 2.

Para el año 2008, los histogramas de frecuencia obtenidos muestran una gaussiana normal lo que indica que los datos están agrupados respecto al valor central.

La prueba de hipótesis para el índice de consumo de combustible se realizó comparando los valores obtenidos con el índice de consumo plan establecido por la Unión CUPET para la caldera ($0.070 \text{ m}^3/\text{T}$).

La hipótesis nula plantea que el índice de consumo real es 0.070, mientras que la hipótesis alternativa plantea que los índices obtenidos están por debajo de 0.070.

Esta prueba fue realizada para un 95 % de confiabilidad.

La hipótesis aceptada resultó ser la alternativa, como el valor del P. Value es menor que el de α , se rechaza la hipótesis nula por lo que se demuestra de esta forma, que el índice de consumo para el combustible está por debajo del plan, o sea, se cumple con el indicador. Los resultados de este análisis aparecen en el anexo No 4.

- **Índice de consumo de agua:** El índice de consumo se calcula diariamente por la metodología descrita en el capítulo 2.

Los índices de consumo calculados durante el año, al ser sometidos a la prueba de normalidad en el paquete estadístico Statgraphic, demuestran que los datos obtenidos en este año, siguen una distribución normal, esto significa que los análisis estadísticos son válidos y que los datos fueron tomados correctamente. Esta prueba se realizó para un 90 % de confiabilidad.

La caracterización estadística de la variable para cada caso puede verse en el anexo No 2.

Para el año 2008, los histogramas de frecuencia obtenidos muestran una gaussiana normal lo que indica que los datos están agrupados respecto al valor central.

La prueba de hipótesis para el índice de consumo de agua se realizó comparando los valores obtenidos con el índice de consumo plan establecido por la unión CUPET para la caldera (0.075 m³/T).

La hipótesis nula plantea que el índice de consumo real es 0.075, mientras que la hipótesis alternativa plantea que los índices obtenidos están por encima de 0.075.

Esta prueba fue realizada para un 95 % de confiabilidad.

La hipótesis aceptada resultó ser la alternativa, como el valor del P. Value es menor que el de α , se rechaza la hipótesis nula por lo que se demuestra de esta forma, que el índice de consumo para el agua están por encima del plan, o sea, se incumple con el indicador. Los resultados de este análisis aparecen en el anexo No 4.

- **Índice de consumo de Cloruro de Sodio:** El índice de consumo se calcula diariamente por la metodología explicada en el capítulo 2.

Los índices de consumo calculados durante el año al ser sometidos a la prueba de normalidad en el paquete estadístico Statgraphic, demuestran que los datos obtenidos en este año, siguen una distribución normal, esto significa que los análisis estadísticos son válidos y que los datos fueron tomados correctamente. Esta prueba se realizó para un 90 % de confiabilidad.

La caracterización estadística de la variable para cada caso puede verse en el anexo No 2.

Para el año 2008, los histogramas de frecuencia obtenidos muestran una gaussiana normal lo que indica que los datos están agrupados respecto al valor central.

La prueba de hipótesis para el índice de consumo de cloruro de sodio se realizó comparando los valores obtenidos con el índice de consumo plan establecido por la unión CUPET para la caldera (0.85 kg/T).

La hipótesis nula plantea que el índice de consumo real es 0.85, mientras que la hipótesis alternativa plantea que los índices obtenidos están por encima de 0.85.

Esta prueba fue realizada para un 95 % de confiabilidad.

La hipótesis aceptada resultó ser la alternativa, como el valor del P. Value es menor que el de α , se rechaza la hipótesis nula por lo que se demuestra de esta forma, que el índice de consumo para el agua están por encima del plan, o sea, se incumple con el indicador. Los resultados de este análisis aparecen en el anexo No 4.

- **Índice de consumo de energía eléctrica:** El índice de consumo se calcula mensualmente por la metodología explicada en el capítulo 2.

Los índices de consumo de energía eléctrica calculados durante el año al ser sometidos a la prueba de normalidad en el paquete estadístico Statgraphic, demuestran que los datos obtenidos en este año, siguen una distribución normal, esto significa que los análisis estadísticos son válidos y que los datos fueron tomados correctamente. Esta prueba se realizó para un 90 % de confiabilidad.

La caracterización estadística de la variable para cada caso puede verse en el anexo No 2.

Para el año 2008, los histogramas de frecuencia obtenidos muestran una gaussiana normal lo que indica que los datos están agrupados respecto al valor central.

La prueba de hipótesis para el índice de consumo de energía eléctrica se realizó comparando los valores obtenidos con el índice de consumo plan establecido por la Unión CUPET para la caldera (4.4 Kw /T).

La hipótesis nula plantea que el índice de consumo real es 4.4, mientras que la hipótesis alternativa plantea que los índices obtenidos están por debajo de 4.4.

Esta prueba fue realizada para un 95 % de confiabilidad.

La hipótesis aceptada resultó ser la alternativa, como el valor del P. Value es menor que el de α , se rechaza la hipótesis nula por lo que se demuestra de esta forma, que el índice de consumo de electricidad está por debajo del plan, o sea, se cumple con el indicador. Los resultados de este análisis aparecen en el anexo No 4.

De todos los análisis realizados, se obtuvo como resultado, que el proceso de producción de vapor no cumplió con la carta régimen y con los índices planificados por la Unión CUPET, los siguientes indicadores:

- PH del condensado.
- Índice de consumo de agua.
- Índice de consumo de Cloruro de Sodio.

3.3 Análisis de los parámetros que se incumplieron.

- **pH del condensado:** Cuando el pH del condensado es inferior a 7 (pH ácido) ocasiona corrosión en las tuberías, equipos de intercambio, caldera y tanques de almacenamiento de condensado, lo que trae como consecuencia la rotura de los equipos, que en el caso de los serpentines de vapor e intercambiadores, permiten el paso del combustible al condensado y si no hay una adecuada observación puede pasar al interior de la caldera. Además el condensado arrastra partículas de hierro de las tuberías, que se depositan en forma de precipitados en las paredes y tubos de la caldera, dándole al agua una coloración rojiza. Esta situación se ha presentado en reiteradas ocasiones, llegando a situaciones que han obligado a realizar limpiezas químicas, con el consiguiente gasto, tanto por la limpieza como por el tiempo que tiene que permanecer la caldera fuera de servicio.

En el anexo No 9 (fig. No 1 a-)), se puede apreciar el interior de la caldera cuando se realizó la limpieza química (mayo del 2008), donde se observa la coloración rojiza y contaminación con crudo en la superficie exterior del cañón central. Esto es una consecuencia del pH ácido.

En la fig. No 1 b-) del anexo No 9, se observa la coloración rojiza de la superficie exterior de los tubos que se encuentran en el interior de la caldera debido a la presencia de hierro.

De acuerdo a los resultados del análisis estadístico, se realizó un amplio debate entre los especialistas y operadores de la caldera, para determinar los posibles factores que ocasionan el incumplimiento de este parámetro, lo que dio lugar al análisis de las siguientes causas factibles:

a-) El aditivo que se suministra a la caldera (Vapen 220 y 300), es efectivo solamente (según el suministrador) en tramos cortos de tubería: En el caso de nuestra instalación, existen tuberías de largas longitudes, lo que puede ocasionar que el retorno de algún equipo, esté contaminando el tanque receptor de condensado, que es el lugar donde se toman las muestras para el análisis del agua de condensado.

b-) La adición del Vapen no se realiza de la forma correcta (dosificación y concentración), por tanto no es efectivo: En consultas realizadas con especialistas del Régimen Químico de La CTE Antonio Guiteras y de Vapen SA, al disminuirse la cantidad adicionada del Vapen este no realiza el efecto sobre el CO₂ disuelto en el condensado y pasa a la caldera formando con el agua el ácido carbónico (H₂CO₃) provocando corrosión dentro y fuera de la caldera.

c-) El aditivo Vapen no es apropiado para la instalación: Para comprobar la primera de las causas se tomaron muestras de agua y se le determinó el pH a la salida de cada uno de los consumidores, para precisar la influencia de la longitud de las tuberías, ya que hay consumidores que se encuentran más cerca de la caldera que otros.

Los resultados de las pruebas realizadas para el pH del condensado de cada uno de los consumidores se muestran en el anexo No 10 y demuestran que el pH es inferior a 7 en la mayoría de los casos, independientemente de la distancia a que se encuentren los equipos, ya que el IE 117 está mucho más lejos que los intercambiadores 201 A y B, pero ambos incumplen con el pH, por lo que esta no es la causa del incumplimiento.

Para comprobar la segunda causa (adición incorrecta del Vapen), se acordó que durante un mes, la adición fuera realizada por el personal técnico de la caldera, para garantizar que se añadieran

las cantidades correctas y con la concentración establecida. Durante ese mes se tomaron muestras de condensado de cada uno de los consumidores, a los cuales se le realizó análisis de pH.

Los resultados de estas determinaciones se encuentran en el anexo No 11. En ellos aparece una notable mejoría en el pH de condensado, lo que responde a una adición correcta del Vapen. Esto demuestra que la adición realizada diariamente por los operadores no se hace de una forma correcta, ya que cuando se cumple con lo establecido en las instrucciones de operación, sí es posible controlar este parámetro en el rango de valores establecidos en la carta tecnológica expuesta en el anexo No 3.

Es necesario establecer un estricto control por parte de la dirección del área para cumplir con las condiciones que recomienda el proveedor del Vapen. S.A.

Con esta prueba se elimina la tercera de las causas posibles, ya que el aditivo adicionado de forma correcta dio los resultados esperados.

3.4 Valoración de los índices de consumo de las materias primas (agua y Cloruro de Sodio).

De acuerdo con los programas energéticos del país, el cumplimiento de los índices de consumo de las materias primas para la producción de vapor en cualquier equipo de generación es fundamental, ya que la mayoría de ellos son portadores energéticos.

Se analiza el comportamiento de los consumos durante todo el año 2008, para, a partir de este análisis, calcular los índices y verificar el cumplimiento de los mismos.

El comportamiento de los consumos para cada una de las materias primas y la producción de vapor se reflejan en los gráficos mostrados en el anexo No 7, para el año 2008.

En el gráfico No 1, se observa un comportamiento adecuado de la producción de vapor, respecto al consumo de combustible.

En el gráfico No 2 se observa un comportamiento adecuado respecto a la producción de vapor y consumo de agua.

En el gráfico No 3 se observa un lógico comportamiento del consumo de cloruro de sodio, respecto a la producción de vapor.

En el gráfico No 4 se observa un comportamiento lógico de la producción de vapor, respecto al consumo de energía eléctrica.

Los resultados del análisis estadístico para el comportamiento de los índices de consumo de cada una de las materias primas, se reflejan en los gráficos que se citan en el anexo No 8.

En el gráfico No 5 se aprecia que el índice de consumo de combustible para la producción de vapor, cumple durante todos los meses del año 2008, lo que se corresponde con los resultados del análisis estadístico.

En el gráfico No 6 se observa que solamente se cumplió el índice de consumo en los meses de julio, junio y noviembre del 2008, lo que se corresponde con el análisis estadístico y este es uno de los indicadores del proceso de calentamiento que hay que analizar.

En la representación gráfica No 7 se aprecia, que solamente se cumple el índice de consumo del cloruro de sodio con respecto a la producción de vapor, en los meses de mayo, junio y agosto del 2008, por lo que este indicador también se incumple.

Durante todos los meses del año 2008 se cumplió el índice de consumo de la energía eléctrica, lo que se corresponde con el análisis estadístico.

Análisis de los incumplimientos.

Se incumplen los índices de consumo de agua y sal para la producción de vapor.

3.4.1 Índice de consumo de agua.

Se realizó una tormenta de ideas con el personal especializado para analizar las posibles causas del alto consumo de agua, se estableció una estrategia de trabajo para realizar las comprobaciones y pruebas necesarias.

El régimen tecnológico de la caldera requiere de las siguientes operaciones donde se consume agua y se muestran en el Anexo No 14.

Estrategia de trabajo para realizar el estudio de los consumos de agua de la caldera.

1. Inspección de las líneas del sistema de vapor y condensado para detectar salideros.
2. Comprobación del método de cálculo del Índice Real.

3. Comprobar el consumo de agua por las lecturas obtenidas en el flujómetro y por el nivel del tanque en el área de caldera.
4. Definir el % de abertura que debe tener la válvula de purga continua para controlar la alcalinidad y conductividad.
5. Verificaciones de las operaciones de regeneración para detectar dificultades tecnológicas.

Análisis de la estrategia de trabajo.

1. Inspección de las líneas del sistema de vapor y condensado para detectar salideros: Se inspeccionó las líneas del sistema de vapor y condensado detectándose salidero en la línea de condensado del intercambiador de CTE Este Habana y en la línea de vapor del Tk 37. Estos salideros se solucionaron y continua el alto consumo de agua en caldera.

También se logró regular el retorno del condensado del IE-117 y para el IE 118 se sigue la estrategia de utilizar una sola bomba en el área 1-1 logrando su funcionamiento sin pérdida del condensado en el sistema. Cuando se utilizan 2 bombas en los intercambiadores de la 1-1, el Intercambiador 118 se embotella, por lo que es necesario analizar el diseño del sistema de retorno de condensado.

2. Comprobación del método de cálculo del Índice Real: El Índice Plan se calculó en base al promedio del consumo de agua real y la producción de vapor de años anteriores estableciéndose un índice histórico. El consumo de agua real se calcula mediante un balance de masa del tanque suavizador. Para este cálculo es necesario parar las bombas automáticas de alimentación de agua a la caldera durante la recepción de agua en el tanque, introduciéndose errores en ese cálculo en caso de que no se cumpliera con lo establecido. La entrada de agua se mide por un flujómetro y la salida por balance másico del tanque. Además la producción de vapor se mide por el totalizador de cada caldera y desde principio del año 2006, el de la caldera 1 se encuentra fuera de servicio por lo que su producción de vapor es estimada. Todos estos aspectos introducen errores en el cálculo de Índice de Consumo.

3. Comprobación del consumo de agua por las lecturas obtenidas en el flujómetro y por nivel de tanque en el área de caldera: Durante la operación de recepción en el tanque de agua suavizada se realizaron mediciones simultáneas por ambos métodos, los resultados se reflejan en la tabla No 2.

Tabla No 2 Resultados de las mediciones realizadas al tanque de agua suavizada por la regleta y por el flujómetro.

Entrada de agua en tk de caldera (m ³)			
No Corrida	Flujómetro	Regleta	Diferencia
1	22.4	20.8	1.6
2	19.8	18.1	1.7
3	16.5	14.2	2.3
4	12.8	10.7	2.1
5	20.4	18.7	1.7
6	18.3	16.1	2.2
7	29.2	25.3	3.9
Promedio	20	18	2

Dada esta diferencia, se procedió a realizar las mediciones en el tanque por lienza, debido a que a la tabla de cubicación es por lienza y el nivel del tanque se mide con la regleta, detectándose que existe diferencia entre la lienza y la regleta que oscila entre 1 y 4 m³ en dependencia del nivel del tanque (tanque horizontal), lo que introduce errores en el cálculo del índice de consumo.

4. Definir el % de abertura que debe tener la válvula de purga continua para controlar la alcalinidad y la conductividad: Analizando los resultados del laboratorio y de acuerdo con lo especificado en la carta de régimen químico, se detectó que la alcalinidad del agua a caldera y el resto de los parámetros (fosfato, conductividad y sulfito) estaban por debajo del máximo especificado. El pH del condensado estaba fuera de especificaciones, por lo que se enviaron muestras al laboratorio de Hidrología para determinar hierro al observarse coloración rojiza en el agua de la caldera.

Para la regulación de estos parámetros se utilizan las extracciones de fondo (1 vez al día) y las purgas continuas. La purga continua se regula mediante una válvula a la que se le puede regular el % de abertura, el cual se incrementa cuando los parámetros están fuera de límites.

A continuación, a través de la fig. No 3.1 se observará la relación de la alcalinidad, conductividad y fosfato, con las extracciones periódicas y purga continua.

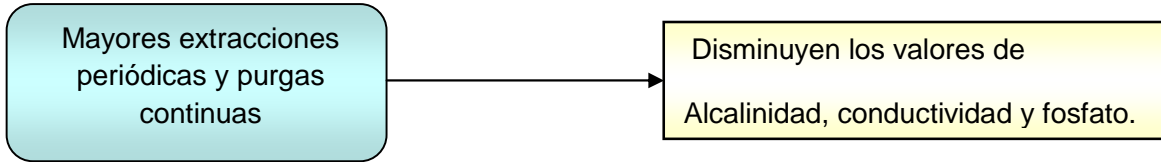


Fig. No 3.1 Relación de las variables alcalinidad, conductividad y fosfato, con las extracciones periódicas y la purga continua en régimen normal.

En base a que los resultados de los parámetros de agua se encuentran en límites y el pH de condensado no depende de estas extracciones, se decide que mientras los valores se mantengan en límites se debe mantener la válvula de purga continua abierta al 20%.

Para conocer la cantidad de agua que se pierde por las purgas se tomó como referencia para el estudio la Caldera No. 2, que es la que se encuentra siempre en funcionamiento y además la que tiene las condiciones creadas para ello.

Utilizamos para el mismo una cubeta con un volumen de 20 litros y fijamos el tiempo que demora el llenado de la misma, además de la presión de trabajo de la caldera y los porcentajes de apertura de la válvula reguladora de purga continua que se realizaron en % que variaron del 5 al 100 %, 10 veces cada uno:

Como resultado de todas estas corridas, se obtuvo un promedio de agua que se pierde en litros por hora para cada una de las aberturas mostrándose en el anexo No 13 y como se puede observar, la cantidad de agua perdida depende de dos factores fundamentales: presión de trabajo de la caldera y funcionamiento de la bomba de agua alimentación de la misma.

Es importante mantener una estrecha vigilancia en esta regulación para evitar pérdidas innecesarias de agua, pues en ocasiones las purgas se encuentran abiertas a mayor % que el necesario

5. Verificaciones de las operaciones de regeneración para detectar dificultades tecnológicas: Se realizaron corridas para determinar el consumo de agua en la regeneración de la resina, aunque actualmente éste no se tiene en cuenta para el cálculo del índice de consumo, observándose las siguientes dificultades:

- No existe instrumento de medición para los flujos de las diferentes operaciones. La regulación del mismo se realiza de forma manual con válvulas que no son reguladoras de flujo.
- El tanque de preparación de la salmuera no es el adecuado, pues no dispone de las condiciones técnicas necesarias para la disolución completa de la sal (poca capacidad, no cuenta con medio de agitación, no se puede medir pues la escala no es visible, no tiene conexión de vapor).
- No existe punto de muestreo en la línea de salida para determinar la concentración de la salmuera que inyecta a la resina.

Todas estas dificultades traen consigo mala regeneración, que a su vez ocasiona daño y pérdida de la resina, menor tiempo de duración del equipo y por consiguiente mayor consumo de agua.

Después de todas esas comprobaciones se confeccionó el Diagrama Causa - Efecto para el índice de consumo de agua, el cual aparece en el anexo No 5, del mismo se puede concluir lo siguiente:

Causas fundamentales que influyen en el alto índice de consumo de agua para la producción de vapor.

- **Errores en el método de cálculo del índice de consumo:** Éstos están motivados por errores de medición; el cálculo del consumo se realiza por balance de masa en el tanque y la entrada del agua se mide por flujómetro, existiendo diferencia entre las cantidades; los operadores no paran la bomba de alimentación a la caldera mientras están recibiendo agua, lo que introduce errores; el flujómetro de vapor de la caldera No 1 está fuera de servicio, por lo que el valor es estimado, la cubicación del tanque es por lienza y se mide por una regleta.
- **Dificultades con el retorno de condensado:** No se recupera la cantidad de condensado planificado (80 %) porque se le da vapor a las pailas para su limpieza y ese no retorna. Además los intercambiadores de calor 118 y 117 se embotellan y no retorna el condensado, siendo necesario drenarlo.
- **Medios de medición no confiables:** Existen diferencias entre el flujómetro, la lienza y la regleta, el flujómetro no está verificado y el totalizador de vapor de la caldera No 1 está fuera de servicio.

- **Excesivas extracciones de fondo en la caldera:** Esto se debe a la incorrecta dosificación de aditivos, y a la falta de equipos para la determinación de hierro en el laboratorio. Todo esto ocasiona contaminaciones del agua y se hace necesario el vaciado de la caldera o las limpiezas químicas.
- **Deficiente control del régimen químico:** No existe un técnico calificado en el control del régimen químico, lo que unido a la falta de capacitación de los operadores y a la dificultad en el traslado de las muestras, hace que en ocasiones no se realicen las adiciones y las purgas de forma correcta.

De acuerdo a los resultados anteriores se hace necesario un estudio de las líneas de retorno de condensado para determinar las causas del mal retorno, por lo que se procedió a medir todas las tuberías para calcular las presiones en los diferentes tramos y determinar en que caso era necesario ampliar el diámetro o realizar otra modificación.

Los consumidores más críticos son el IE 118, IE 117, tanque 37, Tanques 30 y 38, IE 101 A (CTE Antonio Guiteras) e IE 102 A (CTE Este Habana).

Para la realización de este estudio se instalaron manómetros a la salida de cada uno de los consumidores y en otros puntos de interés, para mediante la Ecuación de Bernoulli y siguiendo la metodología explicada en el Capítulo No 2, calcular la presión al final de cada tramo (punto de intercepción).

3.4.1.1 Resultados obtenidos del estudio realizado a las líneas de retorno de condensado.

- **Tramo IE 118 hasta la línea de salida de los intercambiadores de IE 201A y B:** Se instaló un manómetro en el IE 118 y en la línea de los IE 201 A y B, tomándose las lecturas de los mismos diariamente. Se realizaron los cálculos y los resultados se muestran en la tabla No 3.

Tabla No 3 Cálculos de las presiones en el punto 2 hacia los diferentes Intercambiadores y tanques.

Datos	Símbolo	I 118	I 118	I 117	Tk 37	Tk 38	CTE A. Guiteras y Este Habana.	unidades
Flujo	Q	8	8	20	5	2	2	m ³ /h
Diámetro	D	2	4	2	2	2	2	pulg
Longitud	l	129	129	10	725	179	160	m
Densidad	ρ	1	1	1	1	1	1	T/m ³
Viscosidad	μ	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	cst
Viscosidad cinemática	ν	0.000003	0.000003	0.000003	0.000003	0.000003	0.000003	m ² /s
Presión en el punto inicial (abs).	P1	2.53	2.53	2.53	2.03	2.53	2.53	kg/cm ²
Altura al nivel del piso.	Z1	8	8	1	14	0	0	
Altura intercepción	Z2	0	0	0	0	0	0	m
Cantidad de codos de 90		6	6	4	20	5	2	
K del codo de 90	K1	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	
aceleración de la gravedad	g	9.8	9.8	9.8	9.8	9.8	9.8	m/s ²
Rugosidad	ϵ	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	
Presión manométrica en el punto inicial.	kg/cm ²	1.5	1.5	1.5	1	1.5	1.5	
Pérdidas por fricción	hf=	4.565865	0.175053	2.896329	10.84822	0.543644	0.4788395	m
Área de flujo	A=	0.002027	0.008107	0.002027	0.002027	0.002027	0.0020268	m ²
Velocidad	v=	1.0964	0.2741	2.741001	0.68525	0.2741	0.2741001	m/s
Número de Reynolds	Nre=	18565.71	9282.856	46414.28	11603.57	4641.428	4641.4281	
factor de fricción	f	0.027545	0.032423	0.023144	0.030677	0.039185	0.0391855	
Presión en la intercepción.	P2	28.7513	33.14211	23.42084	23.46555	24.77352	24.838328	m

Esta presión es absoluta, por lo que si la expresamos en manométrica será de 1.84 Kg/cm². La presión en el punto de intercepción es 2.2 Kg/cm² por lo que con este diámetro de tubería, que es la actual el condensado no retorna .

Se repitieron los cálculos, incrementando el diámetro de tubería de 2" a 4" para disminuir las pérdidas por fricción. Los resultados aparecen en la tabla No 3.

Cuando se realiza esta modificación en el diámetro la presión en el punto de intercepción alcanza el valor de 2.28 Kg/cm², lo que hace posible el retorno, por lo que se decide sustituir la línea de retorno de condensado de 2 "de diámetro desde el IE 118 hasta la intercepción con la línea de los IE 201 A y B, por otra de 4" de diámetro con el mismo trazado.

- **Tramo IE 117 hasta la línea de condensado del tanque 37:** Se instaló un manómetro a la salida del condensado del IE 117 y del tanque 37 y se procedió de la misma forma que con el IE 118. Los resultados aparecen en la tabla No 3.

Esta presión expresada como manométrica es de 1.31 Kg/cm².

Como no hay manómetro en el punto de intercepción con la línea de condensado que viene del tanque 37, se procedió a calcular la presión en dicho punto por el mismo método, siendo los resultados mostrados en la tabla No 3.

De acuerdo a los resultados obtenidos como las presiones en las dos líneas son similares no hay problemas con el retorno de condensado. Durante las pruebas realizadas se detectaron momentos en que no retornaba el condensado, pero con una adecuada regulación de las presiones se puede lograr el retorno.

- **Tramo tanque 38 hasta la línea de condensado del tanque 37:** Se colocó un manómetro en la línea que baja del tanque 37 en el punto donde se intercepta con la línea que viene del tanque 38. Este punto está situado al mismo nivel que la estación 2-1 por lo que la diferencia de altura es 0. La presión en ese punto es ligeramente mayor que en el intercepto de la línea con el IE 117 porque está situado más abajo. La presión registrada es de 1,45 kg/cm² manométrica.

Se calculó el retorno de la misma forma que en los casos anteriores, siendo los resultados los siguientes expresados en la tabla No 3.

Expresando la presión como manométrica será 1.44 kg/cm².

Como las presiones son similares no existe dificultad en el retorno.

- **Tramo del Intercambiador CTE. A. Guiteras y CTE Este Habana, hasta la línea de condensado del tanque 37:** Se colocó un manómetro en la intercepción de los condensados procedentes de ambos intercambiadores, siendo su presión de 1.5 kg/cm² (manométrica). Se procedió a calcular la presión en el punto donde se intercepta con las líneas del tanque 37 y el tanque 38, siendo los resultados expresados en la tabla No 3.

En este caso como la presión es similar a la del punto de intercepción, no hay dificultades con el retorno de esos operadores.

No se calculan los otros consumidores por retornar libremente a la caldera.

De todo este estudio se puede concluir que el Sistema de retorno de Condensado el cual fue diseñado por la Empresa ALASTOR está correctamente dimensionado, exceptuando el IE 118, que se construyó después y se diseñó con el mismo diámetro de tubería, sin tener en cuenta las condiciones de trabajo del mismo, por lo que se considera que el único tramo a cambiar sería ese y el resto si se opera correctamente, es posible lograr una buena recuperación del condensado.

En base a este estudio se proponen las siguientes presiones de salida del condensado para operar la instalación y se encuentran en la tabla No 3.

3.4.2 Índice de consumo del Cloruro de Sodio.

El Cloruro de Sodio es utilizado en el proceso de suavizamiento del agua para regenerar la resina. Si esta regeneración no se realiza a los caudales y concentraciones establecidos, la regeneración no es efectiva, por lo que el equipo se agota en menos tiempo que el establecido, con el consiguiente incremento de los consumos de agua y Cloruro de Sodio.

En la estrategia de trabajo analizada en el epígrafe anterior se analizaron las operaciones de regeneración y en base a los resultados se confeccionó el diagrama causa y efecto para el índice de consumo del Cloruro de Sodio, el cual aparece en el anexo No 6.

Causas fundamentales que influyen en el alto índice de consumo de Na Cl para la producción de vapor.

- Pérdidas de sal. Éstas, son consecuencia del traslado desde el lugar de almacenamiento hasta el tanque, lo que se realiza manualmente por parte de los operadores, ocurriendo que en muchas

ocasiones se rompan los sacos y se derrame el producto. También los sacos de sal se deterioran en el almacén y se rompen durante el traslado.

- Mal estado técnico del tanque de preparación. Este tanque no tiene sistema de medición (escala) ni agitador. La solución se prepara agitando manualmente con una paleta de madera. Estos factores influyen en el consumo de cloruro de sodio para la preparación de la solución regenerante, porque se queda parte de la sal depositada en el fondo.
- Medios de medición inadecuados. No existen flujómetros ni rotámetros que permitan regular el flujo durante las operaciones de regeneración.
- Agotamiento en corto tiempo de los suavizadores. Esto ocurre por no realizarse la regeneración en forma correcta ya que la solución de cloruro de sodio no se prepara con la concentración deseada, por falta de disciplina tecnológica y capacitación de los operadores. Tampoco existe un toma muestra que permita controlar la concentración de la solución de cloruro de sodio a la salida del eyector.

Según las informaciones del fabricante, se deben realizar 3 regeneraciones al mes, y en la actualidad a veces se hacen 4 regeneraciones, con el correspondiente sobreconsumo de agua y cloruro de sodio. Para cada regeneración se deben consumir 13 m³ de agua y 20 kg de Cloruro de sodio.

3.5 Resultados obtenidos del cálculo de la eficiencia del generador de vapor.

Para calcular la eficiencia de la caldera se determinó el % de oxígeno en exceso con un analizador de gases, el cual no da el CO₂ por no tener el sensor correspondiente, por lo que se hace necesario realizar el balance de masa. Se utilizó el Método Directo y el Indirecto con los datos reflejados en la tabla No 5. Los resultados obtenidos aparecen en la tabla No 4.

Tabla No 4. Resultados obtenidos a través del Balance de Masa realizado en la caldera.

Componentes	n(e) +	n(g) -	n(c) =	n(s)
C	44.210	0	39.789	4.421
H2	34.550	0	34.550	0
S	1.690	0	1.690	0
H2O	10.530	34.550	0	45.080
O2	68.229	0	58.754	9.475
SO2	0	1.690	0	1.690
N2	256.671	0	0	256.671
CO2	0	39.789	0	39.789

Balance de materiales y energía en la Caldera.

Reacciones que ocurren en la Caldera.

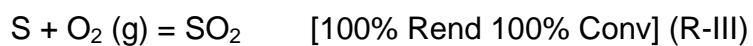
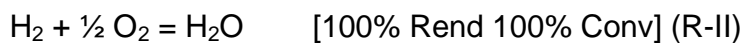
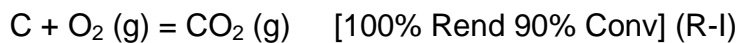


Tabla No 5 Datos para realizar los balances de masa y energía a la caldera.

% Exceso O ₂	8 % (obtenido mediante analizador de gases)
% másico (entrada)	
C	78,3%
H ₂	10,2%
S	8%
H ₂ O	2%
Cenizas + imp.	1,5%
Y _R	70 %
Datos de las Temperaturas	°C
T. entrada agua	90
T. entrada aire	30.1
T. Comb.	120
T. Salida gases	211.9
T. Vapor	175.43
Datos del Vapor	MPa
Presión Manométrica Vapor	0.7895
Presión Absoluta	0.9013
Flujo del Vapor Saturado	11666 kg/h
Datos del Combustible	
VCN	10000 kcal/kg
Flujo del Combustible	677,593 kg/h

Balance de masa.

Para obtener los resultados recogidos en la tabla No 4, se realizaron los cálculos siguientes:

La ecuación general para la obtención del balance de masa es la 2.9, citada en el capítulo 2.

Se halló la cantidad de sustancia de los componentes del combustible entrante y para esto se utilizaron las ecuaciones 2.10 a la 2.17, citadas en el capítulo 2 en la metodología para la realización del balance de masa.

Nota: Las ecuaciones 2.10 y 2.11 se utilizaron para el H, C y S.

Para el Carbono que entra:

$$m(C) = 530.55 \text{ kg/h}$$

$$n(C) \text{ entra} = 44.21 \text{ kmol/h}$$

Para el Carbono que sale:

$$C \text{ sale} = 4.421 \text{ kmol/h}$$

Para el Hidrógeno que entra:

$$m(H_2) = 69.11 \text{ kg/h}$$

$$n(H_2) \text{ entra} = 34.55 \text{ kmol/h}$$

Para el Azufre que entra:

$$m(S) = 54.20 \text{ kg/h}$$

$$n(S) \text{ entra} = 1.69 \text{ kmol/h}$$

Para el H₂O que entra (con el combustible):

$$m(H_2O) = 677,593 \text{ kg/h} \times 0.02$$

$$m(H_2O) = 13.55 \text{ kg/h}$$

$$n(H_2O) \text{ entra con combustible} = 0.75 \text{ kmol/h}$$

Conociendo el % de exceso se obtuvo el O_2 alimentado mediante las ecuaciones 2.15, 2.16 y 2.17.

$$O_{2teor} = 63.175 \text{ kmol/h}$$

$$O_{2alim} = 68.229 \text{ kmol/h}$$

$$N_{2entra} = \mathbf{256.671 \text{ kmol/h}}$$

Conociendo el O_2 alim y el N_2 entra, se determinan los Kg. de AS.

$$\mathbf{AS = 9370.116 \text{ kg/h}}$$

Conociendo los Kg. de AS se halla Y por la ecuación 2.17, y se determina el H_2O que entra con el aire por la ecuación 2.18.

$$Y_{\text{humedad absoluta}} = 0,0188 \text{ kg } H_2O / \text{Kg AS}$$

$$H_2O_{entra \text{ aire}} = 9.78 \text{ kmol/h}$$

Mediante la ecuación 2.19 se determina el agua que entra total.

$$H_2O \text{ entra total} = 10.53 \text{ kmol/h}$$

Se determina el % de conversión de C, H y S, mediante la ecuación 2. 20 y por la ecuación 2.21 se obtendrá el Carbono, Hidrógeno y Azufre que se consume.

Carbono que se consume:

$$C \text{ (consume)} = 39.789 \text{ kmol/h}$$

Para el Hidrógeno que se consume

$$H_2 \text{ (consume)} = 34.55 \text{ kmol/h}$$

Para el Azufre que se consume:

$$S \text{ (consume)} = 1.69 \text{ kmol/h}$$

Reacción I:

Para hallar el Oxígeno consumido se aplicó la ecuación 2.22 para cada reacción.

$$N_{O_2 \text{ consumido R.I}} = 39.789 \text{ kmol/h.}$$

Para el CO_2 generado en la Reacción I:

N_{CO_2} generado R.I=39.789 kmol/h.

Reacción II:

N_{O_2} consumido R.II= 17.275 kmol/h.

N_{H_2O} generada R.II= 34.55 kmol/h

Reacción III:

N_{O_2} consumido R.III= 1.69 kmol/h

Mediante la ecuación 2.23 se halla el O_2 que se consume Total.

O_2 (consume Total)=58.754 kmol/h

Nota: El H_2 consumido y S consumido al no salir ni generarse son igual al que entra.

El CO_2 , H_2O y el SO_2 generados se obtienen por la relación estequiométrica de las reacciones.

El C y O_2 que salen son la resta del que entra menos el que se consume.

El H_2O que sale es la suma de la que entra más la que se genera.

El SO_2 y el CO_2 que salen son igual al que se genera.

El nitrógeno es inerte, por lo tanto el que entra es igual al que sale.

Balance de Energía.

- **Cálculo de la eficiencia de la caldera por el método directo (sus resultados aparecen en la tabla No 12):**

La eficiencia de la caldera (E_b) se calcula mediante la ecuación 2.24.

Donde:

Q_u – Calor útil y se calcula mediante la ecuación 2.25.

Q_d – Calor disponible que se calcula mediante la ecuación 2.29.

- **Cálculo de la eficiencia de la caldera por el método indirecto (sus resultados aparecen en la tabla No 12):**

La eficiencia de la caldera por el método indirecto se calcula por la ecuación 2.32.

Para hallar Q_2 , Q_3 , Q_4 y Q_5 , se utilizan las ecuaciones de la 2.34 a la 2.38.

Para hallar ($H_{vc} - H_{lc}$) se utilizó la ecuación 2.33, de acuerdo con las características de los gases de salida.

$$H_{vc} - H_{lc} = 637.65 \text{ kcal/kg.}$$

$$E_b = 88 \%$$

$$Q_2 = 12.75 \text{ kcal/kg}$$

$$Q_3 = 585.36 \text{ kcal/kg}$$

$$Q_4 = 103.99 \text{ kcal/kg}$$

$$Q_5 = 603.36 \text{ kcal/kg}$$

C_{pGS} – capacidad calórica promedio / T_g y T_a ($1 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$ o $0.24 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C}$)

Los valores de las Entalpías se buscaron en el **Keenan Tabla I**, con la temperatura de entrada del agua, para la obtención de la Entalpía del líquido subenfriado, el cual se busca en la tabla en kJ/kg y se convierte a kcal/kg ($1 \text{ kcal} = 4,1868 \text{ kJ}$). Para la obtención de la entalpía del vapor saturado se busca en el **Keenan Tabla II**, con la presión absoluta y se le hace la misma conversión que a la del líquido.

$$H_{vs} = 2773,9 \text{ kJ/kg}$$

$$H_{vs} = 663.61 \text{ kcal /kg.}$$

$$H_L = 376.92 \text{ kJ/kg}$$

$$H_L = 90.17 \text{ kcal /kg.}$$

Tabla No 6 Resultados que se obtuvieron por los métodos directo e indirecto.

Q útil	9872.81	kcal/kg
Calor esp.	0.487	kcal/kg
Q físico	58.44	kcal/kg
Q _{vc} = VCN	10000	kcal/kg
Q _d	10858.44	kcal/kg
η (eficiencia método directo)	90.9	%
Q ₁ =Q _u	9872.81	kcal/kg
Q ₂	12.75	kcal/kg
Q ₃	585.36	kcal/kg
Q ₄	103.99	kcal/kg
Q ₅	603.36	kcal/kg
η (eficiencia método indirecto)	88	%

Los resultados obtenidos por ambos métodos son similares y satisfactorios para un proceso de generación de vapor.

3.6 Resultados del cálculo del consumo de vapor para los diferentes equipos que utilizan el vapor como medio de calentamiento.

Para la realización de estos cálculos se planteó el balance de calor para cada uno de los equipos, asumiendo que no hay pérdidas.

Tabla No 7 Consumos de Vapor en cada uno de los consumidores de vapor.

DATOS	U/M	ESTACIÓN 1.1 (1 bomba)		ESTACIÓN 1.1 (2 bombas)		ESTACIÓN 2.1			IE 117	IE118
		Intercamb. A	Intercamb. B	Intercamb. A	Intercamb. B	I. CTE A Guiteras	I. CTE Este Habana.	I. CTE Este Habana a 50		
ALIMENTACIÓN	m³	660	660	1300	1300	90	120	45	300	300
ALIMENTACIÓN	Kg/h	654984.0	654984.0	1290120.0	1290120.0	89316.0	119088.0	44658.0	297720.0	297720.0
Cp. del crudo	Kcal/Kg- oC	0.47	0.47	0.47	0.47	0.47	0.47	0.47	0.47	0.47
T inicial del crudo	oC	40.0	50.0	40.0	50.0	42.0	42.0	42.0	47	35
T final del crudo	oC	50.0	60.0	50.0	60.0	75.0	75.0	75.0	75	50
Presión del vapor (abs)	Kg/cm2	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5
Lamda del vapor	Kcal/Kg	512.3	512.3	512.3	512.3	512.3	512.3	512.3	512.3	512.3
Q necesario	Kcal/h	3078424.8	3078424.8	6063564.0	6063564.0	1385291.2	1847054.9	692645.6	3917995.2	2098926.0
Masa del vapor	Kg/h	6009.4	6009.4	11836.7	11836.7	2704.2	3605.6	1352.1	7647.9	4097.1
Masa del vapor	t/h	6.0	6.0	11.8	11.8	2.7	3.6	1.4	7.6	4.1

Calor absorbido por el crudo= Calor cedido por el vapor.

$$Mc \cdot c_{pc} \cdot (t_2 - t_1) = m \cdot \lambda. \quad (\text{KERN, Q, 1969}).$$

Se utilizan en los cálculos los caudales y temperaturas de diseño.

En la tabla No 7, aparecen los consumos de vapor en cada intercambiador y en la Tabla No 8 aparecen los datos del consumo de vapor en serpentines. (Por datos históricos)

Tabla No 8 Consumo de vapor en serpentines. (Por datos históricos).

Serpentín	consumo de vapor (t/h)
Tk15	1.9
Tk8	0.25
Tk 37	2.8
Tk 38	0.89

Estos son los consumidores de vapor que existen en la Empresa , los cuales se abastecen del vapor producido por la caldera.

De acuerdo con la cantidad de consumidores que estén en servicio se decide por parte de la Dirección del área la puesta en marcha de una o dos calderas, teniendo en cuenta que la capacidad máxima de producción para cada caldera es de 16 T/h.

3.7 Análisis económico.

3.7.1 Cálculo de los indicadores económicos del proceso de producción de mezclas de la empresa.

El presupuesto de gastos es un sistema que contiene, de forma estimada (Plan) los recursos necesarios para la ejecución de un programa de distribución expresado en valores y proyectado de acuerdo con las condiciones que se asume, trabajará la empresa.

Sus principales objetivos son:

Establecer un compromiso planificado sobre los límites de recursos humanos materiales y financieros a emplear, para la distribución de una cantidad determinada en base a:

- a) Una mayor utilización de la fuerza de trabajo.
- b) Una utilización eficaz de las capacidades instaladas.
- c) Utilizar las normas de consumo establecidas.

La Empresa Comercializadora de Combustibles, tiene varios surtidos de producción, pero consideraremos solamente la producción de mezclas, porque es la que utiliza el vapor como medio de calentamiento.

Para el año 2008 el costo para la producción de mezclas de la empresa se comportó de la siguiente forma (datos tomados de la subdirección económica de la empresa).

Por conceptos de gastos su ejecución es como sigue en la tabla No 9.

Tabla No 9 Comportamiento de la Empresa en el año 2008, según el costo para la producción de mezclas.

Concepto	Costos (\$)	Tipo de costo
Materiales	99418.69	CV
Combustibles	51247.3	CV
Energía	17677.48	CV
Salario	36747	CF
Seguridad Social	13781.08	CF
Amortización	92348	CF
Mantenimiento	85904.32	CV
Servicios Productivos	58739.2	CV
Otros gastos	58218	CV
Atención al hombre	11079.36	CF
Total	525160.43	

Atendiendo a las ecuaciones indicadas en el Capítulo II, acápite 2.5, se indicó toda la metodología para calcular los indicadores económicos que aparecen referidos a continuación.

Para el cálculo del CF, se utilizó la ecuación 2.42; para el CV, se utilizó la ecuación 2.43; para el CT la ecuación 2.44; para la ganancia la ecuación 2.45; para el VP la ecuación 2.46.

$$CF = \$153955.44$$

$$CV = \$ 371204.99$$

$$CT = \$ 525160.43/\text{año}$$

$$VP = \$ 2163792/\text{año}$$

$$G = 1638631.57 \text{ \$ /año}$$

PCNm	Volumen de prod. (m ³)	Venta (pup) \$/m ³
Cantidad Total de PCNM	1803160	1.2

Cálculo del punto de equilibrio (Anexo No 19): Para la obtención del CUV, se utilizó la ecuación 2.47 y para el N₀ se utilizó la ecuación 2.48.

$$CUV = C_v / N = 0.2058 \text{ \$ / m}^3$$

$$CP/VP = 0,2427$$

$$N_0 = 154863.496 \text{ m}^3$$

Los resultados económicos muestran resultados favorables pues los principales indicadores de eficiencia, el costo por peso, son de 0,24 pesos gastados sobre los pesos distribuidos, altamente factibles, pues nos indica que por cada peso distribuido se obtiene de utilidad 0.76 pesos.

El vapor producido en la caldera se incluye entre los costos de la materia prima, por lo que realizando una inversión que permita eliminar los sobreconsumos de agua y Cloruro de Sodio, así como no tener que realizar limpiezas químicas (incluida en otros gastos), se disminuyen el costo total y se desplaza el punto de equilibrio.

Para esto se requiere realizar una inversión consistente en sustituir el tramo de la línea de condensado de 2" de diámetro por una de 4", para recuperar el condensado del IE 118. Además se propone construir un nuevo tanque de disolución de sal con calentamiento por vapor y la adquisición de 1 rotámetro para regular el flujo de agua para la operación de suavizamiento.

3.7.2 Análisis económico después de las modificaciones realizadas, con el objetivo de ver si es factible la inversión.

Tabla No 10 Datos para realizar el análisis económico después de las modificaciones.

Concepto	Costos (\$)	Tipo de costo
Materiales	99229.606	CV
Combustibles	51247.3	CV
Energía	17677.48	CV
Salario	36747	CF
Seguridad Social	13781.08	CF
Amortización	92348	CF
Mantenimiento	85904.32	CV
Servicios Productivos	58739.2	CV
Otros gastos	53218	CV
Atención al hombre	11079.36	CF
Total	519971.346	

Los costos fijos incluyen la Amortización de la Inversión, pero en el caso del cálculo del VAN, no hace falta, pues él representa una amortización en sí, ya que paga la inversión y los intereses.

CF = \$ 153955.44

CV = \$ 366015.906

CT = \$ 519971.346

VP= 2163792 \$/ año

PCNm	Volumen de prod.(m ³)	Venta (pup) \$/m ³
Cantidad Total de PCNM	1803160	1.2

$$G = 1643820.65 \text{ \$ /año}$$

Las ganancias aumentan con respecto al período anterior.

Cálculo del punto de equilibrio con inversión (anexo No 20).

$$CUV = C_v / N = 0.202 \text{ \$/ m}^3$$

$$CP/VP = 0.2403$$

$$N_0 = C_f / (p_{up} - CUV) = 154416.4994 \text{ m}^3$$

Con esta variante aumenta la ganancia y el punto de equilibrio se aleja del valor de N.

Calculo del VAN. Ver anexo No 17.

Para el cálculo Del VAN se determina el valor de la inversión por la ecuación 2.49.

$$I = \$10312.92$$

Calculo de la inversión.

Costo de instalación de Na Cl	\$ 157.67
Costo de instalación tubería de retorno	\$1000
Costo de tubería	\$ 4160.25
Rotámetro	\$ 5000
Total	\$ 10317.92

$$CF = \$ 153955.44$$

$$CV = \$ 366015.906$$

$$CT = \$ 519971.346$$

$$VP = 2163792 \text{ \$/ año}$$

$$G = 1643820.65 \text{ \$ /año}$$

$$N=6972236.76 \text{ m}^3$$

$$\text{CUV} = 0.202 \text{ \$/ m}^3$$

$$\text{CP/VP} = 0.2403$$

% de interés 10%

$$\text{CV1} = \text{CUV} * \text{N} * 0.8 = 292812.725$$

$$\text{VP1} = \text{pup} * \text{N} * 0.8 = 1731033.6$$

$$\text{CV2} = \text{CUV} * \text{N} * 0.9 = 329414.315$$

$$\text{VP2} = \text{pup} * \text{N} * 0.9 = 1947412.8$$

$$\text{CV3} = \text{CUV} * \text{N} * 1 = 366015.906$$

$$\text{VP3} = \text{pup} * \text{N} * 1 = 2163792$$

Con los datos anteriores se calcula el VAN mediante la ecuación 2.50, citada en la metodología para realizar los cálculos económicos,

$$\text{VAN} = 9614781.401$$

Se acepta la inversión porque el VAN es positivo. El alto valor del mismo se debe a que los costos de Inversión son muy pequeños comparados con las ganancias que tiene la Empresa.

Al calcular el TIR, por la ecuación 2.5, citado en el anexo No 18, se comprobó que para cualquier interés siempre el VAN es positivo, lo que indica que se puede aceptar cualquier interés.

Conclusiones.

1. Al realizar una evaluación general del proceso de producción de vapor en la caldera de la Empresa Comercializadora de Combustibles Matanzas, se determinó que se incumple con el pH del condensado del agua, el índice de consumo de agua y de Na Cl, así como el no retorno del condensado en el intercambiador 118. Las causas que provocan estas desviaciones son:

- El incumplimiento del pH del condensado, se debe a la incorrecta dosificación del VAPEN (aditivo que controla el pH del condensado). Se comprobó experimentalmente que no se dosificaba sistemáticamente con la concentración y cantidad establecida.
- Se incumple con el índice de consumo de agua para la producción de vapor debido a: Medios de medición no confiables, dificultades en la recuperación del condensado, errores en el cálculo del índice de consumo real, excesivas extracciones de fondo y purgas continuas y deficiencia en el control del régimen químico.
- Se incumple con el índice de consumo de cloruro de sodio para la regeneración de la resina por: el agotamiento en corto tiempo de los suavizadores, insuficientes medios de medición, mal estado técnico del tanque de disolución y por pérdidas de Na Cl.

2. Las líneas del sistema de retorno tienen el diámetro necesario para garantizar una buena recuperación del condensado, con excepción del IE 118, que tiene una tubería de 2 pulgadas de diámetro y requiere una de 4 pulgadas.

3. La eficiencia del generador de vapor se calculó por el método directo (90,9%) y por el indirecto (88 %), los que se encuentran dentro de los rangos establecidos para los equipos de generación de vapor.

4. Con las propuestas de modificaciones disminuye el costo de materia prima y por tanto los costos variables, lo que representa incremento de la ganancia de la empresa por este concepto en \$ 5189,08 al año.

Recomendaciones.

1. Establecer por parte de la Dirección del área y de la caldera un estricto cumplimiento de las adiciones de VAPEN al agua de caldera.
2. Adquirir la instrumentación necesaria (rotámetro, toma muestras y flujómetro) para el control del tratamiento de agua.
3. Concluir y ejecutar el proyecto del Sistema de recuperación de condensado del IE 118.
4. Mantener en un 20% de abertura la válvula de purga continua siempre que los parámetros estén en límites. En caso que haya algún parámetro fuera de especificaciones se regulará según las instrucciones del Jefe de la Caldera.

Bibliografía.

1. Análisis Químicos, filtros, suavizadores y sistemas de enfriamientos. ALASTOR. Unidad de Tratamiento de Aguas. Mayo, 2005.
2. Ángel, M. (2005). Conceptos Básicos en Agua de Aporte a Calderas. [on line]. [mayo 2009]. Disponible en: <http://www.ffabiano@inea.com.ar>.
3. Borroto, A; Rubio, A (2007). Combustión y Generación de Vapor. Maestría en Eficiencia Energética. Ministerio de Educación Superior. Editorial Universo Sur. Cienfuegos. 133 p.
4. Carta Tecnológica y Frecuencia Analítica del Régimen Químico. 2008. Agua de Caldera.
5. Curso de Vapor SARCO. Industrial MAS. SA. (2004). Barcelona, España.
6. Cheremisinoff, N. P. Handbook of Chemical Processing Equipment. 2000. World Wide Web Home page at: <http://www.newnespress.com>
7. Franklin, N. (2000). Guía Ambiental No 29. Optimización de la Combustión en calderas y hornos. ARPEL. [on line]. [enero 2009]. Disponible en: <http://www.arpel.org>.
8. Grupo de Gestión eficiente de Energía, KAI, Grupo de Gestión eficiente de Energía, GIEN. 2006. Eficiencia Energética en la Generación y distribución del Vapor. Universidad Autónoma de Occidente. Libertad y Orden UPME. Columbia.
9. Immelblau, D. M. (1997). Basic Principles and calculations Chemical Engineering. Sixth Edition. University of Texas. Prentice Hall Hispanoamericana, S.A.
10. Keenan, J. (1969). Steam Tables. Edition Vancouver. British Columbia. February 1978.
11. KERN, Q, DONALD (1969). Procesos de Transferencia de Calor. Edición Revolucionaria.
12. Ruiz, C. (2005). Manual de Operaciones de Caldera. Empresa Comercializadora de Combustibles Matanzas.
13. Manual de Tratamiento de Agua. VAPENSA. 2008. Vapor y Enfriamiento S.A. Disponible en: <http://www.members.spree.com>.
14. McCabe W, L. (1998). Operaciones Unitarias en Ingeniería Química. Cuarta Edición. España.
15. NC 19-03-20: 1984. Calderas. Requisitos de Seguridad para la explotación y el mantenimiento. Julio, 1985.
16. NC 19-02: 1984. Tuberías para vapor y agua caliente. Requisitos generales para el

- proyecto ejecutivo. Septiembre, 1985.
17. NC 19-02-56: 1985. Calderas de vapor y agua caliente. Requisitos generales de seguridad para la instalación de los manómetros. Octubre, 1986.
 18. NC 19-02-28: 1984. Calderas de vapor y agua caliente. Requisitos generales de seguridad. Octubre, 1985.
 19. NC 19-02-01: 1980. Medios de Trabajo. Requisitos generales de seguridad. Enero, 1981.
 20. NC 19-02-29: 1984. Recipientes a Presión. Requisitos generales de seguridad. Mayo, 1985.
 21. NC ISO/ IEC 17025: 2006. Requisitos Generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración.
 22. Requisitos para la explotación y el mantenimiento. Sistema de Normas de Protección e Higiene del Trabajo. Julio 1985.
 23. Smith, J, M. (1996). Introducción a la Termodinámica en Ingeniería Química. Quinta Edición. México.
 24. Perry, J. (1958). Carta Psicométrica aire – agua a temperaturas medias. Manual del Ingeniero Químico. Tomo I. Tercera Edición UTEHA, México.
 25. Bradley, H. (1992). Petroleum Engineering Handbook. United States of America.
 26. Pons, A. (1987). Termodinámica para ingenieros químicos. Editorial Pueblo y Educación. Ciudad de la Habana. 581 p.
 27. Requisitos para declarar una sala de calderas eficiente. Comisión de evaluación. Destacamento de Calderas. Matanzas. 2005.
 28. Rosabal, J.M. (2006). Hidrodinámica y separaciones mecánicas, tomo 1. Editorial Félix Varela. La Habana. Cuba.
 29. Tápanes, Y. (2007). Propuestas para disminuir el consumo de agua para generación de vapor en la Empresa Comercializadora de Combustibles Matanzas. Diplomado en Gestión Ambiental. Universidad de Matanzas. Cuba.
 30. Vizcón T, R. (2002). “Conferencias de Explotación de generadores de vapor”. Universidad de Matanzas.
 31. Buthod, P. (2000) Crude Oil Properties and Condensate. Properties and Correlations. United States of America.

Bibliografía

32. Valls Figueroa, Ing. Wilfredo; Virgil Corral, Ing. Eduardo; Ávila Estopiñan, Ing. Enildo. (2002). "Curso postgrado de gestión de la calidad II". Departamento de industrial. Facultad industrial economía. UMCC.

Anexos.

Anexo No 1. Datos obtenidos, a partir de la aplicación de Métodos de Ensayo al agua de condensado, para realizar, a partir de ellos, el análisis estadístico.

No	PH condensado	Conductividad	Alcalinidad Total	Dureza Total
1	7,1	3630	904,1	0
2	5,6	3150	907	0
3	7	3510	814	0
4	6	3090	767,4	0
5	7,4	3110	1018,5	0
6	5,4	2490	883	0
7	6,6	3740	816,5	0
8	5,9	3650	967	0
9	7	2110	935	0
10	6,9	2348	820	0
11	6,5	2840	976,3	0
12	5,8	2680	830,5	0
13	5,3	2340	883,1	0
14	5,4	2992	756,9	0
15	6,9	3080	950	0
16	5,6	2890	672,8	0
17	6,5	2805	746,4	0
18	6,7	2800	693,84	0
19	5,5	2900	683,3	0
20	6,3	2865	835,9	0
21	6	2620	630,7	0
22	6,6	2550	951	0
23	6,4	2920	872	0
24	7,1	2880	851	0
25	7,2	2660	893	0
26	6,8	2620	914	0
27	6,5	2630	925	0
28	7,1	2890	766,5	0
29	7,2	3090	845,3	0
30	5,6	3050	872,6	0
31	5,9	2680	756,91	0
32	6,3	2800	830	0
33	5,7	2920	956	0
34	6,1	2740	787,5	0
35	6,3	3260	830,5	0
36	5,6	2826	777,94	0
37	6,7	3290	798,9	0
38	6,4	3240	787,5	0

No	PH condensado	Conductividad	Alcalinidad Total	Dureza Total
39	5,8	3750	651,78	0
40	6	3220	609,73	0
41	5,7	3000	672,8	0
42	5,4	3150	914,6	0
43	6	3200	893,58	0
44	6,5	3500	1002,61	0
45	5,6	3200	1186,5	0
46	5,8	3000	1052	0
47	6	3520	1026	0
48	7	3820	1072	0
49	5,1	3830	1093,3	0
50	4,8	3600	1072	0
51	6,6	3290	1215	0
52	4,8	3230	1128	0

Anexo No 2. Análisis Estadístico realizado a diferentes variables involucradas con el proceso de generación de vapor.

Summary Statistics for pH Condensado.

Count = 80

Average = 6.14875

Median = 6.05

Mode = 6.0

Variance = 0.440505

Standard deviation = 0.663705

Standard error = 0.0742045

Minimum = 4.8

Maximum = 7.6

Range = 2.8

Std. skewness = 0.307149

Std. kurtosis = -1.27205

Coeff. of variation = 10.7942%

Sum = 491.9

The Stat Advisor

This table shows summary statistics for pH condensado. It includes measures of central tendency, measures of variability, and measures of shape. Of particular interest here are the standardized skewness and standardized kurtosis, which can be used to determine whether the sample comes from a normal distribution. Values of these statistics outside the range of -2 to +2 indicate significant departures from normality, which would tend to invalidate any statistical test regarding the standard deviation. In this case, the standardized skewness value is within the range expected for data from a normal distribution. The standardized kurtosis value is within the range expected for data from a normal distribution.

Goodness-of-Fit Tests for pH condensado.

Chi-Square Test

Lower Limit	Upper Limit	Observed Frequency	Expected Frequency	Chi-Square
at or below	5.38526	10	10.00	0.00
5.38526	5.70109	15	10.00	2.50
5.70109	5.93727	6	10.00	1.60
5.93727	6.14875	10	10.00	0.00
6.14875	6.36023	7	10.00	0.90
6.36023	6.59641	8	10.00	0.40
6.59641	6.91224	12	10.00	0.40
above	6.91224	12	10.00	0.40

Chi-Square = 6.20021 with 5 d.f. P-Value = 0.287222

Estimated Kolmogorov statistic DPLUS = 0.0886705

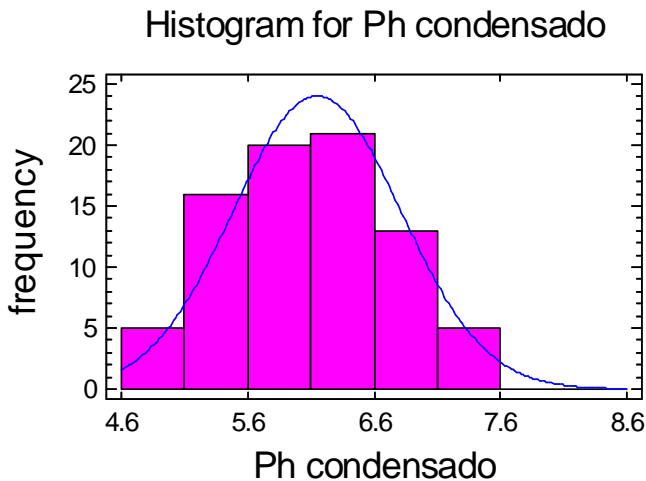
Estimated Kolmogorov statistic DMINUS = 0.0641771

Estimated overall statistic DN = 0.0886705

Approximate P-Value = 0.555421

EDF Statistic	Value	Modified Form	P-Value
Kolmogorov-Smirnov D	0.0886705	0.800633	$\geq 0.10^*$
Anderson-Darling A ²	0.381927	0.385642	0.3915*

*Indicates that the P-Value has been compared to tables of critical values specially constructed for fitting the currently selected distribution. Other P-values are based on general tables and may be very conservative.



This pane shows the results of tests run to determine whether pH condensado can be adequately modeled by a normal distribution. The chi-square test divides the range of pH condensado into non overlapping intervals and compares the number of observations in each class to the number expected based on the fitted distribution. The Kolmogorov-Smirnov test computes the maximum distance between the cumulative distribution of pH condensado and the CDF of the fitted normal distribution. In this case, the maximum distance is 0.0886705. The other EDF statistics compare the empirical distribution function to the fitted CDF in different ways. Since the smallest P-value amongst the tests performed is greater than or equal to 0.10, we cannot reject the idea that pH condensado comes from a normal distribution with 90% or higher confidence.

Summary Statistics for Conductividad.

Count = 66

Average = 3013.74

Median = 2945.0

Mode = 2800.0

Variance = 151830.0

Standard deviation = 389.653

Standard error = 47.963

Minimum = 2110.0

Maximum = 3830.0

Range = 1720.0

Std. skewness = 0.803846

Std. kurtosis = -0.564393

Coeff. of variation = 12.9292%

Sum = 198907.0

The Stat Advisor

This table shows summary statistics for Conductividad. It includes measures of central tendency, measures of variability, and measures of shape. Of particular interest here are the standardized skewness and standardized kurtosis, which can be used to determine whether the sample comes from a normal distribution. Values of these statistics outside the range of -2 to +2 indicate significant departures from normality, which would tend to invalidate any statistical test regarding the standard deviation. In this case, the standardized skewness value is within the range expected for data from a normal distribution. The standardized kurtosis value is within the range expected for data from a normal distribution.

Goodness-of-Fit Tests for Conductividad

Chi-Square Test

Lower Limit	Upper Limit	Observed Frequency	Expected Frequency	Chi-Square
at or below	2565.5	8	8.25	0.01
2565.5	2750.92	7	8.25	0.19

2750.92	2889.58	12	8.25	1.70
2889.58	3013.74	10	8.25	0.37
3013.74	3137.9	5	8.25	1.28
3137.9	3276.56	9	8.25	0.07
3276.56	3461.98	4	8.25	2.19
above	3461.98	11	8.25	0.92

 Chi-Square = 6.72734 with 5 d.f. P-Value = 0.241721

Estimated Kolmogorov statistic DPLUS = 0.0950614

Estimated Kolmogorov statistic DMINUS = 0.0606375

Estimated overall statistic DN = 0.0950614

Approximate P-Value = 0.589822

EDF Statistic	Value	Modified Form	P-Value
Kolmogorov-Smirnov D	0.0950614	0.781278	>=0.10*
Anderson-Darling A^2	0.46624	0.471779	0.2446*

 *Indicates that the P-Value has been compared to tables of critical values specially constructed for fitting the currently selected distribution. Other P-values are based on general tables and may be very conservative.

The Stat Advisor

This pane shows the results of tests run to determine whether Conductividad can be adequately modeled by a normal distribution. The chi-square test divides the range of Conductividad into no overlapping intervals and compares the number of observations in each class to the number expected based on the fitted distribution. The Kolmogorov-Smirnov test computes the maximum distance between the cumulative distribution of Conductividad and

the CDF of the fitted normal distribution. In this case, the maximum distance is 0.0950614. The other EDF statistics compare the empirical distribution function to the fitted CDF in different ways. Since the smallest P-value amongst the tests performed is greater than or equal to 0.10, we can not reject the idea that Conductividad comes from a normal distribution with 90% or higher confidence.

This pane shows the results of tests run to determine whether Conductividad can be adequately modeled by a normal distribution. The chi-square test divides the range of Conductividad into no overlapping intervals and compares the number of observations in each class to the number expected based on the fitted distribution. The Kolmogorov-Smirnov test computes the maximum distance between the cumulative distribution of Conductividad and the CDF of the fitted normal distribution. In this case, the maximum distance is 0.0950614. The other EDF statistics compare the empirical distribution function to the fitted CDF in different ways. Since the smallest P-value amongst the tests performed is greater than or equal to 0.10, we can not reject the idea that Conductividad comes from a normal distribution with 90% or higher confidence.

Summary Statistics for Alcalinidad total.

Count = 76

Average = 895.967

Median = 891.485

Mode = 1072.0

Variance = 26012.0

Standard deviation = 161.283

Standard error = 18.5004

Minimum = 609.73

Maximum = 1250.0

Range = 640.27

Std. skewness = 0.566879

Std. kurtosis = -1.39609

Coeff. of variation = 18.0009%

Sum = 68093.5

The Stat Advisor

This table shows summary statistics for alcalinidad total. It includes measures of central tendency, measures of variability, and measures of shape. Of particular interest here are the standardized skewness and standardized kurtosis, which can be used to determine whether the sample comes from a normal distribution. Values of these statistics outside the range of -2 to +2 indicate significant departures from normality, which would tend to invalidate any statistical test regarding the standard deviation. In this case, the standardized skewness value is within the range expected for data from a normal distribution. The standardized kurtosis value is within the range expected for data from a normal distribution.

Goodness-of-Fit Tests for Alcalinidad total

Chi-Square Test

Lower Limit	Upper Limit	Observed Frequency	Expected Frequency	Chi-Square
at or below	710.435	13	9.50	1.29
710.435	787.183	7	9.50	0.66
787.183	844.575	10	9.50	0.03
844.575	895.967	11	9.50	0.24
895.967	947.358	6	9.50	1.29
947.358	1004.75	8	9.50	0.24
1004.75	1081.5	9	9.50	0.03
above	1081.5	12	9.50	0.66

Chi-Square = 4.42117 with 5 d.f. P-Value = 0.4905

Estimated Kolmogorov statistic DPLUS = 0.0641106

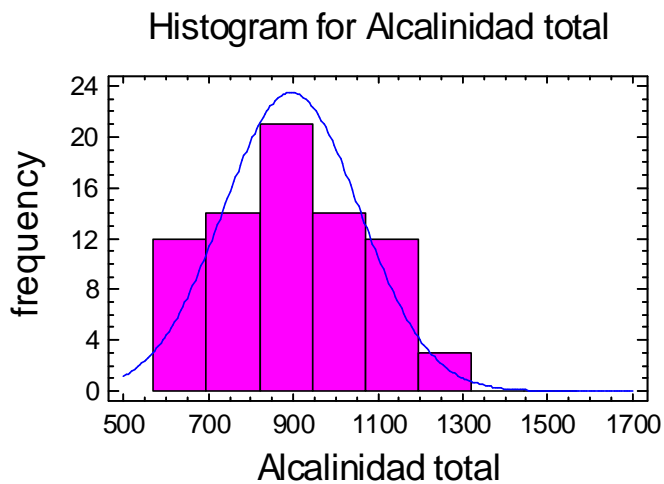
Estimated Kolmogorov statistic DMINUS = 0.0598335

Estimated overall statistic DN = 0.0641106

Approximate P-Value = 0.913597

EDF Statistic	Value	Modified Form	P-Value
Kolmogorov-Smirnov D	0.0641106	0.564513	>=0.10*
Anderson-Darling A ²	0.400913	0.405025	0.3528*

*Indicates that the P-Value has been compared to tables of critical values specially constructed for fitting the currently selected distribution. Other P-values are based on general tables and may be very conservative.



er

This pane shows the results of tests run to determine whether Alcalinidad total can be adequately modeled by a normal distribution. The chi-square test divides the range of Alcalinidad total into no overlapping intervals and compares the number of observations in each class to the number expected based on the fitted distribution. The Kolmogorov-Smirnov

test computes the maximum distance between the cumulative distribution of Alcalinidad total and the CDF of the fitted normal distribution. In this case, the maximum distance is 0.0641106. The other EDF statistics compare the empirical distribution function to the fitted CDF in different ways.

Summary Statistics for Producción de vapor.

Count = 12

Average = 7003.01

Median = 7089.55

Variance = 929230.0

Standard deviation = 963.966

Standard error = 278.273

Minimum = 4989.0

Maximum = 8419.0

Range = 3430.0

Std. skewness = -1.09762

Std. kurtosis = 0.271183

Coeff. of variation = 13.765%

Sum = 84036.1

The Stat Advisor

This table shows summary statistics for Producción de vapor. It includes measures of central tendency, measures of variability, and measures of shape. Of particular interest here are the standardized skewness and standardized kurtosis, which can be used to determine whether the sample comes from a normal distribution. Values of these statistics outside the range of -2 to +2 indicate significant departures from normality, which would tend to invalidate any statistical test regarding the standard deviation. In this case, the standardized skewness value is within the range expected for data from a normal distribution. The standardized kurtosis value is within the range expected for data from a normal distribution.

Goodness-of-Fit Tests for Producción de vapor.

Chi-Square Test

Lower Limit	Upper Limit	Observed Frequency	Expected Frequency	Chi-Square
at or below	6191.71	2	2.40	0.07
6191.71	6758.79	2	2.40	0.07
6758.79	7247.23	3	2.40	0.15
7247.23	7814.3	4	2.40	1.07
above	7814.3	1	2.40	0.82

Chi-Square = 2.16663 with 2 d.f. P-Value = 0.338472

Estimated Kolmogorov statistic DPLUS = 0.137088

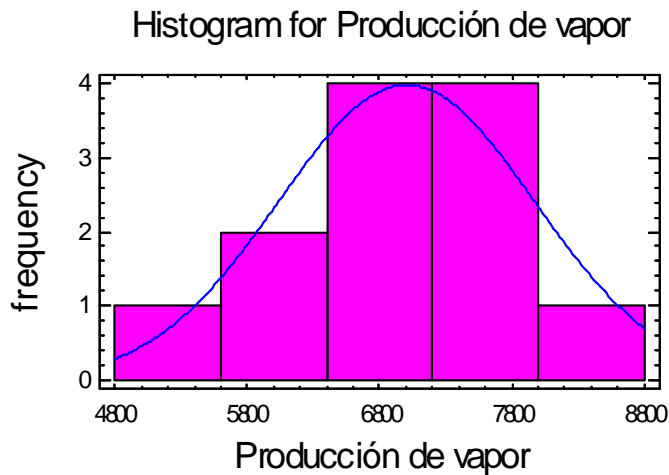
Estimated Kolmogorov statistic DMINUS = 0.170805

Estimated overall statistic DN = 0.170805

Approximate P-Value = 0.875098

EDF Statistic	Value	Modified Form	P-Value
Kolmogorov-Smirnov D	0.170805	0.631887	$\geq 0.10^*$
Anderson-Darling A ²	0.340168	0.366744	0.4329*

*Indicates that the P-Value has been compared to tables of critical values specially constructed for fitting the currently selected distribution. Other P-values are based on general tables and may be very conservative.



The Stat Advisor

This pane shows the results of tests run to determine whether Producción de vapor can be adequately modeled by a normal distribution. The chi-square test divides the range of Producción de vapor into nonoverlapping intervals and compares the number of observations in each class to the number expected based on the fitted distribution. The Kolmogorov-Smirnov test computes the maximum distance between the cumulative distribution of Producción de vapor and the CDF of the fitted normal distribution. In this case, the maximum distance is 0.170805. The other EDF statistics compare the empirical distribution function to the fitted CDF in different ways. Since the smallest P-value amongst the tests performed is greater than or equal to 0.10, we can not reject the idea that Producción de vapor comes from a normal distribution with 90% or higher confidence.

Summary Statistics for IC combustible.

Count = 12

Average = 0.0594667

Median = 0.05945

Mode = 0.0595

Variance = 9.82424E-7

Standard deviation = 0.000991173

Standard error = 0.000286127

Minimum = 0.0581

Maximum = 0.0617

Range = 0.0036

Std. skewness = 1.0842

Std. kurtosis = 0.891681

Coeff. of variation = 1.66677%

Sum = 0.7136

The Stat Advisor

This table shows summary statistics for IC combustible. It includes measures of central tendency, measures of variability, and measures of shape. Of particular interest here are the standardized skewness and standardized kurtosis, which can be used to determine whether the sample comes from a normal distribution. Values of these statistics outside the range of -2 to +2 indicate significant departures from normality, which would tend to invalidate any statistical test regarding the standard deviation. In this case, the standardized skewness value is within the range expected for data from a normal distribution. The standardized kurtosis value is within the range expected for data from a normal distribution.

Goodness-of-Fit Tests for IC combustible

Chi-Square Test

Lower Limit	Upper Limit	Observed Frequency	Expected Frequency	Chi-Square
at or below 0.0586325	0.0586325	3	2.40	0.15
0.0586325	0.0592156	1	2.40	0.82
0.0592156	0.0597178	4	2.40	1.07
0.0597178	0.0603009	2	2.40	0.07

above 0.0603009 2 2.40 0.07

Chi-Square = 2.16654 with 2 d.f. P-Value = 0.338487

Estimated Kolmogorov statistic DPLUS = 0.15325

Estimated Kolmogorov statistic DMINUS = 0.0998965

Estimated overall statistic DN = 0.15325

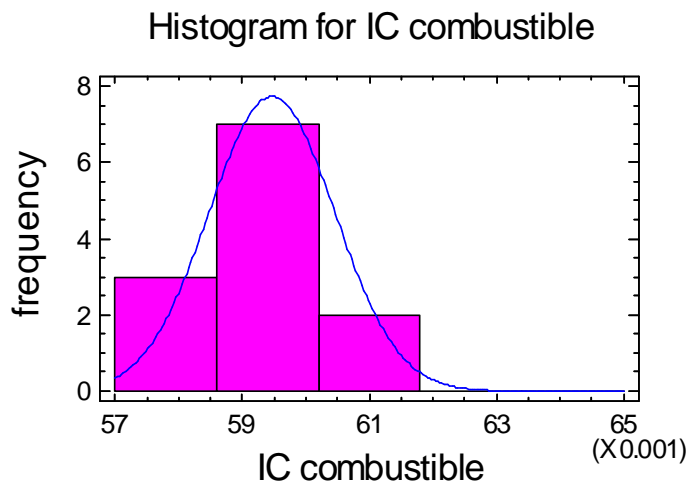
Approximate P-Value = 0.940712

EDF Statistic	Value	Modified Form	P-Value
---------------	-------	---------------	---------

Kolmogorov-Smirnov D	0.15325	0.566944	>=0.10*
----------------------	---------	----------	---------

Anderson-Darling A^2	0.282844	0.304941	0.5689*
----------------------	----------	----------	---------

*Indicates that the P-Value has been compared to tables of critical values specially constructed for fitting the currently selected distribution. Other P-values are based on general tables and may be very conservative.



The Stat / Results pane shows the results of tests run to determine whether IC combustible can be adequately modeled by a normal distribution. The chi-square test divides the range of IC combustible into nonoverlapping intervals and compares the number of observations in each

class to the number expected based on the fitted distribution. The Kolmogorov-Smirnov test computes the maximum distance between the cumulative distribution of IC combustible and the CDF of the fitted normal distribution. In this case, the maximum distance is 0.15325. The other EDF statistics compare the empirical distribution function to the fitted CDF in different ways. Since the smallest P-value amongst the tests performed is greater than or equal to 0.10, we can not reject the idea that IC combustible comes from a normal distribution with 90% or higher confidence.

Summary Statistics for IC Agua.

Count = 12

Average = 0.07975

Median = 0.0799

Variance = 0.0000396155

Standard deviation = 0.00629408

Standard error = 0.00181694

Minimum = 0.0704

Maximum = 0.0887

Range = 0.0183

Std. skewness = -0.388567

Std. kurtosis = -0.786177

Coeff. of variation = 7.89226%

Sum = 0.957

The Stat Advisor

This table shows summary statistics for IC Agua. It includes measures of central tendency, measures of variability, and measures of shape. Of particular interest here are the standardized skewness and standardized kurtosis, which can be used to determine whether the sample comes from a normal distribution. Values of these statistics outside the range of -2 to +2 indicate significant departures from normality, which would tend to invalidate any

statistical test regarding the standard deviation. In this case, the standardized skewness value is within the range expected for data from a normal distribution. The standardized kurtosis value is within the range expected for data from a normal distribution.

Goodness-of-Fit Tests for IC Agua

Chi-Square Test

Lower Limit	Upper Limit	Observed Frequency	Expected Frequency	Chi-Square
at or below	0.0744528	3	2.40	0.15
0.0744528	0.0781554	1	2.40	0.82
0.0781554	0.0813446	3	2.40	0.15
0.0813446	0.0850472	2	2.40	0.07
above	0.0850472	3	2.40	0.15

Chi-Square = 1.3333 with 2 d.f. P-Value = 0.513425

Estimated Kolmogorov statistic DPLUS = 0.152317

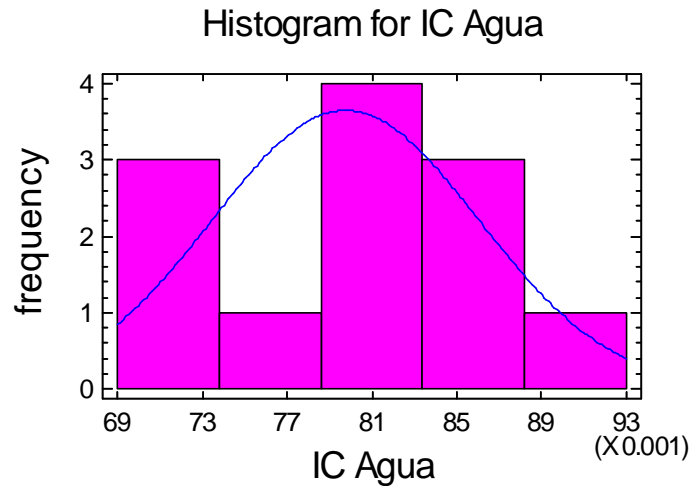
Estimated Kolmogorov statistic DMINUS = 0.163495

Estimated overall statistic DN = 0.163495

Approximate P-Value = 0.905452

EDF Statistic	Value	Modified Form	P-Value
Kolmogorov-Smirnov D	0.163495	0.604844	>=0.10*
Anderson-Darling A^2	0.332146	0.358095	0.4531*

*Indicates that the P-Value has been compared to tables of critical values specially constructed for fitting the currently selected distribution. Other P-values are based on general tables and may be very conservative.



The Stat Advisor

This pane shows the results of tests run to determine whether IC Agua can be adequately modeled by a normal distribution. The chi-square test divides the range of IC Agua into non overlapping intervals and compares the number of observations in each class to the number expected based on the fitted distribution. The Kolmogorov-Smirnov test computes the maximum distance between the cumulative distribution of IC Agua and the CDF of the fitted normal distribution. In this case, the maximum distance is 0.163495. The other EDF statistics compare the empirical distribution function to the fitted CDF in different ways. Since the smallest P-value amongst the tests performed is greater than or equal to 0.10, we can not reject the idea that IC Agua comes from a normal distribution with 90% or higher confidence.

Summary Statistics for IC Na Cl.

Count = 12

Average = 0.874167

Median = 0.875

Variance = 0.000444697

Standard deviation = 0.0210878

Standard error = 0.00608753

Minimum = 0.84

Maximum = 0.9

Range = 0.06

Std. skewness = -0.247002

Std. kurtosis = -0.887252

Coeff. of variation = 2.41234%

Sum = 10.49

The Stat Advisor

This table shows summary statistics for IC NaCl. It includes measures of central tendency, measures of variability, and measures of shape. Of particular interest here are the standardized skewness and standardized kurtosis, which can be used to determine whether the sample comes from a normal distribution. Values of these statistics outside the range of -2 to +2 indicate significant departures from normality, which would tend to invalidate any statistical test regarding the standard deviation. In this case, the standardized skewness value is within the range expected for data from a normal distribution. The standardized kurtosis value is within the range expected for data from a normal distribution.

Goodness-of-Fit Tests for IC Na Cl.

Chi-Square Test

Lower Limit	Upper Limit	Observed Frequency	Expected Frequency	Chi-Square
at or below	0.856419	3	2.40	0.15
0.856419	0.868824	1	2.40	0.82
0.868824	0.879509	2	2.40	0.07

0.879509	0.891915	3	2.40	0.15
above	0.891915	3	2.40	0.15

Chi-Square = 1.33337 with 2 d.f. P-Value = 0.513407

Estimated Kolmogorov statistic DPLUS = 0.124103

Estimated Kolmogorov statistic DMINUS = 0.139719

Estimated overall statistic DN = 0.139719

Approximate P-Value = 0.973266

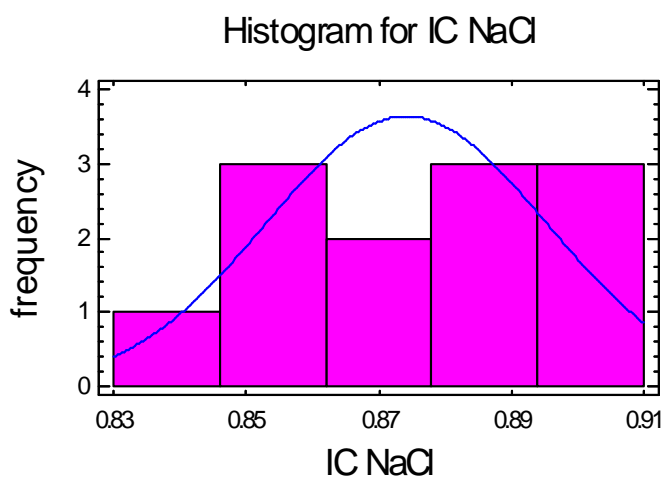
EDF Statistic	Value	Modified Form	P-Value
---------------	-------	---------------	---------

Kolmogorov-Smirnov D	0.139719	0.516888	>=0.10*
----------------------	----------	----------	---------

Anderson-Darling A^2	0.331302	0.357185	0.4553*
----------------------	----------	----------	---------

*Indicates that the P-Value has been compared to tables of critical values specially constructed for fitting the currently selected distribution.

Other P-values are based on general tables and may be very conservative.



The Stat Advisor.

This pane shows the results of tests run to determine whether IC NaCl can be adequately modeled by a normal distribution. The chi-square test divides the range of IC NaCl into nonoverlapping intervals and compares the number of observations in each class to the number expected based on the fitted distribution. The Kolmogorov-Smirnov test computes the maximum distance between the cumulative distribution of IC NaCl and the CDF of the fitted normal distribution. In this case, the maximum distance is 0.139719. The other EDF statistics compare the empirical distribution function to the fitted CDF in different ways. Since the smallest P-value amongst the tests performed is greater than or equal to 0.10, we can not reject the idea that IC NaCl comes from a normal distribution with 90% or higher confidence.

Hypothesis Tests

PH Condensado

Sample mean = 6.39

Sample standard deviation = 1.08

Sample size = 80

95.0% upper confidence bound for mean: $6.39 + 0.200969$ [6.59097]

Null Hypothesis: mean = 7.5

Alternative: less than

Computed t statistic = -9.19272

P-Value = 2.04281E-14

Reject the null hypothesis for alpha = 0.05.

The StatAdvisor

This analysis shows the results of performing a hypothesis test concerning the mean (μ) of a normal distribution. The two hypotheses to be tested are:

Null hypothesis: $\mu = 7.5$

Alternative hypothesis: $\mu < 7.5$

Given a sample of 80 observations with a mean of 6.39 and a standard deviation of 1.08, the computed t statistic equals -9.19272. Since the P-value for the test is less than 0.05, the null hypothesis is rejected at the 95.0% confidence level. The confidence bound shows that the values of mu supported by the data are less than or equal to 6.59097.

Hypothesis Tests

Conductividad

Sample mean = 3013.74

Sample standard deviation = 389.65

Sample size = 66

95.0% upper confidence bound for mean: 3013.74 + 80.0323 [3093.77]

Null Hypothesis: mean = 7000.0

Alternative: less than

Computed t statistic = -83.1118

P-Value = 0.0

Reject the null hypothesis for alpha = 0.05

The Stat Advisor

This analysis shows the results of performing a hypothesis test concerning the mean (μ) of a normal distribution. The two hypotheses to be tested are:

Null hypothesis: $\mu = 7000.0$

Alternative hypothesis: $\mu < 7000.0$

Given a sample of 66 observations with a mean of 3013.74 and a standard deviation of 389.65, the computed t statistic equals -83.1118. Since the P-value for the test is less than 0.05, the null hypothesis is rejected at the 95.0% confidence level. The confidence bound shows that the values of mu supported by the data are less than or equal to 3093.77.

Hypothesis Tests

Alcalinidad total

Sample mean = 895.967

Sample standard deviation = 161.2

Sample size = 76

95.0% upper confidence bound for mean: $895.967 + 30.7953$ [926.762]

Null Hypothesis: mean = 1000.0

Alternative: less than

Computed t statistic = -5.62617

P-Value = 2.71152E-7

Reject the null hypothesis for alpha = 0.05.

The Stat Advisor

This analysis shows the results of performing a hypothesis test concerning the mean (μ) of a normal distribution. The two hypotheses to be tested are:

Null hypothesis: $\mu = 1000.0$

Alternative hypothesis: $\mu < 1000.0$

Given a sample of 76 observations with a mean of 895.967 and a standard deviation of 161.2, the computed t statistic equals -5.62617. Since the P-value for the test is less than 0.05, the null hypothesis is rejected at the 95.0% confidence level. The confidence bound shows that the values of μ supported by the data are less than or equal to 926.762.

Hypothesis Tests

Índice de Consumo del Combustible

Sample mean = 0.059

Sample standard deviation = 0.00099

Sample size = 12

95.0% upper confidence bound for mean: $0.059 + 0.000513244$ [0.0595132]

Null Hypothesis: mean = 0.0705

Alternative: less than

Computed t statistic = -40.2396

P-Value = 1.35447E-13

Reject the null hypothesis for alpha = 0.05.

The Stat Advisor

This analysis shows the results of performing a hypothesis test concerning the mean (μ) of a normal distribution. The two hypotheses to be tested are:

Null hypothesis: $\mu = 0.0705$

Alternative hypothesis: $\mu < 0.0705$

Given a sample of 12 observations with a mean of 0.059 and a standard deviation of 0.00099, the computed t statistic equals -40.2396. Since the P-value for the test is less than 0.05, the null hypothesis is rejected at the 95.0% confidence level. The confidence bound shows that the values of μ supported by the data are less than or equal to 0.0595132.

Hypothesis Tests

Índice de Consumo del H2O

Sample mean = 0.079

Sample standard deviation = 0.006

Sample size = 12

95.0% lower confidence bound for mean: 0.079 - 0.00311057 [0.0758894]

Null Hypothesis: mean = 0.075

Alternative: greater than

Computed t statistic = 2.3094

P-Value = 0.0206712

Reject the null hypothesis for alpha = 0.05.

The Stat Advisor

This analysis shows the results of performing a hypothesis test concerning the mean (μ) of a normal distribution. The two hypotheses to be tested are:

Null hypothesis: $\mu = 0.075$

Alternative hypothesis: $\mu > 0.075$

Given a sample of 12 observations with a mean of 0.079 and a standard deviation of 0.006, the computed t statistic equals 2.3094. Since the P-value for the test is less than 0.05, the null hypothesis is rejected at the 95.0% confidence level. The confidence bound shows that the values of μ supported by the data are greater than or equal to 0.0758894.

Hypothesis Tests

Índice de Consumo de Na Cl.

Sample mean = 0.874

Sample standard deviation = 0.021

Sample size = 12

95.0% lower confidence bound for mean: 0.874 - 0.010887 [0.863113]

Null Hypothesis: mean = 0.85

Alternative: greater than

Computed t statistic = 3.95897

P-Value = 0.001119

Reject the null hypothesis for alpha = 0.05.

The Stat Advisor

This analysis shows the results of performing a hypothesis test concerning the mean (μ) of a normal distribution. The two hypotheses to be tested are:

Null hypothesis: $\mu = 0.85$

Alternative hypothesis: $\mu > 0.85$

Given a sample of 12 observations with a mean of 0.874 and a standard deviation of 0.021, the computed t statistic equals 3.95897. Since the P-value for the test is less than 0.05, the null hypothesis is rejected at the 95.0% confidence level. The confidence bound shows that the values of μ supported by the data are greater than or equal to 0.863113.

Summary Statistics for IC energie

Count = 12

Average = 3.46602

Median = 3.43947

Variance = 0.062598

Standard deviation = 0.250196

Standard error = 0.0722254

Minimum = 3.10026

Maximum = 3.8624

Range = 0.762144

Std. skewness = 0.271339

Std. kurtosis = -0.972941

Coeff. of variation = 7.21854%

Sum = 41.5922

The Stat Advisor

This table shows summary statistics for IC energie. It includes measures of central tendency, measures of variability, and measures of shape. Of particular interest here are the standardized skewness and standardized kurtosis, which can be used to determine whether the sample comes from a normal distribution. Values of these statistics outside the range of -2 to +2 indicate significant departures from normality, which would tend to invalidate any statistical test regarding the standard deviation. In this case, the standardized skewness value is within the range expected for data from a normal distribution. The standardized kurtosis value is within the range expected for data from a normal distribution.

Goodness-of-Fit Tests for IC energie

Chi-Square Test

Lower Limit	Upper Limit	Observed Frequency	Expected Frequency	Chi-Square
at or below	3.25545	4	2.40	1.07
3.25545	3.40263	2	2.40	0.07
3.40263	3.52941	1	2.40	0.82
3.52941	3.67659	2	2.40	0.07
above	3.67659	3	2.40	0.15

Chi-Square = 2.16676 with 2 d.f. P-Value = 0.33845

Estimated Kolmogorov statistic DPLUS = 0.174352

Estimated Kolmogorov statistic DMINUS = 0.129686

Estimated overall statistic DN = 0.174352

Approximate P-Value = 0.858979

EDF Statistic	Value	Modified Form	P-Value
Kolmogorov-Smirnov D	0.174352	0.645011	$\geq 0.10^*$
Anderson-Darling A ²	0.341173	0.367827	0.4304*

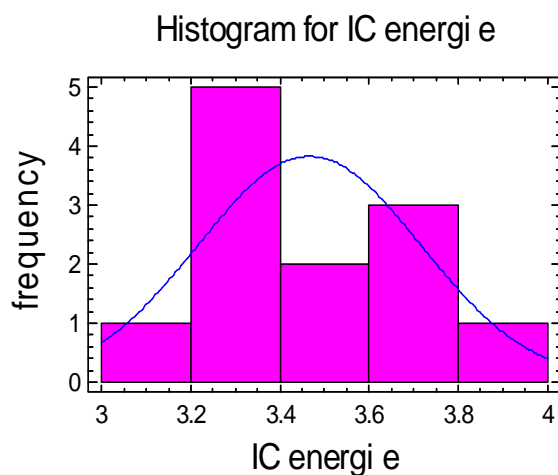
*Indicates that the P-Value has been compared to tables of critical values specially constructed for fitting the currently selected distribution.

Other P-values are based on general tables and may be very conservative.

The Stat Advisor

This pane shows the results of tests run to determine whether IC energie can be adequately modeled by a normal distribution. The chi-square test divides the range of IC energie into non-overlapping intervals and compares the number of observations in each class to the number expected based on the fitted distribution. The Kolmogorov-Smirnov test computes the maximum distance between the cumulative distribution of IC energie and the CDF of the fitted normal distribution. In this case, the maximum distance is 0.174352. The other EDF statistics compare the empirical distribution function to the fitted CDF in different ways.

Since the smallest P-value amongst the tests performed is greater than or equal to 0.10, we can not reject the idea that IC energie comes from a normal distribution with 90% or higher confidence.



Hypothesis Tests of energie.

Sample mean = 3.46602

Sample standard deviation = 0.25

Sample size = 12

95.0% upper confidence bound for mean: 3.46602 + 0.129607 [3.59563]

Null Hypothesis: mean = 4.4

Alternative: less than

Computed t statistic = -12.9416

P-Value = 2.66592E-8

Reject the null hypothesis for alpha = 0.05.

The Stat Advisor

This analysis shows the results of performing a hypothesis test concerning the mean (μ) of a normal distribution. The two hypotheses to be tested are:

Null hypothesis: $\mu = 4.4$

Alternative hypothesis: $\mu < 4.4$

Given a sample of 12 observations with a mean of 3.46602 and a standard deviation of 0.25, the computed t statistic equals -12.9416. Since the P-value for the test is less than 0.05, the null hypothesis is rejected at the 95.0% confidence level. The confidence bound shows that the values of μ supported by the data are less than or equal to 3.59563.

Anexo No 3. Carta Tecnológica y frecuencia analítica del régimen químico.

Agua de Calderas						
Fe	Alcalinidad Total (M) meq/L	Sulfito mg/L	Fosfato mg/L	Sílice	Conductividad	PH
0.4 ppm Máximo	1000 Máximo	1.5 - 20	1.5 -20	300 Máximo	7000 us/cm	9.5-12

Condensado		
Dureza Total	PH	Conductividad
0	7.5 - 8.5	10

Agua Suavizada (Dureza Total)	
A	B
DT=0	DT hasta 5 ppm Régimen Normal

Frecuencia Analítica

	PH	Conduct.	Alc. P	Alc. M	Sulfito	Fosfato	Cloruro	Dureza T	Dca	Dmg	SO4	Mat. Org.	Fe
Agua Caldera	1/día	1/día	1/día	1/día	1/día	1/día	1/día	1/día	-	-	-	-	1/mes
Condensado	1/día	1/día	-	-	-	-	-	1/día	-	-	-	-	-
Agua Suavizada	1/día	1/día	-	-	-	-	-	1/día	-	-	-	-	-
Agua Alimentar	1/día	1/día	1/día	1/día	-	-	1/día	1/día	-	-	-	-	1/mes
Agua Cruda	1/mes	1/mes	1/mes	1/mes	-	-	1/mes	1/mes	1/mes	1/mes	1/mes	1/mes	-

El control de los parámetros se hará mediante la extracción continua, las extracciones periódicas se realizarán cuando alguno de los parámetros supere el valor normado, la misma se realizará con 3 extracciones de fondo a intervalo de 3 segundos cada una.

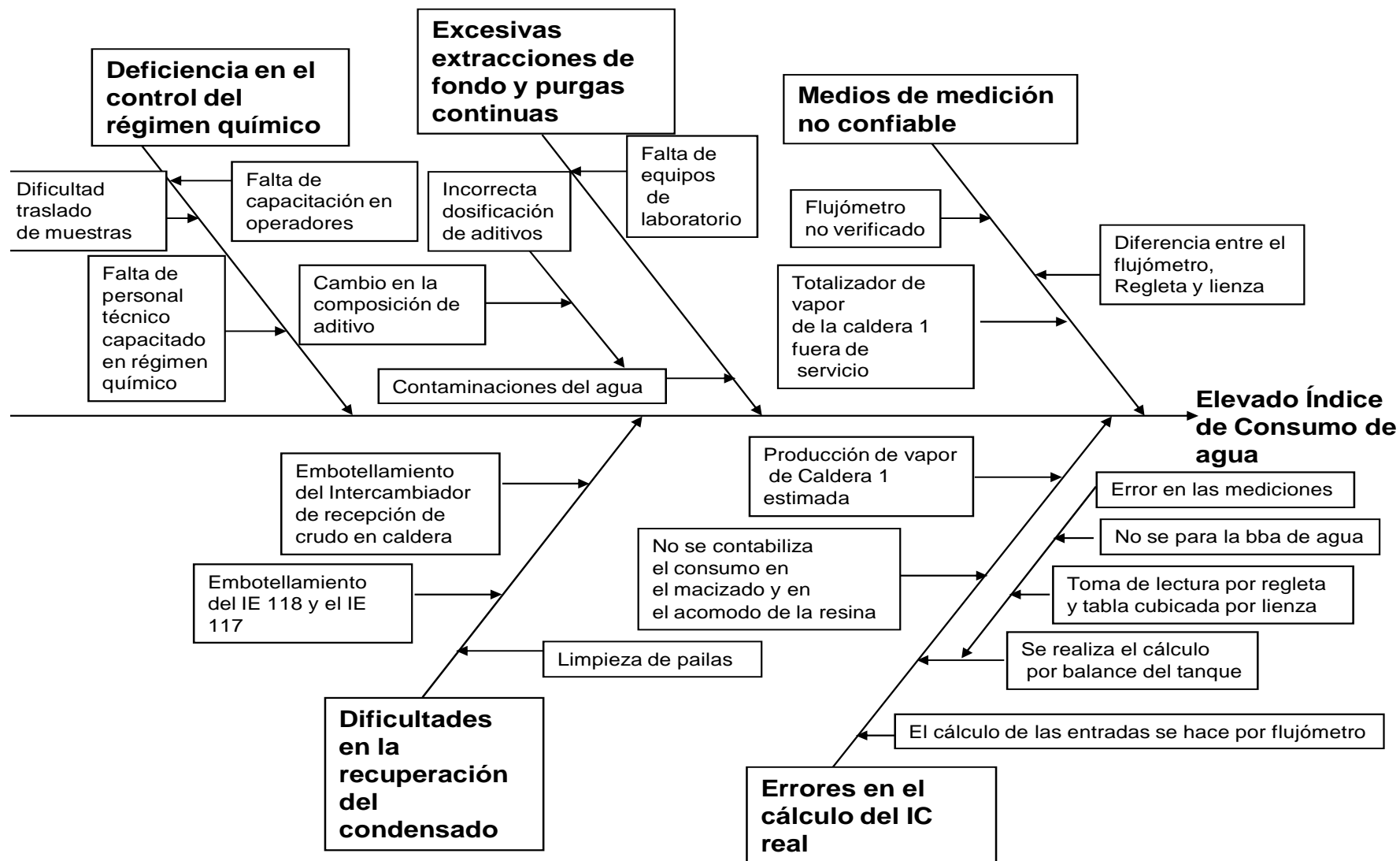
VAPEN 220. Se controla por el PH.

VAPEN 300. Se controla por los valores del fosfato.

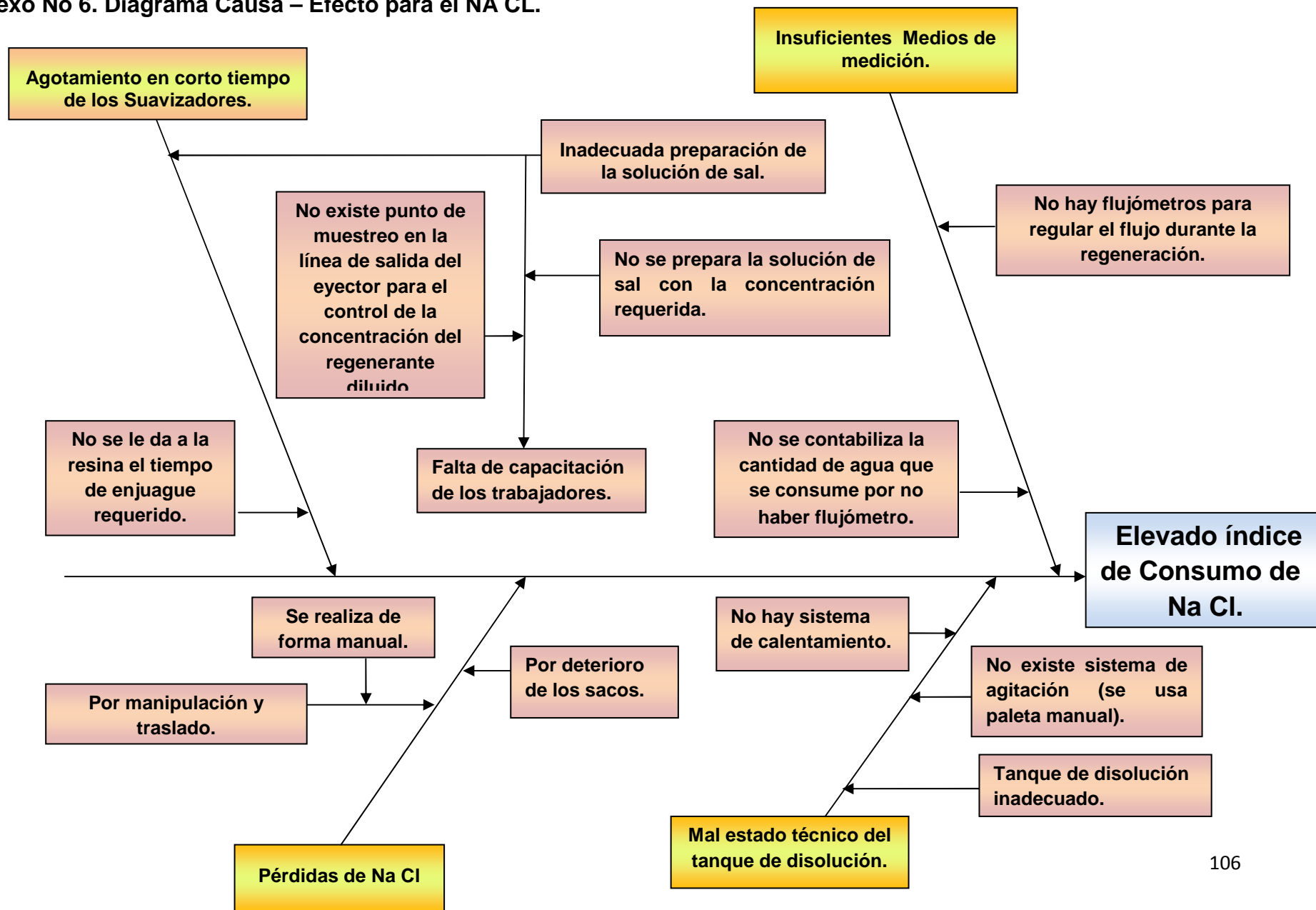
Anexo No 4. Datos de Producción y Consumos Mensuales en el año 2008, realizados en Caldera, de los cuales se derivó el análisis estadístico.

No	Producción de vapor	IC combustible	IC Agua	IC Na Cl	IC Electricidad
1	7735	0,0604	0,0887	0,87	3.8
2	7544	0,0593	0,087	0,89	3.9
3	8419	0,0595	0,0861	0,9	3
4	7746	0,0595	0,0797	0,87	3.2
5	7736	0,0582	0,0716	0,85	3.15
6	6273,5	0,0581	0,0836	0,84	3.4
7	5750	0,0594	0,0991	0,9	3.59
8	6651,5	0,0599	0,0798	0,85	3.3
9	4989	0,0617	0,0704	0,88	3.5
10	7061,1	0,059	0,0766	0,88	3.4
11	7013	0,0586	0,0825	0,86	3.7
12	7118	0,06	0,071	0,9	3.6

Anexo No 5. Diagrama Causa – Efecto para el índice de consumo de agua.



Anexo No 6. Diagrama Causa – Efecto para el NA CL.



Anexo No 7. Representación Gráfica del comportamiento de los consumos para cada una de las materias primas y la producción de vapor.

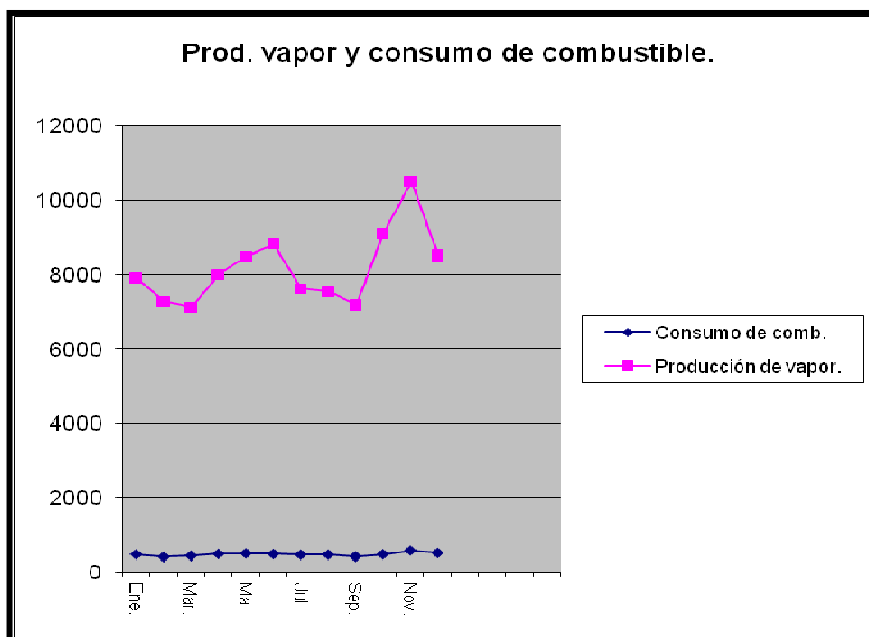


Gráfico No 1. Producción de vapor y consumo de combustible en el año 2008.

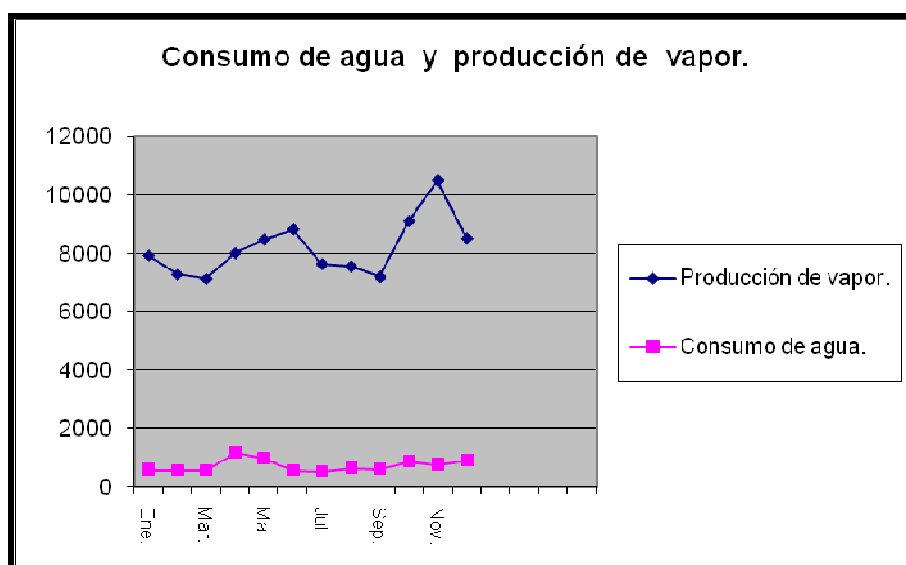


Gráfico No 2. Producción de vapor y consumo de agua en el año 2008.

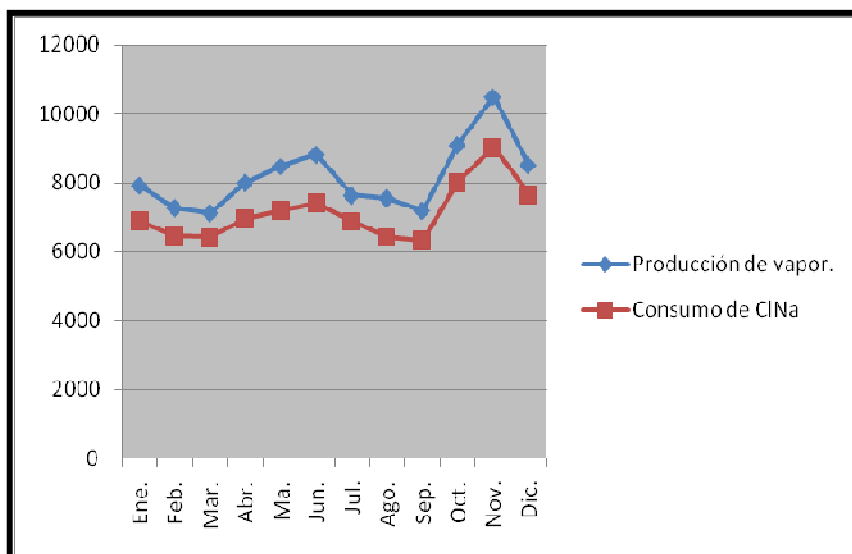


Gráfico No 3. Consumo de Na Cl y producción de vapor.

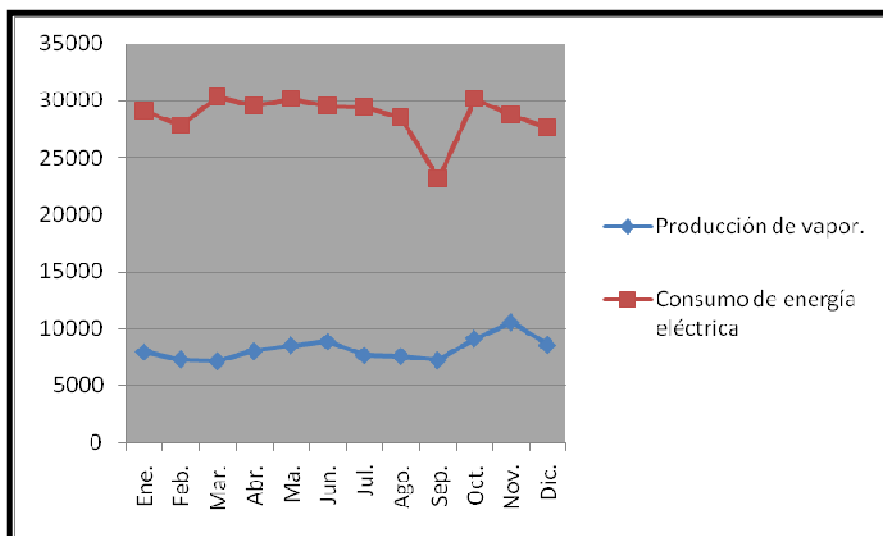


Gráfico No 4. Producción de vapor y consumo de energía eléctrica.

Anexo No 8. Gráficos de los resultados del análisis estadístico para el comportamiento de los índices de consumo de cada una de las materias primas.

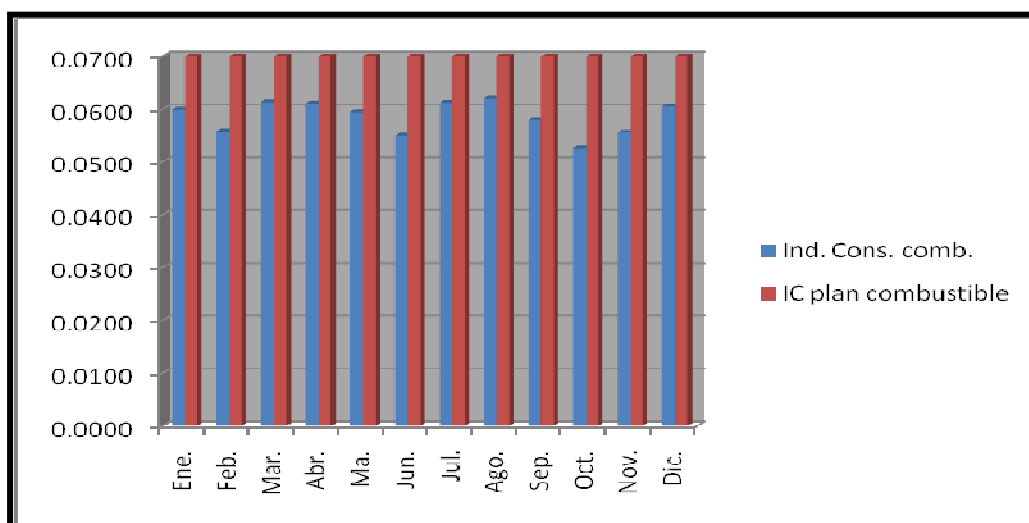


Gráfico No 5. Índice de consumo de combustible para la producción de vapor en el año 2008 .

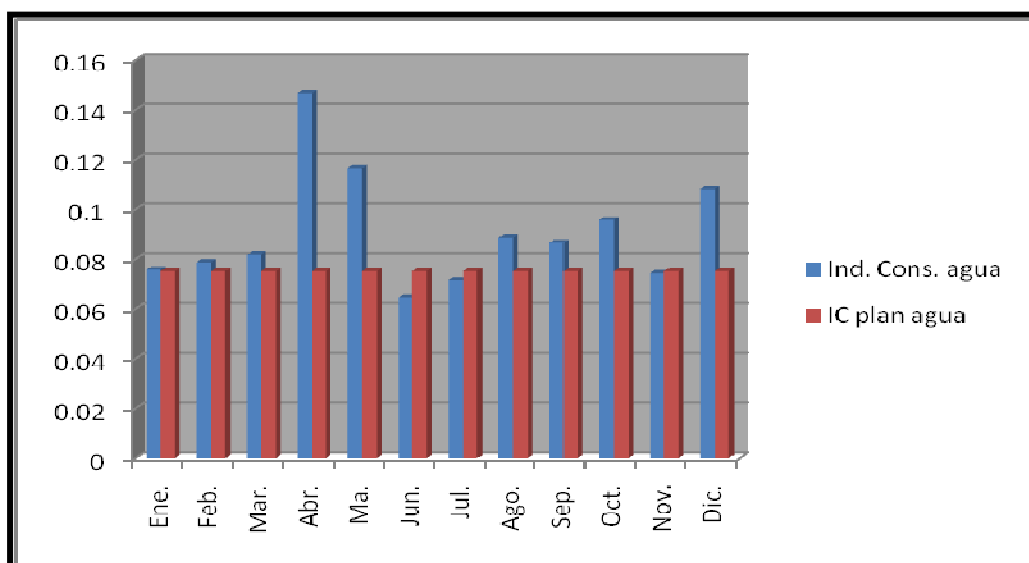


Gráfico No 6. Índices de consumo de agua para la producción de vapor durante el año 2008.

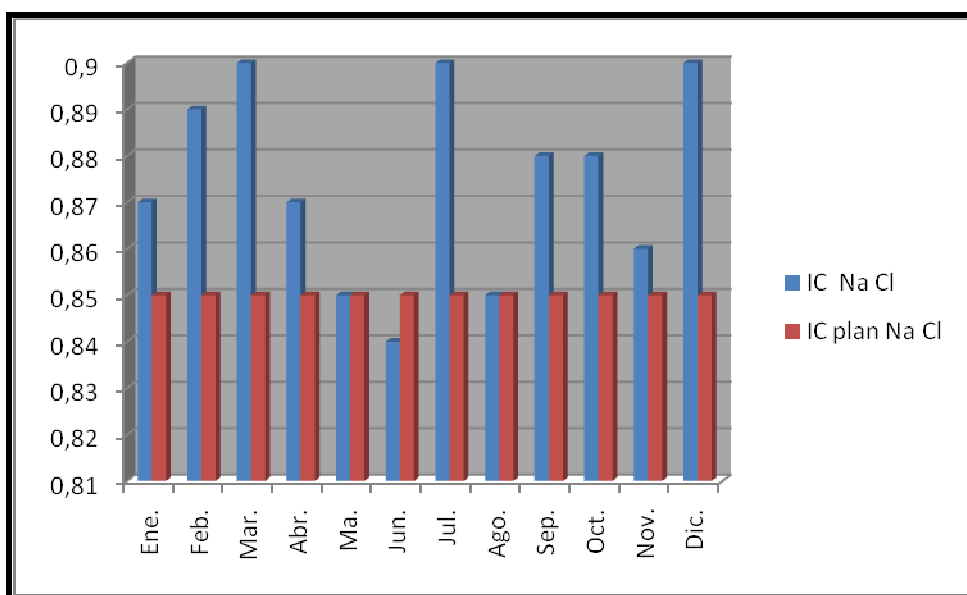


Gráfico No 7. Índices de consumo de Na Cl para la producción de vapor durante el año 2008.

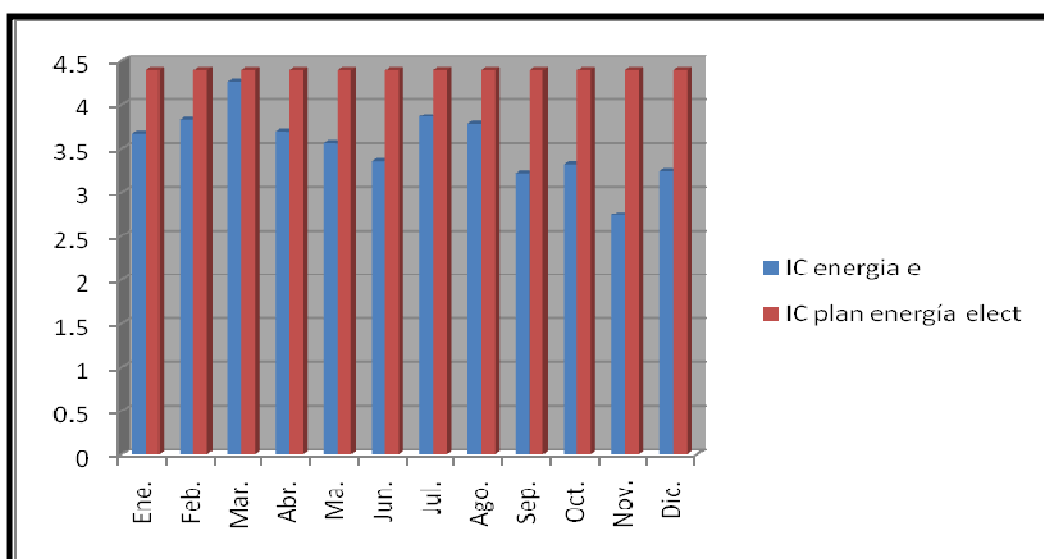


Gráfico No 8. Índice de consumo de energía eléctrica para la producción de vapor durante el año 2008.

Anexo No 9. Imágenes de la afectación que hace el pH ácido en el interior de la caldera.



Fig. No 1 a-) Imagen del Interior de la caldera, afectada por el pH ácido, antes de la limpieza química.



Fig. No 1 b-) Imagen de los tubos que se encuentran en el interior de la caldera, afectada por el pH ácido, antes de la limpieza química.

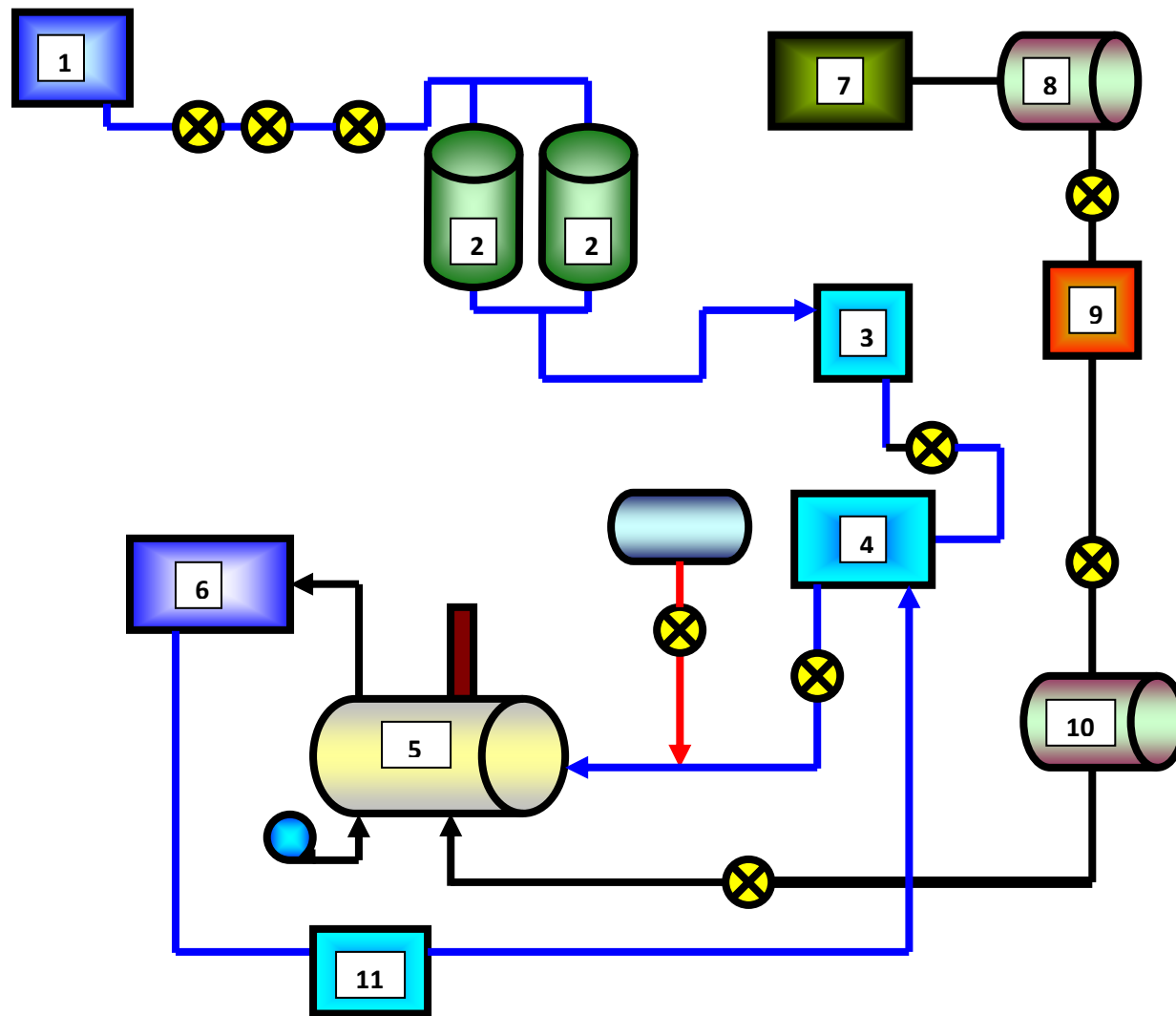
Anexo No 10. Resultados del pH del condensado para cada uno de los consumidores antes de supervisar a los operadores encargados de la aditivación.

Análisis de pH del condensado						
IE 201- A	IE 201- B	I. CTE A. Guiter	I. CTE Este Habana	Condensado la Caldera	Tk-38	I. 117
5.9	6.2	6.6	6.4	6.7	6.3	5.8
6.3	5.9	6.8	6.2	7.0	7.1	7.3
7.8	7.6	6.1	Fuera de Servicio.	8.1	6.3	6.2
6.5	6	5.8	6	6.3	5.7	6
6.1	5.8	Fuera servicio.	7.0	6.0	6.8	5.7
6.8	5.6	6.9	6.3	6.2	6.5	6.8
6.2	6.2	6.8	6.5	6.8	6.4	6
6.5	5.9	6.4	6.2	6.2	6.2	6.5
6.4	6.3	5.8	6.8	6.5	5.9	6.7
6.9	6.7	6.3	5.8	6.8	6.7	6.2
6.5	6.3	7	6.2	5.9	6.3	5.9
5.4	6.4	6.3	6.2	7	7.3	5.6
7	6.2	6.5	5.9	6.3	5.8	7.1
6.5	6.1	5.8	6.2	5.8	6.4	6.2
6.2	7.5	5.6	6.4	6.7	6.6	6.8
6.8	5.9	6.5	5.9	6.2	7	6
5.9	5.4	6.8	6.5	5.9	5.9	5.4

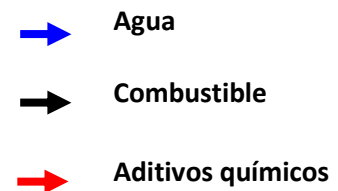
Anexo No 11. Resultados del pH en cada uno de los consumidores durante el tiempo que se supervisó la adición de Vapen.

Análisis de PH del condensado						
IE 201- A	IE 201- B	I. CTE Guiteras	I. CTE Habana	E Condensado de la Caldera	Tk-38	I. 117
7.6	8.0	7.4	7.0	7.8	7.5	7.3
8.1	8.2	8	7.2	7.0	7.8	7.6
7.8	7.6	7.1	8.0	8.1	8.3	7.8
8.4	7.5	7.8	7.6	7.3	7.5	7.5
7.9	7.3	7.2	7.0	7.5	8.0	7.7
8.4	8.6	6.9	7.3	6.9	7.1	8.2
8.1	7.2	8.1	7.5	7.8	7.5	7.0
7.5	7.1	7.4	8.1	8.2	7.2	7.5
7.2	8.2	7.3	7.8	7.5	7.9	7.2
7.0	8.1	8.2	7.9	8.0	7.7	7.2
8.1	7.1	7.8	7.5	7.9	8.4	7.1
8.0	7.9	7.9	7.2	7.0	7.3	7.9
8.2	7.4	7.2	8.4	8.2	8.4	8.1
7.6	8.2	7.4	6.9	8.1	7.9	7.2
7.1	7.5	7.8	7.4	7.2	7.4	6.8
7.5	7.9	8.0	7.1	7.0	7.0	7.4
6.9	7.4	7.8	7	7.9	8.5	7.1
7.3	7.6	7.9	7.5	7.7	8.2	7.3

Anexo No 12. Diagrama de flujo del Proceso de generación de vapor de la caldera, en la Empresa Comercializadora de Combustibles de Matanzas.



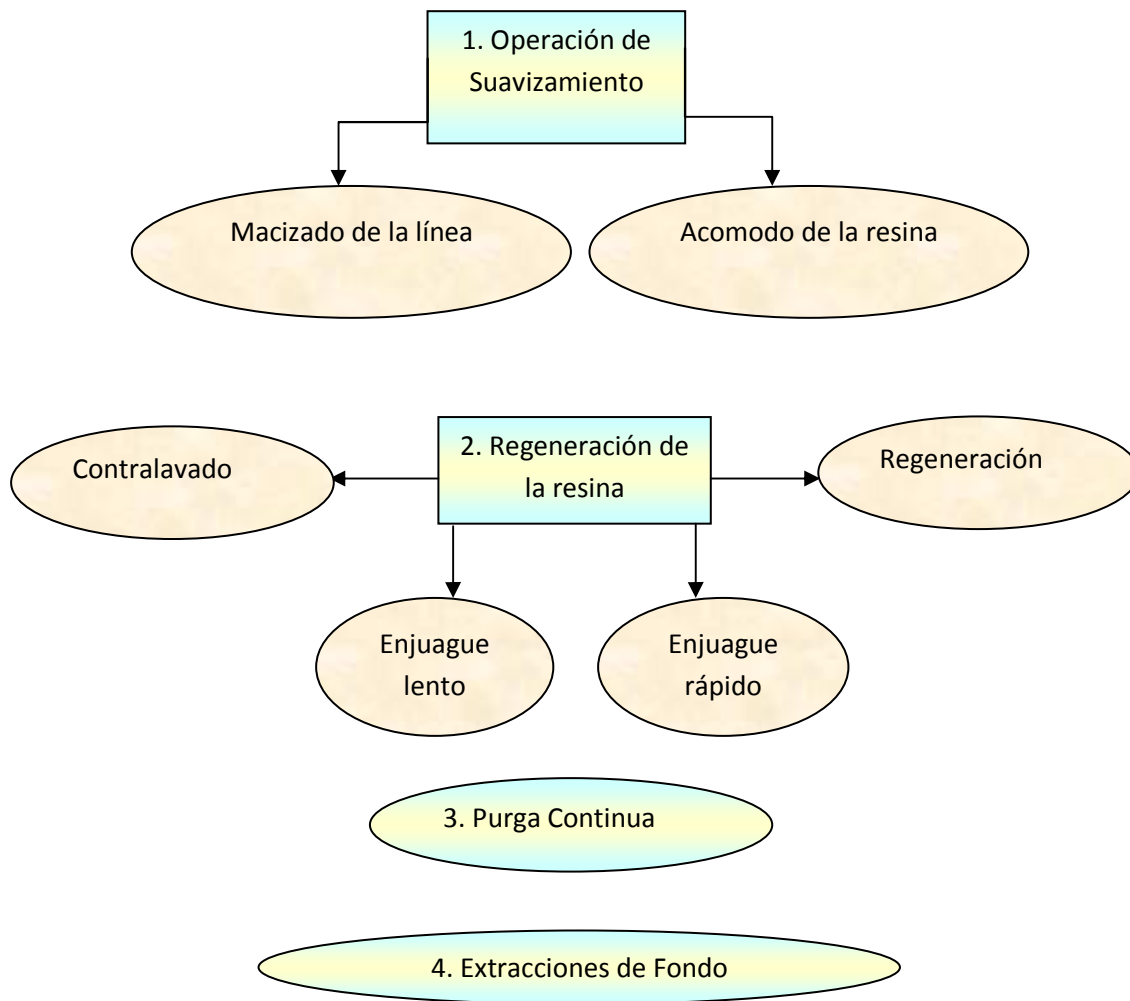
- Leyenda**
1. Cisterna
 2. Suavizadores
 3. Tanque de Agua Tratada.
 4. Tanque de Alimentación de la caldera de Agua.
 5. Caldera.
 6. Consumidores de vapor.
 7. Tanque de almacenamiento de petróleo.
 8. Intercambiador de calor.
 9. Tanque de alimentación de combustible con serpentines.
 10. Precalentador.
 11. Tanque de recuperación de condensado.



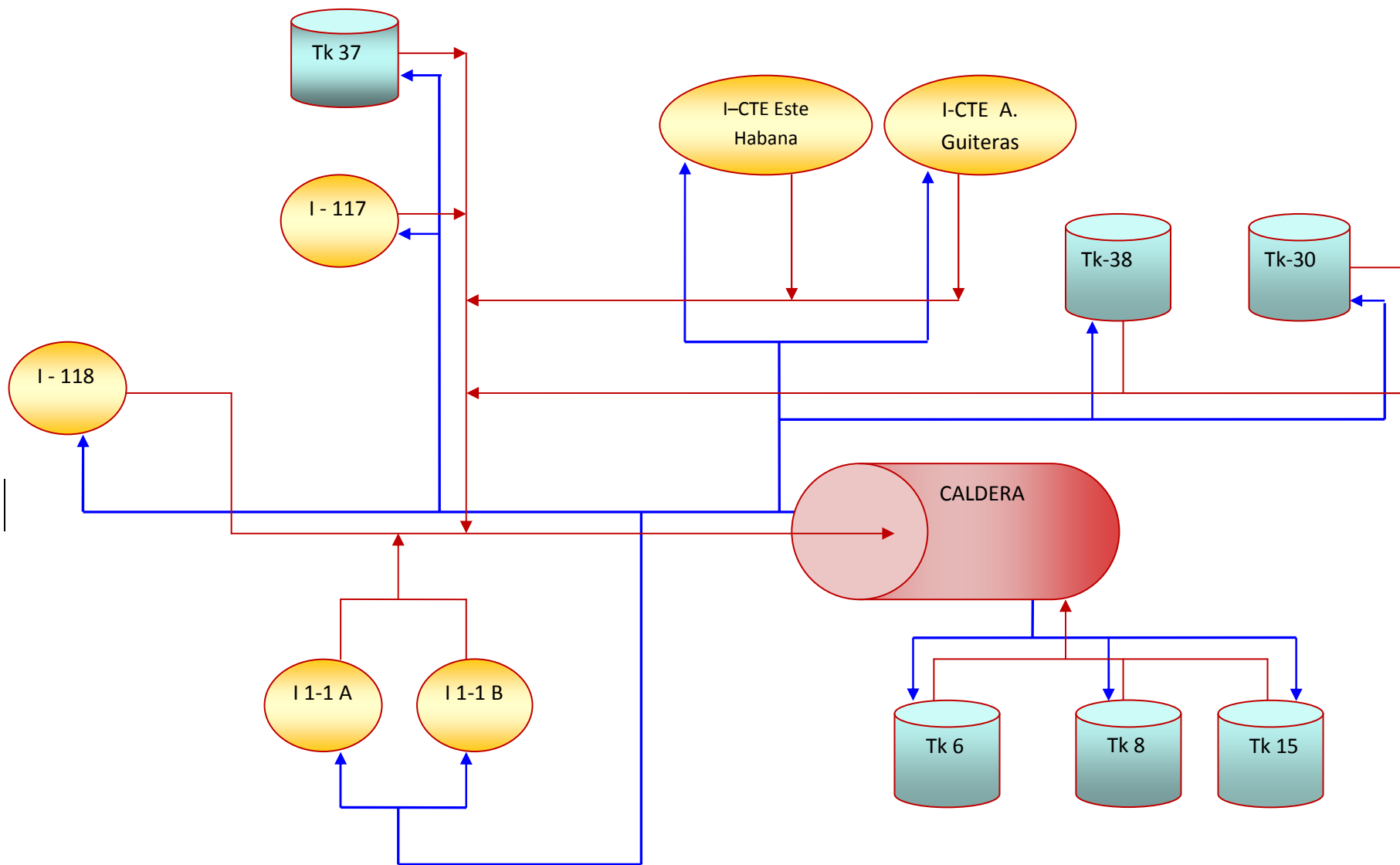
Anexo No 13. Promedio de agua que se pierde por las purgas.

% de apertura de la válvula reguladora.	Cantidad (litros/hora).	Presión en Kg/cm².
5	57.14	9
10	81.69	9-9.5
15	235	8.5
20	302	6.5
25	126.6	4.5-8
30	282	6.5-7
35	430	8.5-9
40	410	7-7.5
45	70.58	6
50	363.3	8-8.5
55	348.8	8.5-9
60	440	8
65	410	9
70	220	7-8
75	433.3	7.5-8
80	600	8
85	344	8.5-9
90	500	8
95	150.76	9
100	436.3	6.5-7.5

Anexo No 14. Operaciones que consumen agua.



Anexo No 15. Diagrama de retorno de condensado a la caldera y consumidores de Vapor.



Anexo No 16. Imágenes de algunos accesorios y equipos ubicados en el área de la caldera.



Fig. No 2 a-) Caldera pirotubular de la Empresa Comercializadora de Combustibles Matanzas.



Fig. No 2 b-) Tanques de almacenamiento de Agua y Combustible, de la Caldera, de la Empresa Comercializadora de Combustibles Matanzas.



Fig. No 2 c-) Suavizadores donde se le hace el tratamiento previo al agua de calderas, para eliminar su dureza total.



Fig. No 2 c-) Intercambiadores de Calor: CTE A. Guiteras y CTE. Este Habana.



Fig. No 2 d-) Manómetro medidor de Presión (bar), a la entrada del Intercambiador de CTE Este Habana.

Anexo No 17. Cálculo del VAN.

Anexos

Calculo del VAN											
Concepto	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I	10317,92	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CF	0	153955,44	153955,44	153955,44	153955,44	153955,44	153955,44	153955,44	153955,44	153955,44	153955,44
CV	0	292812,7248	329414,315	366015,906	366015,906	366015,906	366015,906	366015,906	366015,906	366015,906	366015,906
Total de pago	10317,92	446768,1648	483369,755	519971,346	519971,346	519971,346	519971,346	519971,346	519971,346	519971,346	519971,346
Total de cobro	0	1731033,6	1947412,8	2163792	2163792	2163792	2163792	2163792	2163792	2163792	2163792
Mov. de fondo	-10317,9	1284265,435	1464043,04	1643820,65	1643820,65	1643820,65	1643820,65	1643820,65	1643820,65	1643820,65	1643820,65
Mov. de for act	-10317,9	1273947,515	2737990,56	4381811,21	6025631,87	7669452,52	9313273,18	10957093,8	12600914,5	14244735,1	15888555,8
Mov. For actualizado	-10317,9	1167514,032	1209952,93	1235026,79	1122751,62	1020683,3	927893,905	843539,914	766854,467	697140,424	633764,022
VAN		9614803,481									

$$CV1 = CUV * N * 0.8 = 292812,725$$

$$CV2 = CUV * N * 0.9 = 329414,315$$

$$CV3 = CUV * N * 1 = 366015,906$$

$$VP1 = pup * N * 0.8 = 1731033,6$$

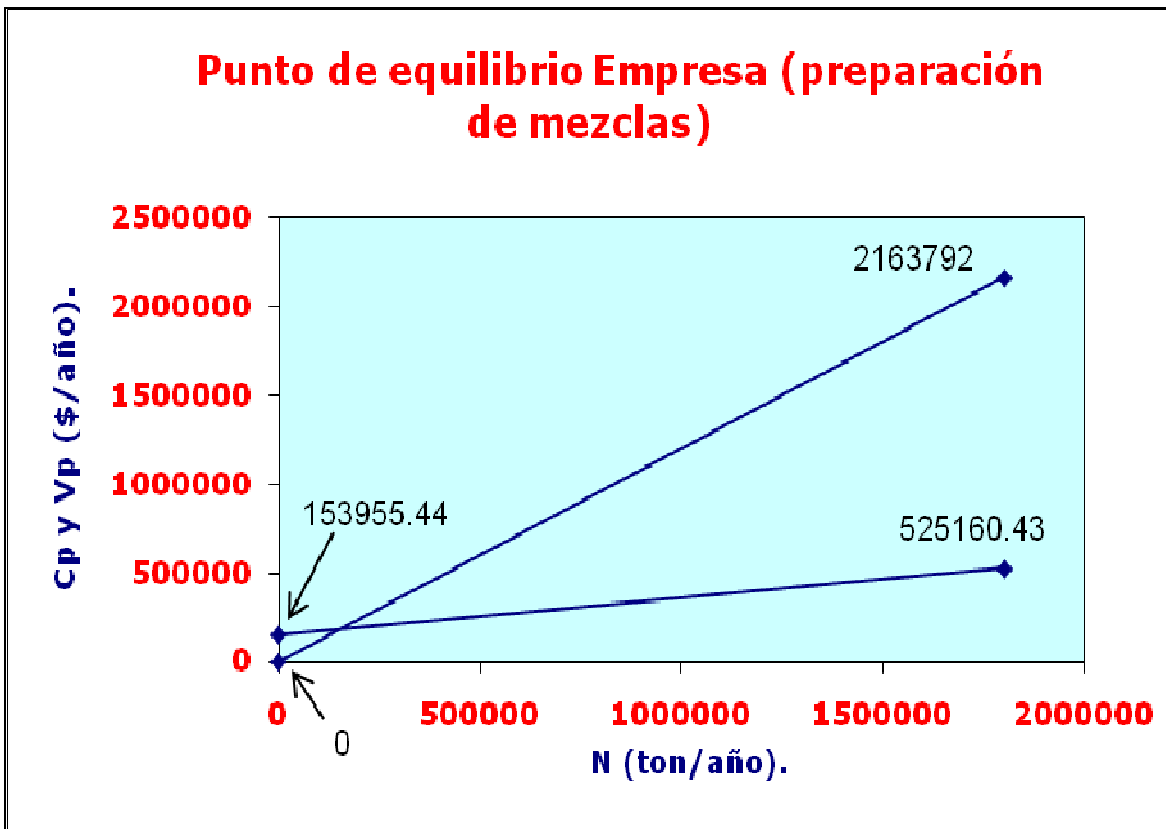
$$VP2 = pup * N * 0.9 = 1947412,8$$

$$VP3 = pup * N * 1 = 2163792$$

Anexo No 18. Cálculo del TIR.

Concepto	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
VAN 20 % interés	-10317,9	1070221,196	1016696,56	951285,101	792737,584	660614,653	550512,211	458760,176	382300,147	318583,455	265486,213
VAN 30 % interés	-10317,9	987896,4886	866297,66	748211,495	575547,304	442728,695	340560,535	261969,642	201515,109	155011,623	119239,71
VAN 40 % interés	-10317,9	917332,4537	746960,737	599060,005	427900,004	305642,86	218316,328	155940,235	111385,882	79561,3442	56829,5315
VAN 50 % interés	-10317,9	856176,9568	650685,798	487057,972	324705,314	216470,21	144313,473	96208,982	64139,3214	42759,5476	28506,365
VAN 60 % interés	-10317,9	802665,897	571891,814	401323,402	250827,126	156766,954	97979,3462	61237,0913	38273,1821	23920,7388	14950,4618
VAN 100 % interés	-10317,9	642132,7176	366010,761	205477,582	102738,791	51369,3954	25684,6977	12842,3489	6421,17443	3210,58721	1605,29361

Anexo No 19. Punto de equilibrio del comportamiento de la Empresa en el año 2008, según el costo para la producción de mezclas.



Anexo No 20. Gráfico de Punto de Equilibrio después de realizada la inversión en la empresa.

