

Universidad de Matanzas

“Camilo Cienfuegos”

Facultad de Ingenierías

Departamento de Química e Ingeniería Química



Título: “Propuesta de alternativa para mejorar el sistema de generación y consumo de vapor de la fábrica de cola “Juan Ripoll”.

Tesis presentada en opción al título de Ingeniero Químico

Autora: Iliet de la Caridad Estradet Sánchez.

Tutores: Ms. C. Leiby Montes de Oca Rodríguez.

DrC. Yamilé Martínez Ochoa.

Matanzas, Cuba

Julio 2013

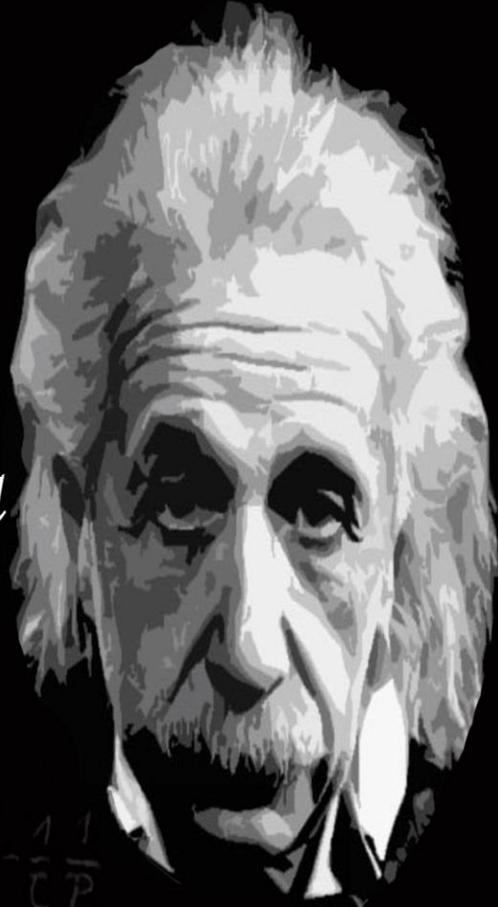
Declaración de autoría.

Yo, Iliet de la Caridad Estradet Sánchez, declaro que soy la única autora de este trabajo de diploma y lo pongo a disposición de la fábrica de cola “Juan Ripoll” y de la Universidad de Matanzas “Camilo Cienfuegos”, para hacer uso del mismo con el objetivo y finalidad que se estime conveniente.

Iliet de la Caridad Estradet Sánchez

*“A mente que se abre a uma
nova idéia jamais voltará ao
seu tamanho original”*

*“La mente que se abre a una
nueva idea jamás volverá a
su tamaño original”*



$$E=mc^2$$

*Albert
Einstein*

Dedicatoria.

- A mis padres, en especial a mi mamá, a quien le debo todo lo que soy y por el estímulo, sacrificio y amor que me ha dado siempre, por ser aquella persona que no es feliz si yo no lo estoy y por mantener en mí, el deseo de superar y triunfar para poder ser alguien útil en la vida.
- A mis tías, por su entrega, cariño y apoyo incondicional en todos los años de mi vida.
- A mis primos y hermanos por su preocupación y ayuda.
- A Renier y Martha que son personas muy importantes en mi vida que aunque estén lejos siempre estarán en mi corazón.
- A todas las personas que de una forma u otra me han ayudado y han confiado en mí.

A todos Muchas Gracias

Agradecimientos.

- A mi mamá, por haber sido mi guía durante todos mis años de estudio y por seguirme en cada paso de mi vida, por confiar en mí, por ser lo que más quiero en este mundo por encima de cualquier cosa.
- A mis tías Teresa, Adriana, María y Laura por su apoyo incondicional y por estar a mi lado en todo momento , por estar siempre pendientes de mi, por ser las madres que son para mí.
- A mis tutoras Leiby y Yamilé que sin su ayuda no hubiese sido posible lograr este objetivo.
- A mis abuelitos que confían en mí y siempre me han apoyado.
- A mis hermanos y primos por apoyarme y darme ánimo para seguir adelante.
- A mis profesores en especial a Santiago por aguantar mis malcriadeces, por apoyarme y estar siempre a mi lado, por ser la maravillosa persona que es.
- A mis amigos Alejandro, Laura y Sady que de una forma u otra siempre están al pendiente de mí.
- A Vilma que considero como alguien especial e importante en mi vida.

Resumen

La investigación se desarrolla en la fábrica “Juan Ripoll” que se dedica a la producción de cola animal granulada y flexible. La misma presenta incumplimiento en el nivel de producción de cola, debido a la insuficiencia de vapor en la etapa de concentración. Se realiza una evaluación del generador y se determinan las pérdidas de calor al medio, así como el consumo de los equipos tecnológicos, y se elabora una propuesta de solución, proponiendo el aislamiento del sistema de vapor. Con la evaluación al generador de vapor se obtuvo una eficiencia del 54% y unas pérdidas de energía de 46,22% respecto al calor del que se dispone; estos valores se encuentran alejados de los parámetros establecidos para este generador de vapor pirotubular, ya que la eficiencia del mismo debe ser de un 89% para un 11% de pérdidas, dada la baja eficiencia del mismo solo puede entregar un flujo de vapor de 130,08 kg/h, el cual no abastece las necesidades de consumo de vapor de la fábrica (215,45kg/h), de esta manera los tachos y el pre-evaporador deben trabajar de forma discontinua. El aislante escogido para recubrir el sistema de tuberías fue el de lana de vidrio ya que es el más económico y garantiza una temperatura en el exterior de la tubería de 45°C, el costo total de este aislante situado en el sistema de tuberías de la fábrica es de 26244,6\$, siendo una cantidad considerable que puede ser asumido por la Empresa.

Summary

This research took place at "Juan Ripoll" factory which main aim is to produce flexible and granular wood glue. There is a breach in the level of production of wood glue in this factory due to the insufficient amount of steam used during the concentration stage. The generator was assessed and a lost of heat to the environment was determined. The consumption of the technological equipment was made so a solution was suggested, proposing the steam system isolation. With the evaluation of the steam generator an efficiency of 54% was obtained and an energy lost of 46.22% in respect to the heat available in the steam generator. These values are far away from the established parameters for this pyrotubulars boiler because its correct efficiency should be 89% and 11% of losses, due to the low efficiency it can only be delivered a steam flow of 130,08 kg/h, which is not enough steam to guarantee the needs of steam consumption of the factory (215.45 kg/h) so the container and pre-evaporator must work in an irregular way. The insulating chosen to coat the pipe system was fiber glass, due to it is more economic and guarantees a temperature of 45°C outside the pipes, the total cost of the insulation of the piping system of the factory is 26244,6\$ that is a considerable amount of money that can be covered by the company.

Índice

Introducción.....	1
Capítulo I: Análisis Bibliográfico	4
1.1-Cola.Definición	4
1.2- Colágeno.....	4
1.2.1Propiedades generales.	5
1.3-Fabricación de cola en el mundo.	5
1.3.1Fabricación de colas animales.....	6
1.3.2 Propiedades físicas de la cola: (Idris, et al, 2010)	8
1.4-Tipos de cola.....	9
1.5 Historia del uso de la cola.	9
1.5.1Los primeros usos de cola animal.	9
1.5.2 Usos modernos.....	9
1.6-Comparación de la cola animal con otros adhesivos.	10
1.7-Producción de cola en Cuba.	11
1.8-Importancia de los generadores de vapor.....	11
1.8.1. Clasificación, componentes y principios de funcionamiento de un generador de vapor.....	12
1.9- Criterios de diseño y selección de generadores de vapor.....	14
1.10-Descripción y principios de funcionamiento de una caldera acuotubular de circulación natural.	15
1.10.1. Partes componentes de una caldera acuotubular:(Hoguen, 1978).....	15
1.11-Descripción y principio del funcionamiento de las calderas pirotubulares. (García, 2003).....	16
1.12-Características del combustible a utilizar para cualquier tipo de caldera. (Molina, 1993).....	16
1.12.1. <i>Propiedades de los Combustibles.</i> (Franklin, 2000; Colectivo de Autores, 1982).	17
1.13. -Mantenimiento de Calderas.	17
1.13.1. Revisión de averías.	19
1.14- Conclusiones Parciales:.....	20
Capítulo II: Materiales y Métodos.....	21
2.1 Descripción del proceso.	21
2.1.1. Materia prima. Preparación.....	21

2.1.2. Lavado y depilado.....	21
2.1.3. Tratamiento térmico a las moléculas del colágeno.....	22
2.1.4. Evaporación.....	23
2.1.5. Tratamiento de concentración. Tachos.....	23
2.1.6. Tratamiento de aireación.....	24
2.1.7. Corte y tendido.....	24
2.1.8. Secado.....	25
2.1.8. Molida.....	25
2.1.9. Pesado y almacenamiento.....	25
2.1.10. Generación de vapor.....	26
2.2. Evaluación del generador de vapor.....	26
2.2.1. Balance de Masa.....	27
2.2.1.1. Cantidad de sustancia que entra con el combustible.....	27
2.2.1.2. Cantidades de sustancia que entra con el aire.....	28
2.2.1.3. Cantidad de sustancia que se consume.....	29
2.2.1.4. Cantidad de sustancia que se genera.....	29
2.2.2. Balance de Energía.....	30
2.2.2.1. Eficiencia del generador de vapor.....	30
2.2.2.2. Cálculo de la energía perdida debido a la humedad del combustible (Q_2)... ..	31
2.2.2.3. Energía perdida debido al agua formada por la combustión del hidrógeno en el combustible (Q_3).....	32
2.2.2.4. Energía perdida debido al agua del aire (Q_4).....	32
2.2.2.5. Energía perdida debido a los productos gaseosos secos (Q_5).....	33
2.2.2.6. Energía perdida debido a la combustión incompleta (Q_6).....	33
2.2.2.7. Energía perdida debido al carbono no quemado (Q_7).....	33
2.2.2.8. Energía perdida debido a la radiación, convección y conducción en las paredes del generador, al hidrógeno y los hidrocarburos que no reaccionan (Q_8)....	34
2.2.2.9. Determinación del flujo de vapor saturado producido en el generador.....	34
2.3. Determinación del consumo de vapor en los equipos tecnológicos.....	35
Capítulo 3. Análisis de los resultados.....	39
3.1. Evaluación crítica del proceso de elaboración de cola animal.....	39
3.2. Evaluación del generador de vapor.....	41
3.2.1. Balance de masa.....	41
3.2.2. Balance de energía en el generador de vapor.....	44
3.3. Determinación del consumo de vapor en los equipos tecnológicos.....	48

3.4. Diseño del aislamiento para las tuberías de vapor.....	50
Conclusiones.....	55
Recomendaciones.....	56
Bibliografía	57
Anexo 1.....	59

Introducción.

El presente trabajo se desarrolla en la fábrica “Juan Ripoll” que se dedica a la producción de cola animal granulada y flexible. Esta empresa está ubicada en las márgenes del río Yumurí, justo en el barrio de la Marina en la Ciudad de Matanzas. Esta industria fundada en 1949, es la única en el país capaz de convertir en cola toda la recortería (salada y precurtida) de la industria tenera cubana.

El concepto más general de las colas animales lo plantea Pearson (2003) y afirma que están formadas por gelatina, que se obtiene a partir del colágeno, proteína existente en la piel, los cartílagos, los huesos, los tendones y otros tejidos. Por su origen pueden ser de conejo, ovinos, bovinos y pescado, obteniéndose a partir de la cocción de pieles, huesos o residuos de los animales.

Las colas de los animales son escasamente industrializadas, pero aún se utilizan para la fabricación y restauración de objetos, pinturas, manuscritos, iluminados de pergamino, y otros artefactos. También encontramos cola de origen animal, en muchos de nuestros productos, tales como la gelatina, los malvaviscos y las cápsulas farmacéuticas (Oberthür, 2011). La cola comercialmente disponible se vende de forma granular o pulverizada. Es un producto seco, duro, inodoro y su color varía desde ámbar hasta carmelita y puede ser almacenado de forma seca por un tiempo indefinido. (Idris, et al, 2010)

La fábrica de cola “Juan Ripoll” posee una tecnología obsoleta, sin embargo el producto que obtiene resulta de interés para la fabricación de fósforo fundamentalmente y no existe otro proveedor en la zona. Esto implica que cualquier acción técnica para mejorar la eficiencia del proceso de producción y la calidad de la cola resulta importante.

En el proceso de producción de la cola animal, las etapas esenciales requieren de suministro de vapor, que se obtiene en calderas convencionales. Inspecciones técnicas realizadas a la fábrica de cola han determinado que la generación de vapor y su aprovechamiento se ven ampliamente afectados por el estado en que se encuentran aislados el generador, las tuberías y los equipos tecnológicos. Considerándose los

principales problemas de aislamiento en el generador de vapor, como aceptable en el caso de tuberías y en mucho mejor estado en el caso de los equipos tecnológicos.

La dirección técnica es consciente de que no se dispone de una evaluación de la caldera de generación de vapor que defina su eficiencia, y los niveles de consumo de combustible. Una agravante adicional es que como los aislantes de todo el sistema de generación, distribución y uso se encuentran seriamente deteriorados, presentando perforaciones de considerable tamaño, secciones desprovistas de aislante total o parcialmente e incluso donde el aislante está calcinado y por tanto inservible, se desconocen las pérdidas que puedan ocasionarse por esta causa.

No se puede saber si dando solución al problema del aislamiento, sería suficiente para solucionar el abastecimiento de vapor a los equipos tecnológicos, para el nivel de eficiencia del generador de vapor instalado.

Se conoce que cualquier deficiencia en la generación de vapor en una fábrica afecta su producción y la situación antes descrita es una de las razones fundamentales que ha conllevado a la inestabilidad del proceso, haciendo que tenga que funcionar de forma intermitente, provocando un atraso en la entrega de los lotes de cola a los consumidores y por otra parte en ocasiones se presentan afectaciones en la calidad del producto por aumento de los tiempos de residencia en el pre-evaporador y los tachos.

En los últimos años esta industria ha disminuido considerablemente sus volúmenes de producción.

De acuerdo con los antecedentes descritos se impone la necesidad de hacer un análisis y revisión de las principales causas que afectan la eficiencia energética y el cumplimiento de los compromisos de esta fábrica con la demanda existente.

Problema:

¿Se debe el retraso de la producción de cola a la insatisfacción en el suministro de vapor a los equipos tecnológicos, por baja eficiencia en la generación de vapor y pérdidas de calor al medio?

Hipótesis: Si se realiza una evaluación del generador de vapor y se determina el consumo de los equipos tecnológicos, así como las pérdidas de energía al medio, se podrá realizar las recomendaciones que mejoren el sistema de generación y consumo de vapor de la fábrica “Juan Ripoll”.

Objetivo General:

Proponer una alternativa de mejora del sistema de generación y consumo de vapor de la fábrica.

Objetivos específicos:

- 1) Evaluar el generador de vapor.
- 2) Calcular los consumos de vapor en los equipos tecnológicos que concentran los caldos.(tachos y pre-evaporador)
- 3) Determinar el espesor de aislante adecuado para las tuberías de vapor.
- 4) Analizar los resultados y proponer soluciones.
- 5) Evaluar económicamente la propuesta de solución.

Capítulo I: Análisis Bibliográfico

En el siguiente capítulo se reflejan los tópicos más importantes encontrados en la búsqueda bibliográfica realizada sobre la producción de la cola animal como adhesivo, el colágeno, que es la fibra a partir de la cual se obtiene dicho material, así como un estudio detallado de los diferentes tipos de generadores de vapor que existen, ya que es uno de los equipos principales en el proceso de obtención de cola.

1.1-Cola.Definición

Idris,*et al* (2010) define la cola animal como un adhesivo que es creado por ebullición prolongada del tejido conectivo de los animales.

Por otro lado, Pearson (2003) ofrece una información más amplia de este material: " Las colas animales están formadas por gelatina, que se obtiene a partir del colágeno, proteína existente en la piel y cartílagos. Estas proteínas coloidales, colas, se forman a través de la hidrólisis del colágeno de las pieles, huesos, tendones y otros tejidos, similares a la gelatina. Se presentan en forma sólida (tabletas, láminas, escamas, sémola y perlas), o líquida. Por su origen pueden ser de conejo, ovinos y bovinos, obteniéndose a partir de la cocción de pieles, huesos o residuos de los animales; por otro lado se obtienen también las de pescado, donde la de esturión ofrece la mayor calidad. Las colas animales se siguen utilizando en restauración, por sus buenas propiedades y características similares a las empleadas originalmente, así como su reversibilidad con agua caliente, aunque presentan los inconvenientes de su preparación, conservación, endurecimiento y cristalización."

Para Vargas, (2003) la cola animal es un material de peso molecular bajo producido por tratamiento más energético en comparación con los realizados con ácidos, álcalis o agua caliente, de fuentes de colágeno menos tratables. La describe como un material normalmente oscuro e impurificado.

1.2- Colágeno.

En cuanto a esta proteína Vargas (2003) agrega que el colágeno, en forma de fibras insolubles o agregados fibrosos, es la proteína constituyente principal de las capas intercelulares o tejidos conjuntivos fibrosos, los cuales son los mayores elementos

estructurales en la anatomía de los vertebrados. Está formado por una cadena de tres polipéptidos que a su vez se compone de 1000 aminoácidos unidos por enlaces de hidrógeno, formando una espiral muy apretada, las moléculas se empaquetan en fibrillas, y estas a su vez en fibras de mayor tamaño. El colágeno comprende entre el 30 y el 60% del contenido de proteína total de los mamíferos, y más del 30% del contenido total de la materia orgánica. Las localizaciones primarias de la proteína son en la piel, los huesos y los tendones, y en base seca, el lecho del corium de la piel (por ejemplo en la dermis), se hallan constituidos por un 90 a 95% de colágeno. No obstante, las fibras colágenas, no se hallan exclusivamente confinadas en dichas regiones, sino que también pueden ser encontradas en cada tejido y órgano viviente.

1.2.1 Propiedades generales.

El colágeno nativo (que no ha sufrido ninguna modificación de su estructura inicial; pues posee íntegramente sus cadenas polipeptídica y sus telopéptidos) puede ser soluble o insoluble. Posee propiedades muy particulares que no se encuentran en los productos de degradación, es decir, en la gelatina.

La reactividad bioquímica del colágeno nativo proviene, sustancialmente de una parte, de los telopéptidos de las extremidades de la cadena polipeptídica, y de otra, de su propia estructura.

Las películas preparadas a partir de soluciones de colágeno nativo son muy resistentes.

Las películas de colágeno nativo se adhieren fuertemente a las capas ratinizadas de la epidermis humana y poseen un importante poder de retención de agua. (Vargas, 2003)

El colágeno nativo extendido sobre la piel posee un aspecto de alisamiento sobre las pieles secas, disminuyendo el aspecto arrugado y exfoliado de las pieles ancianas. (Vargas, 2003)

1.3-Fabricación de cola en el mundo.

La primera fabricación de cola industrial a partir de pieles se inició en Holanda alrededor del año 1700. En Estados Unidos la fábrica pegamento abrió por primera vez en 1899, establecido por la industria de curtido de Milwaukee. Una gran empresa

conocida como DL Davis, prospera a partir de la producción de cola animal durante la Gran Depresión, y cambió su enfoque de comercialización, dedicándose a la venta de cola de origen animal a los fabricantes de cajas locales y otras necesidades. LD Davis también ha desarrollado una fórmula personalizada de cola animal para la encuadernación y sigue produciendo hasta hoy. Durante los siglos XVIII y XIX, muchos ganaderos podrían enviar sus animales viejos a las fábricas de pegamentos para obtener un beneficio de lo que ellos consideraban "animales inútiles. De muchas industrias surgieron otros pegamentos y rápidamente la cola animal se cayó en popularidad con la llegada de los sintéticos adhesivos. (Pearson, 2003).

1.3.1 Fabricación de colas animales.

E Los autores Pearson (2003), Vargas (2003), Idris, *et al* (2010) y Oberthür, (2011) coinciden en que la producción de la cola comercial consta de las siguientes etapas:

- ❖ Recepción.
- ❖ Lavado.
- ❖ Tratamiento térmico.
- ❖ Concentración.
- ❖ Secado.

No obstante, son Vargas (2003) y Pearson (2003) los que ofrecen una mayor información en cuanto a la metodología a seguir para la producción de cola.

Vargas (2003) plantea que la mayor parte del cuero usado en la fabricación de cola es el desecho de las fábricas de curtidos, donde recibe un corto tratamiento con agua saturada de cal. Después de la separación de la cal con agua y ácido, se hacen algunas extracciones con agua a temperaturas crecientes para obtener una serie de soluciones diluidas. Los últimos de estos lavados proporcionan gelatina técnica o cola de cuero. Gran parte de la cola de cuero se obtiene directamente de los desechos de las fábricas de curtidos, sin tratamiento posterior con cal, en especial de las raspaduras de la parte interior del cuero, llamadas descarnaduras. Este material debe ser tratado con agua a temperatura relativamente alta para obtener soluciones de cola. Las cuales generalmente no se filtran en esta etapa, pero se pueden decolorar y se les puede añadir agentes preservativos. Después se concentran en evaporadores de vacío.

Antiguamente se dejaban solidificar estas soluciones concentradas en forma de gelatina y se cortaban en planchas gruesas que se dejaban secar lentamente. La cola que se vende en esta forma se conoce como cola escocesa. Hoy día la cola se muele para formar un polvo, que es de empleo mucho más práctico, tiene la gran ventaja de permitir al fabricante la mezcla de diferentes series de cola, de manera que se obtengan partidas uniformes con propiedades específicas.

Las colas se pueden vender también como cubos o perlas. Estos son resultado de procesos de secado especiales y para muchos fines es conveniente emplearlos sin molienda. Las colas también se pueden expender directamente en tanques en forma de solución concentrada en caliente obtenida del evaporador. Las colas líquidas que no solidifican en forma de jalea a temperatura ordinaria, se fabrican añadiendo productos químicos que modifican las propiedades de solidificación de las colas animales ordinarias. De esta forma se fabrican productos con un amplio intervalo de propiedades. Del colágeno del pescado se obtienen también colas no gelatinosas. (Vargas, 2003)

El método planteado por Pearson (2003) es el siguiente:

La cola de cuero en buen estado y cortada se prepara para ser lavada con agua. Los pedazos son remojados con cal y agua durante una semana, preparando así el colágeno para la extracción de la cola por hidrólisis. Luego de ser lavados se acidifican en disoluciones ácidas que pueden ser ácido sulfúrico o ácido clorhídrico para ajustar el pH, posteriormente se enjuaga. Luego los tozos son transferidos a un tanque u olla de extracción, donde éste es calentado con agua para convertir el colágeno en extracto de cola. La extracción con agua caliente a temperaturas elevadas se realiza bajo un cuidadoso control. Después la solución de cola diluida es removida sucesivamente hasta que toda la cola esté completamente extraída, para ello se utilizan 4 extracciones. (Pearson, 2003)

La cola diluida debe poseer entre un 2 y 9% de cola sólida, la cual es filtrada y concentrada en evaporadores al vacío hasta un valor de 20 a 50% antes de ser secada. En algunas plantas la cola es enfriada hasta que gelifique, entonces es secada en túneles de secado en los cuales circula aire caliente sobre las láminas de gel

apiladas en alambre con espacios entre ellos, lo que tomará más de 48 horas de secado.

En otras instalaciones, las soluciones de cola concentrada son enfriadas hasta el punto de gelificación y son sacadas en forma de pasta y puestos a secar de forma continua, los cuales estarán completamente secos en 2 o $2\frac{1}{2}$ h mediante la circulación de aire acondicionado, purificado y caliente. El producto seco tendrá entre 10 y 15% de contenido de humedad. (Pearson, 2003)

1.3.2 Propiedades físicas de la cola: (Idris, et al, 2010)

- ❖ Densidad: $1,27 \text{ kg/m}^3$
- ❖ Contenido de humedad: 8 - 15% (para que esté considerada seca)
- ❖ Contenido de cenizas inorgánicas: 2,0 - 5,0%
- ❖ Contenido de grasas: 0,2- 3,0%
- ❖ pH :5,5 – 8,0

La cola de origen animal es insoluble en aceites, grasas, ceras, alcoholes y otros solventes, siendo entonces solamente soluble en agua. En agua fría, las partículas del colágeno absorben el agua, obteniéndose una gelatina esponjosa. La gelificación es una reacción reversible, y con la aplicación de calor, el gel puede convertirse en estado líquido. El punto de gelificación está alrededor de los 120° F , dependiendo del contenido de colágeno, calidad de éste y la presencia de modificadores. (Oberthür, 2011)

Debido a sus propiedades anfóteras, la cola posee cargas eléctricas lo cual le confiere modificaciones que pueden ser beneficiosas o no, para la adición química simple que poseen. Estas beneficiosas modificaciones son altamente eficientes como floculante y protector de coloides, por lo cual tiene una gran aplicación en la producción de papel, cucho, en el refinamiento de metales y minerales, y en el tratamiento industrial de agua. Tiene un amplio rango de viscosidad, el cual puede fluctuar desde valores tan cercano al valor de la viscosidad del agua hasta exceder los 70000 cP . Su fuerza de tensión llega a ser de 10000 psia como máximo. (Pearson, 2003)

1.4-Tipos de cola.

Según Idris, *et al*, (2010) existen diferentes tipos de cola animal que se relacionan a continuación:

- Cola de liebre: Genuina cola elaborada a partir de la piel y los cartílagos de liebre.
- Cola de conejo genuina: Cola de origen animal, empleada en el tratamiento de consolidación, decapa pictórica, adhesivo, etc. Presentación en placas o granulado.
- Cola de cartílagos: Alta adhesividad, similar a la cola de conejo, pero procedente del ganado bovino. Presentación en gránulos.

1.5Historia del uso de la cola.

1.5.1Los primeros usos de cola animal.

Según Hepworth, Smith, (2002), los primeros procedimientos escritos que se conocen de cómo hacer cola animal fueron escritos alrededor del año 2000 antes de Cristo; lo que se confirma por Oberthür, (2011).

Asegura Pearson, 2003 que entre 1500 - 1000aC, fue utilizada para muebles de madera y en pinturas en murales, y se ha encontrado, incluso en los ataúdes de los faraones egipcios. La evidencia se encuentra en forma de esculturas de piedra que representa la preparación y el uso de pegamento, utilizado principalmente para la tumba de los muebles del faraón. Registros egipcios indican que la cola animal se hará mediante la fusión sobre el fuego y luego se aplica con un pincel.

Pearson (2003) indica que uno de los componentes esenciales de la tinta negra de humo era un pegamento proteínico, y que cola elaborada a partir de cuernos de ciervo era utilizada como un conservante, formando una película sobre la superficie ya que la tinta se secaba.

1.5.2 Usos modernos.

Hoy en día, las colas de los animales son escasamente industrializadas, pero aún se utilizan para la fabricación y restauración de objetos, pinturas, manuscritos, iluminados de pergamino, y otros artefactos. También encontramos la gelatina, una forma de cola de origen animal, en muchos de nuestros productos de hoy, tales como la gelatina,

malvaviscos, y las cápsulas farmacéuticas. También se utiliza para reforzar tendones, envolturas de madera, corteza, y el papel. (Oberthür, 2011)

La cola animal era el pegamento de madera más común por miles de años hasta el advenimiento de las colas sintéticas tales como acetato de polivinilo (PVA) y las demás colas de resina del siglo XX. Actualmente se utiliza principalmente en aplicaciones especializadas, tales como la construcción de tubos de órgano, pianos, reparaciones y restauración de antigüedades, entre otras. Los artistas del vidrio aprovechan la capacidad de la cola de piel como vínculo con el vidrio, porque a medida que el pegamento se endurece se encoge, astillando el cristal. (Idris, *et al*, 2010)

Hepworth, Smith, (2002) plantean que en los inicios de la producción del siglo XX, de compuestos de cola animal, estos eran destinados a la industria médica, donde el colágeno es utilizado para hacer prótesis de ligamentos y pieles artificiales, además, pueden actuar como sustento para la regeneración de tejidos.

1.6-Comparación de la cola animal con otros adhesivos.

Plantea Vargas (2003), que con la cola animal pueden unirse superficies, si éstas son susceptibles de ser humedecidas por agua y si una de ellas es permeable al agua. La cola animal tiene ciertamente desventajas en comparación con algunas colas sintéticas que pueden emplearse para las mismas finalidades ya que su solidificación es más lenta a altas temperaturas y en condiciones húmedas las juntas se debilitan considerablemente y pueden quebrarse fácilmente cuando se les somete a esfuerzo. Por otra parte, la cola animal posee algunas ventajas sobre las colas sintéticas, ya que como raramente se emplean endurecedores, las soluciones preparadas de cola animal tienen un tiempo de empleo útil muy largo y una duración de almacenamiento indefinida en comparación con las colas sintéticas. (Vargas, 2003)

Las colas animales de buena calidad, en una línea gruesa de cola, no se cuartean y seca no es tan dura como la cola fenólica y de urea (formaldehído) siendo menos perjudicial para las herramientas de corte. La propiedad más importante de la cola animal es su poder de gelificación y su principal ventaja radica en la explotación de esta propiedad. La rápida solidificación inicial de una junta encolada, producida por

gelificación, es útil en el ensamblaje de estructuras en las que la unión por abrazadera es difícil o inconveniente. (Pearson, 2003)

La rápida aparición de adhesividad en las colas animales cuando solidifican en forma de gel las hace útiles en aplicaciones tales como el pegado de tejido o madera, encuadernación de libros, fabricación de cartonajes en máquinas de alta velocidad y en la fabricación de papel engomado. (Vargas, 2003)

1.7-Producción de cola en Cuba.

En Cuba la fábrica “Juan Ripoll”, ubicada en las márgenes del río Yumurí en la ciudad de Matanzas, es la única en el país dedicada a la producción de la cola. Su origen lo constituye un pequeño establecimiento perteneciente a propietarios privados, que en virtud del proceso de nacionalización llevado a cabo con el triunfo de la Revolución, fueron ampliadas sus capacidades productoras.

En la década de los años 80, ésta industria muestra su mayor esplendor logrando producciones de 300 toneladas por año y una fuerte actividad técnica en pos de mejoras productivas. En los últimos años esta industria ha disminuido considerablemente sus volúmenes de producción.

Su equipamiento que data del siglo XX se muestra deteriorado e ineficiente. La materia prima para la producción de la cola la constituye el colágeno, consistente proteico principal de los pellejos de animales, tejidos conectivos y huesos, por lo que sus principales fuentes lo constituyen los recortes de piel desechables en las tenerías y desperdicios de los mataderos (huesos, pezuñas, rabos, patas, etc.). La única fuente de materia prima de la fábrica “Juan Ripoll”, es la recortería y cueros salados no aprovechables por las tenerías. Según, Curso de Operadores Calderas,(2003).

1.8-Importancia de los generadores de vapor.

El generador de vapor, como su nombre lo indica, tiene la función de producir vapor para ser utilizado en la generación de energía mecánica, eléctrica y para la alimentación a equipos de proceso. Hoy en día este equipo es un elemento esencial en el funcionamiento de prácticamente todas las empresas industriales. No erróneamente se ha llegado a plantear que el generador de vapor es el corazón de toda industria moderna. (Moran, 2000)

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. (Rizhkin, 1997).

Para Cuba, país de limitados recursos energéticos, y en el que prácticamente la casi totalidad del vapor y la electricidad se generan a partir de la energía química de los combustibles, la explotación eficiente de sus equipos de generación de vapor tiene objetivamente una importancia vital. (Martínez, 2005)

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.

Según Martínez (2005) la fuente de calor puede ser:

- Combustión: Generadores de vapor convencionales.
- Calor residual o gases de escape: Calderas recuperadoras.
- Fisión nuclear: Generadores de vapor de centrales nucleares.

1.8.1. Clasificación, componentes y principios de funcionamiento de un generador de vapor.

Los generadores de vapor modernos se fabrican en una amplia gama de tipos y capacidades; los hay desde pequeñas unidades con producciones de 0,3t/h y presiones menores que 1MPa, hasta gigantescas instalaciones de 4000t/h de producción y presiones del orden de los 26MPa. En cuanto a la temperatura, van desde simples unidades de vapor saturado, hasta generadores de vapor sobrecalentado a 570°C.

Dada la diversidad de tipos, amplia gama de capacidades, y complejidad técnica, es que para su correcta explotación se requiere un estudio profundo de su funcionamiento, de los métodos de cálculo y de los procesos que tienen lugar en ellos. (García, 2003)

Los generadores de vapor pueden ser clasificados atendiendo a diversos criterios relacionados con sus parámetros y sus características constructivas y de operación (Moya, Aldo S., 2003).

Los mismos se pueden dividir en los siguientes grupos:

1. De acuerdo con la disposición de los fluidos en los tubos.
 - a) De tubos de fuego (pirotubulares). Son generadores de vapor pequeños, donde los gases calientes (fuego) circulan por dentro de los tubos, mientras que el agua está por fuera.
 - b) De tubos de agua (acuotubulares). Son generadores de vapor mediano y grande donde el agua circula por dentro de los tubos mientras que los gases están por fuera.
2. De acuerdo con el uso.
 - a) 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.
3. De acuerdo con el tamaño.
 - a) Pequeños: Presión: $P < 2,0$ MPa
 - b) Medianos: Presión: P entre $1,0 - 6,0$ MPa
 - c) Grandes. Se instalan en las centrales termoeléctricas y en empresas grandes, pueden encontrarse en centrales azucareros. Presión: $P > 6$ MPa.
4. De acuerdo con el sistema de circulación de la sustancia de trabajo.
 - a) 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.
5. 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.
 - a) Generadores de vapor de combustible líquido y sólido.
6. De acuerdo con el tiro de los gases.
 - a) De tiro natural.
 - b) De tiro forzado.

El generador de vapor moderno es un equipo de gran complejidad. Es un intercambiador de calor altamente especializado, en el cual se transfiere al agua, el

calor desprendido por el combustible, para formar el vapor. Lo componen diversos equipos con diferentes funciones, pero todos contribuyen a garantizar su funcionamiento y aumentar su eficiencia térmica. El incremento de la eficiencia en el generador de vapor es una necesidad de los procesos energéticos, pues los mismos en la actualidad presentan valores muy bajos, baste decir que de la energía del combustible al degradarse y una parte perderse por ineficiencia en los generadores de vapor, las turbinas, los generadores eléctricos, las líneas de transmisión, los transformadores, los motores eléctricos y los equipos mecánicos, el hombre sólo puede convertir en trabajo útil entre un 12 y un 30 %, lo que significa que la mayor parte de ella se pierde. (Molina, 2000; Moran, 2005).

1.9- 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.
- 3) Agua de alimentación
 - a) Fuente y calidad.
 - b) Temperatura.
- 4) Regulaciones sobre emisiones al medio ambiente
 - a) Gases de combustión: partículas, SO₂, NO_x.
 - b) Desechos sólidos.
 - c) Aguas residuales: planta de tratamiento de agua, lavado.
- 5) Personal de operación y mantenimiento
- 6) Nivel técnico y experiencia.
 - a) Costo de la mano de obra.

1.10-Descripción y principios de funcionamiento de una caldera acuotubular de circulación natural.

Las calderas de tubos de agua son generalmente medianas o grandes y están formadas por domos interconectados por tubos. Los tubos tienen la función de trasladar el agua a las zonas de absorción de calor y conducir la mezcla agua – vapor hacia el domo, por ello, de hecho, constituyen las superficies de transferencia de calor. Los domos tienen la función de almacenar el agua y el vapor, y como no tienen que contener ninguna flusería, pueden hacerse de diámetro menor que los cascos de las calderas de tubos de fuego, lo que permite incrementar las presiones de trabajo. Los tubos, por ser de diámetros pequeños, resisten también altas presiones. (Borroto; Rubio, 2007)

La generación de vapor en las calderas de tubos de agua no se ve limitada, como en las de tubos de fuego, por la superficie de transferencia de calor, pues colocando mayor cantidad de tubos ésta puede incrementarse cuanto se desee, dentro de ciertos límites lógicos de diseño. Lo anterior permite que estas calderas logren grandes generaciones de vapor.

Las calderas de tubos de agua pueden operar con cualquier tipo de combustible ya que presentan una gran flexibilidad para el diseño de sus hornos. La generación de vapor sobrecañalis bibliográfico leyvys docalentado en estas calderas es también fácil y por lo general lo suministran en dicho estado. (Borroto; Rubio, 2007)

1.10.1. Partes componentes de una caldera acuotubular:(Hoguen, 1978)

- 1) Horno.
- 2) Quemadores.
- 3) Bomba de alimentación.
- 4) Sistema de tiro (ventilador de tiro forzado).
- 5) Chimenea.
- 6) Cimentación y soporte.
- 7) Accesorios de caldera.

1.11-Descripción y principio del funcionamiento de las calderas pirotubulares.

(García, 2003)

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.

1.12-Características del combustible a utilizar para cualquier tipo de caldera.

(Molina, 1993)

Se considera un combustible como aquella sustancia capaz de reaccionar rápidamente con el oxígeno y liberar en dicha reacción una cantidad significativa de calor. Los combustibles energéticos deben cumplir además con los requisitos de disponibilidad y bajo costo que permitan su utilización a escala comercial. Los principales combustibles energéticos para la generación de vapor son el carbón, el petróleo (fuel oil) y el gas natural.

En la industria azucarera el bagazo constituye el combustible natural por excelencia para satisfacer las demandas energéticas del proceso de producción de azúcar.

(Hugot, 1977)

1.12.1. Propiedades de los Combustibles. (Franklin, 2000; Colectivo de Autores, 1982).

- a) Calor específico de combustión (poder calorífico o valor calórico)
- b) Humedad
- c) Contenido y composición de impurezas minerales (ceniza)
- d) Contenido de azufre
- e) Contenido de sustancias volátiles

1.13. -Mantenimiento de Calderas.(Curso de Operadores,2003)

Para el mantenimiento rutinario de las calderas, lo más recomendable es seguir al pie de la letra las instrucciones del fabricante al respecto.

En los intervalos comprendidos entre las inspecciones anuales previstas por la legislación vigente, es conveniente que personal del propio usuario revise, periódicamente, el funcionamiento y condiciones en que se encuentra la caldera, informando de cualquier defecto serio, condiciones dudosas o sucesos anormales que detecte. Si se detecta algún defecto en las partes a presión que requiera reparación por procedimientos contemplados en el Código de Fabricación (soldadura, etc.), sería conveniente que se realice previamente una inspección autorizada para determinar la reparación que, normalmente, debería realizar el propio fabricante de la caldera. Después de una reparación importante aprobada oficialmente, se deberá realizar una prueba hidrostática.

Entre las partes a revisar pueden incluirse las siguientes:

- Alineación de la caldera, ausencia de asentamientos, desniveles o movimientos anormales, evidenciados por desplazamiento del tambor o de alguna de las partes a presión.
- Corrosión en el exterior de tambores y tubos.
- Fugas en tuberías, válvulas, chimeneas o envolvente.
- Válvulas de seguridad y sus conexiones.
- Accesorios: Indicadores de nivel, grifos y columnas de agua, controles, alarmas de bajo nivel o de disparo, purgas, válvulas de alimentación y de retención, etc. Deben ser probados en períodos regulares.

- Sopladores de hollín: Compruebe que no halla erosión en los tubos de la caldera donde descargan dichos sopladores.
- Ausencia de fragilización cáustica en juntas y uniones de tubos.
- En calderas pirotubulares, examinar los tubos y placas tubulares (corrosión, adelgazamiento de espesor, etc.)

En cuanto a la limpieza, hay que distinguir entre la interna y la externa. La interna se lleva a cabo cuando se pone fuera de servicio la caldera. La externa consiste en tener las superficies de la caldera y sus elementos auxiliares y accesorios, limpias de humedeces, aceites y de cualquier tipo de suciedad o materias extrañas. Se seguirán las instrucciones del fabricante en cuanto a elementos para la limpieza y frecuencia.

Un plan de revisiones diario que de forma periódica debe realizar el personal encargado de la conducción de una caldera puede prever las actividades de: purga de la caldera y de los botellines y niveles, así como limpiar boquillas del quemador y finalmente purgar el manómetro. En períodos más alargados, se deben levantar manualmente las válvulas de seguridad, limpiar filtros de agua y combustibles líquidos y gaseosos y limpiar sistema de encendido de los quemadores. Estas recomendaciones de servicio constituyen un resumen de lo que debe tenerse siempre presente para el funcionamiento y buena conservación de una caldera, no pretendiendo que ellas sean completas con respecto a las medidas de precaución, instrucciones y observaciones necesarias para el funcionamiento de una instalación, que el encargado de la conducción de la caldera deberá recabar de la misma, así como, de la experiencia y buena práctica del oficio.

Para un servicio eficaz y correcto del generador, éste debe estar bajo un control continuo y competente.

Siempre que una caldera sea puesta fuera de servicio para cualquier propósito, debe limpiarse por dentro, cuando vaya a ponerse nuevamente en servicio, o conservarse en estado seco o en húmedo. El material suelto en forma de tierra, basura, depósitos, etc., debe eliminarse mediante lavados u otros medios (mecánicos).

Los depósitos, incrustaciones y productos de corrosión que no sean expulsados fácilmente por simple lavado pueden eliminarse por limpieza química interna. El análisis químico de los materiales a eliminar facilita la toma de decisión sobre el programa de

limpieza química interna. El análisis químico de los materiales a eliminar facilita la toma de decisión sobre el programa de limpieza química y la composición de las soluciones a emplear.

Cuando se haya decidido poner fuera de servicio una caldera, se dejará que se enfríe. Después de vaciada y lavada, se llevará a cabo una inspección para determinar los trabajos de reparación necesarios y la limpieza química o mecánica a realizar.

1.13.1. Revisión de averías.(Trabajadores sociales,2006)

En el normal desarrollo de su función, el operador de calderas se encontrará con que la caldera presenta una avería que impide su normal funcionamiento. La experiencia y la práctica consiguiente permitirán al operador localizarla de una forma rápida y actuar sobre la causa de dicha avería, subsanándola en la mayoría de los casos.

Las averías más frecuentes radican en los circuitos eléctricos, en el equipo de combustión, en la alimentación de agua, en la calidad de agua.

Si la avería ha llevado a que la caldera sobrepasará sus condiciones de trabajo: presión elevada, bajo nivel de agua, deformaciones de algunas de sus partes a presión, calentamientos anormales; es recomendable dejar la caldera fuera de servicio, realizando una inspección a fondo, una vez la caldera fría, con el fin de evaluar los eventuales daños que hubieran podido ocurrir.

Existen varias causas que pueden indicar una avería entre las que se destacan:

- No arranca el quemador, provocado por *fuel oil* fuera de temperatura o que los presostatos no establecen contacto, puede ser debido a deficiencias en el control del nivel de agua o a que el control de combustión (célula) no está en posición de marcha o está averiada.
- Los fusibles se funden, por no estar bien colocados o son pequeños, o bien el motor está sobrecargado, frenado o funciona al revés. Puede deberse a un cortocircuito debido a un voltaje alto o demasiado bajo.
- Una combustión defectuosa, debido a fuego a pulsaciones o fluctuante, una mala regulación en el quemador de aire y *fuel*. Además de un *fuel-oil* frío o demasiado caliente o a pasos de humos llenos de hollín.

- Se obtiene carbonización, provocada por la mala regulación del quemador, el *fuel* demasiado caliente, la boquilla descentrada o carbonizada, los filtros sucios. También puede ser provocada por la válvula de retención defectuosa o sucia, el manómetro defectuoso, la bomba demasiado seca o defectuosa, además por aire en el tubo de retorno, fugas en el tubo de aspiración o tubo de aireación del tanque obstruido o helado.

1.14- Conclusiones Parciales:

- 1) La cola animal se define como un adhesivo que es creado por ebullición prolongada del tejido conectivo de los animales.
- 2) Las etapas principales para la producción de cola son: la recepción, lavado, tratamiento térmico, concentración y secado.
- 3) La principal propiedad de la cola es su poder de gelificación y su principal ventaja radica en la explotación de esa propiedad.
- 4) Actualmente en Cuba se cuenta con una única fábrica productora de este adhesivo, ubicada en los márgenes del río Yumurí, en la ciudad de Matanzas, llamada "Juan Ripoll".
- 5) Un generador de vapor es un conjunto de equipos y agregados auxiliares integrados en un esquema tecnológico con el objetivo de producir vapor.
- 6) Durante la vida útil de los generadores de vapor se hace esencial cumplir con el plan de mantenimientos establecidos por el fabricante para evitar averías que afecten su funcionamiento eficiente.

Capítulo II: Materiales y Métodos

2.1 Descripción del proceso.

2.1.1. Materia prima. Preparación.

En la fabricación de la cola, de acuerdo con la norma cubana NEL1192-07:2004, la materia prima que se recibe puede ser pieles enteras, faldas, crupón (cuero de la parte trasera del animal cortado en dados) y recortes con y sin pelos. Dicha materia procede de los mataderos, saladeros y de la industria tenera. Los recortes, transportados a granel, se reciben evitando que se mezclen las cargas de diferentes categorías o características.

La materia prima se corta, de forma manual, en pedazos pequeños de 24cm de largo, 17cm de ancho y un espesor que oscila entre 0,3 y 0,5cm. El objetivo del corte de la materia prima en pequeñas dimensiones es el de aumentar la superficie de contacto para así facilitar las operaciones posteriores. La materia prima cortada se traslada en carretillas con capacidad de 60kg cada una, hasta los tanques de lavado.

2.1.2. Lavado y depilado.

La fábrica consta de 2 tanques lavaderos de 9,6m de largo, 3,7m de ancho y 0,5m de profundidad cada uno. En estos tanques se realizan las operaciones de lavado, pelambre e hidrólisis química, en ese orden.

Para realizar el lavado se vierte agua en los tanques hasta que el nivel coincida con el aforo situado en el centro de la paleta que está sumergida y se añaden paulatinamente 2400kg de materia prima. El objetivo de esta operación es eliminar las impurezas que traen adheridas las materias primas, tales como sal, estiércol, tierra, sangre, entre otras, y devolver a la piel su estado de hidratación natural. El material se lava durante 50 minutos con agitación mecánica. Pasado este tiempo se drenan los tanques hacia el río cercano a la fábrica y se vuelve a añadir agua hasta la parte superior de la paleta sumergida, para comenzar la operación de pelambre.

El objetivo de la operación de pelambre es eliminar la epidermis, si el recorte no ha sido depilado, y preparar las estructuras de las fibras de la piel para las operaciones posteriores. En esta operación a los tanques lavaderos con 2400kg de recorte

sumergidos en el agua se le adicionan 50kg de sulfuro de sodio, y se agita el material de 2 a 3 minutos para homogenizar la solución, posteriormente se añaden 60kg de hidrato de cal y se rotan las paletas durante 2 horas. Pasado este tiempo se detiene la agitación y se deja en reposo durante 1 hora. Luego se pone en marcha el agitador durante 10 minutos, repitiéndose la operación hasta completar el tiempo de operación para el pelambre que es de 17 horas.

Terminado ese tiempo se revisa el material, y si aún se observan pelos en los recortes, se continúa agitando hasta que se remueven todos los pelos, finalmente se drena la solución. Luego se añade agua, lavándose bien los recortes para eliminar los restos de sulfuros y cal.

A continuación se realiza la hidrólisis química, la cual puede ser llevada a cabo con hidróxido de sodio (NaOH) o con cal hidratada (CaO). En ambos casos los tanques de lavado deben contener la cantidad de agua establecida (hasta el nivel del aforo). El objetivo de esta operación es hinchar las partículas fibrosas del colágeno y lograr las rupturas de las cadenas de aminoácidos que forman el colágeno.

Actualmente se utiliza cal hidratada para efectuar la hidrólisis química, para ello se le añaden 17 ± 1 kg de este reactivo a los tanques con el material previamente lavado. Luego se homogeniza por espacio de 10 a 15 minutos y se deja reposar 24 ± 2 horas. Posteriormente se agita el material 5 minutos y se observa si se encuentra en el estado adecuado, es decir, si no se encuentra en avanzado estado de descomposición. Si el material está en buen estado se mantiene en reposo 24 horas más y se procede a lavar y drenar los tanques lavaderos.

2.1.3. Tratamiento térmico a las moléculas del colágeno.

Terminada la hidrólisis química los recortes del material se trasladan a través de una cinta transportadora hasta los tanques de cocción.

En los tanques de cocción se realiza la hidrólisis térmica, estos tanques son cilíndricos, abiertos a la superficie y poseen en el fondo un serpentín donde circula vapor para lograr temperaturas de 75-80°C, regulada manualmente.

El objetivo de esta operación es lograr la ruptura parcial de los enlaces entre las moléculas del colágeno mediante la cocción, obteniéndose una solución diluida en

estado coloidal, compuesta por pequeñísimas partículas de sólidos dispersos en fase líquida. Esta ruptura se logra a los 60°C.

Para llevar a cabo esta operación se le añaden a los tanques de 700 a 900 litros de agua a temperatura ambiente, y se calienta hasta 80°C utilizando vapor saturado, proveniente del generador de vapor. En dichos tanques se añaden además, 2400kg del producto procedente de los tanques lavaderos. La primera cocción se realiza a la temperatura de 75 a 80°C durante 7 ± 1 horas, con una paleta de madera, de forma manual, se remueve el material durante 2 o 3 minutos cada 1 hora hasta completar el tiempo previsto. Posteriormente se vacía el caldo en un tanque receptor para ser medido y transferido al pre-evaporador.

Concluida la primera cocción se inspeccionan los tanques, y en dependencia de la cantidad de materia prima que quede, se añadirán de 500 a 700 litros de agua a temperatura ambiente y se calienta hasta 81-85°C para comenzar la segunda cocción, cuyo tiempo de operación oscila sobre 4 horas. De igual forma que en la primera cocción, se agita la mezcla 2 o 3 minutos cada 1 hora.

La densidad de los caldos para la primera cocción debe ser $\leq 1^{\circ}\text{Be}$ y en el caso de la segunda cocción debe ser de 4°Be aproximadamente.

2.1.4. Evaporación.

En el pre-evaporador, como su nombre lo indica, se realiza la pre-evaporación de los caldos de la primera y la segunda cocción por separado, en dicha operación se elimina alrededor del 50% del agua total de la solución de colágeno. Este proceso se lleva a cabo a una presión de vacío mínima de 68kPa (20mmHg) y $60 \pm 5^{\circ}\text{C}$ de temperatura.

Una vez transcurridas 5 horas de pre-evaporación, el caldo de la primera cocción pasa a los tachos.

De igual forma se procede con el caldo de la segunda cocción. La densidad del caldo al salir del pre-evaporador debe ser $\geq 7^{\circ}\text{Be}$.

2.1.5. Tratamiento de concentración. Tachos

Luego de la pre-evaporación se efectúa la concentración de los caldos, para ello se cuenta con 2 tachos. Estos equipos tienen como objetivo concentrar los caldos alcanzando alrededor de un 60% de sólidos. Para realizar la concentración se debe

mantener un vacío de 68kPa (20mmHg) como mínimo y 65°C de temperatura durante 1 hora y media con agitación interna.

En los tachos, se mezclan las dos cocciones y se continúa el proceso hasta alcanzar una concentración de los caldos de 55 a 60% de sólidos. La descarga se realiza en tanques, y antes de realizarla (± 15 minutos) se añade bactericida en los tachos.

2.1.6. Tratamiento de aireación.

En el departamento de aireación se lleva a cabo el proceso de gelificación, que se realiza con el fin de convertir la solución de cola de estado sol a estado gel mediante el enfriamiento de la solución de cola, después de ser vertida en tártaras.

Las tártaras son previamente engrasadas con petróleo, para evitar que la cola se adhiera a ellas, se sitúan en burros entrecruzados una encima de otra.

Al regar la cola es preciso tratar que la lámina que se forma sea lo más fina posible. El proceso de aireación dura 1 hora ± 30 minutos, dependiendo de la temperatura ambiente.

2.1.7. Corte y tendido.

Esta operación se realiza en el departamento de corte y su objetivo es cortar las láminas de gel en pedazos que faciliten su tendido y a la vez su secado posterior.

Procedente del área de gelificación llegan las láminas de gel de cola mediante carretillas, se toman un grupo de 2 o 3 láminas, se cortan en pedazos de 10 ± 2 cm de ancho por 34 ± 2 cm de largo. Se realiza una perforación en el extremo de cada tablilla en la máquina destinada al efecto, cuidando que los orificios queden céntricos y se coloquen en el mismo sentido. Estas láminas se insertan en varillas de acero hasta completar 26 por varilla. Las mismas deben colocarse de manera que puedan ser separadas uniformemente.

El tendido se identificará como un lote de producción por dos descargas de los tachos, conocido como reporte. Las varillas se tienden en burros móviles.

Al concluir esta operación se colocan en carretillas de vagones y se transportan al túnel de secado.

2.1.8. Secado.

El objetivo de esta operación es lograr el secado total de la cola mediante aire caliente. Con las láminas tendidas se someten primero a un proceso de aireación para producir un secado exterior y lograr con esto que el gel se recubra con la llamada capa de piel. Se cierra el túnel y se comienza a calentar el aire utilizando vapor, hasta lograr una temperatura máxima de 60°C con circulación de aire. Esta operación durará de 10 a 12 días.

El túnel de secado fue fabricado en Cuba en el año 1970. Sus especificaciones son:

- Potencia del extractor: 3,06hp.
- Largo: 14,81m.
- Ancho: 2,51m.
- Altura: 2,7m.
- Régimen de trabajo: 12 horas diarias.

2.1.8. Molida.

Al cabo de 12 días las láminas secas pasan a la etapa de molida, cuyo objetivo principal es reducirlas a pequeñas partículas. Para ello se destienden las varillas y se echan las láminas de cola seca por la boca del molino, se comienza a moler hasta que todo el lote esté molido. Para proceder a la molida del otro lote siempre se debe cerciorar que no queden residuos de la molida anterior. Cada molida se identificará como un reporte.

2.1.9. Pesado y almacenamiento.

La cola granulada se vierte desde el molino directamente a los sacos, donde cada 3 sacos se formará un reporte. El objetivo de esta operación es el embalaje y tara del producto terminado.

En el local del embalaje se realiza el pesado y almacenamiento de los sacos. El objetivo del pesado es comprobar el peso establecido para cada saco así como su cierre, utilizando básculas de 0-50kg de brazo y plataforma, a la que se agregan pesas. Cada saco del lote se cose manualmente y debe poseer la etiqueta de identificación del producto terminado según se establece en la norma cubana NEL1192-07:2004.

La operación de almacenamiento tiene como fin colocar los sacos sobre paletas y ordenarlos en el almacén de acuerdo a su fecha de producción.

Es de vital importancia destacar que el proceso de producción de cola es un proceso discontinuo. (Anexo 1)

2.1.10. Generación de vapor.

El generador de vapor es el encargado de suministrar el vapor requerido en los equipos tecnológicos; este equipo entrega vapor saturado y es de tipo pirotubular con las características siguientes:

- Marca: Lambda.
- Modelo: 1100 N.
- Fecha de construcción: 1978.
- Fecha de rehabilitación: 18 de octubre del 2007.
- Fecha de prueba: 18 octubre del 2007.
- Presión máxima del equipo: $8,0\text{kgf/cm}^2$ (0,7845MPa).
- Presión de trabajo: $5,0\text{ kgf/cm}^2$ (0,4903MPa).
- Presión de prueba: 12 kgf/cm^2 (1,1768MPa).

Dentro de los equipos consumidores de vapor de la fábrica se encuentran:

- ❖ Los tanques de cocción: Del buen funcionamiento de este equipo dependerá la extracción de las moléculas de colágeno y con ello el poder adhesivo de la cola.
- ❖ Pre-evaporador y tachos: Equipos encargados de la concentración de la cola, para que alcance, en el tiempo establecido, la calidad requerida al final del proceso.

2.2. Evaluación del generador de vapor.

Con el objetivo de calcular la eficiencia de trabajo del generador de vapor se realiza su evaluación, obteniendo además el calor disponible y las pérdidas de calor en el mismo.

El combustible empleado es el *fuel-oil*, y se conoce que, el consumo promedio diario de combustible en el generador es de 1845kg/h , con densidad de 960kg/m^3 . La composición de dicho combustible fue obtenida en los laboratorios de la Empresa Comercializadora de Combustibles de Matanzas, y se muestra a continuación:

$x(\text{H}_2\text{O})= 2\%$	$x(\text{O}_2)= 1,2\%$
$x(\text{C})= 78,3\%$	$x(\text{S}_8)= 8\%$
$x(\text{H}_2)= 10,2\%$	$x(\text{Cenizas})= 0,3\%$

El *fuel-oil* antes de ser alimentado a la caldera es calentado, elevando su temperatura hasta 120°C. Al pasar el combustible por el horno del generador sus componentes, Carbono (C), Azufre (S₈) e Hidrógeno (H₂), combustionan en presencia del oxígeno atmosférico (O₂). Los gases calientes salen del generador a una temperatura de 230°C, según la ficha técnica de la caldera.

2.2.1. Balance de Masa.

El balance de masa se efectúa para conocer la composición y el flujo de gases calientes que pasan a través del haz de tubos e intercambia calor con el agua produciendo vapor saturado.

Este balance se realiza dando cumplimiento a la ley de conservación de la materia, expresada matemáticamente como:

$$m_{\text{sale}} = m_{\text{entra}} + m_{\text{genera}} - m_{\text{consume}} \quad 2.1$$

Donde:

m -Masa que sale, entra, se genera o se consume respectivamente, en el generador de vapor.

2.2.1.1. Cantidad de sustancia que entra con el combustible.

$$n_{\text{entra } C} = \frac{x_C \cdot W}{MM_C} \quad 2.2$$

Donde:

$x_{(i)}$ -Composición molar del componente i en el combustible. (C, H₂, O₂, S₈)

W -Flujo másico de combustible, kg/h

MM_(i) - Masa molar del componente i en el combustible, kg/kmol (Tabla B.1 Apéndice 1. Cruz, V.L. y Pons, A, 1987)

2.2.1.2. Cantidades de sustancia que entra con el aire.

Para la investigación que se realiza se considera un aire cuya composición es: 79% de N₂ y 21% de O₂(Pons, 1987)

Se conoce que el nitrógeno es un compuesto inerte, por lo que la cantidad de sustancia que entra con el aire se mantendrá en los gases de combustión.

Como el O₂ tiene una proporción definida y conocida en el aire seco, se considera que: exceso de aire seco = exceso O₂.

Reactivos limitantes: C(s), H₂(g) y S₈(g)

Reactivo en exceso: O₂ (g)

$$\% \text{ Exceso O}_2 = \frac{\text{O}_2 \text{ alimentado} - \text{O}_2 \text{ teórico}}{\text{O}_2 \text{ teórico}} \cdot 100 \quad 2.3$$

Según Pons (1987), se debe utilizar 1,25% de exceso de aire para garantizar una combustión completa, siendo entonces la ecuación 2.4 la que nos permite determinar el oxígeno alimentado.

$$\text{O}_2 \text{ alimentado} = 1,0125 \cdot \text{O}_2 \text{ teórico} \quad 2.4$$

Se entiende por oxígeno teórico el necesario para que los reactivos limitantes se transformen en productos de la combustión:

$$\text{O}_2 \text{ teórico} = \text{O}_2 \text{ estequiométrico} - \text{O}_2 \text{ con RL} \quad 2.5$$

Donde:

O_{2con RL} – Oxígeno alimentado con el reactivo limitante.

$$\text{O}_2 \text{ estequiométrico} = \text{RL}_i \cdot \text{R}_{\text{estequiométrica}} \quad 2.6$$

Siendo:

RL – Cantidad de sustancia del reactivo limitante *i*.

R_{estequiométrica} – Relación estequiométrica del reactivo limitante en la ecuación química.

Analizando las reacciones químicas que ocurren en este generador de vapor, se puede plantear el O₂ alimentado como se muestra en la ecuación 2.7

$$O_{2\text{alim entado}} = 1,0125 \cdot \left[\left(n_{eC} \cdot 1 \frac{O_2}{1C} + n_{eH_2} \cdot 0,5 \frac{O_2}{1H_2} + n_{eS_8} \cdot \frac{8O_2}{1S_8} \right) - n_{eO_2\text{combustible}} \right] \quad 2.7$$

La ecuación 2.8 permite determinar la cantidad de oxígeno total que entra al generador.

$$n_{eO_2\text{TOTAL}} = n_{eO_2\text{AIRE}} + n_{eO_2\text{COMBUSTIBLE}} \quad 2.8$$

2.2.1.3. Cantidad de sustancia que se consume.

Según datos ofrecidos por la empresa de calderas ALASTOR Matanzas, el generador de vapor objeto de estudio trabaja para una conversión de un 89% y un rendimiento del 100%.

$$n_{\text{cons RL}(i)} = \%conv \cdot n_{e\text{RL}(i)} \quad 2.9$$

Donde:

$n_{\text{cons RL}(i)}$ – Cantidad de sustancia que se consume del reactivo limitante i .

$\% conv$ – % de conversión.

$n_{e\text{RL}(i)}$ – Cantidad de sustancia que entra del reactivo limitante i .

$$n_{\text{cons } O_2\text{TOTAL}} = \sum n_{\text{cons } O_2\text{ } i} \cdot R_{\text{estequiométrica } i} \quad 2.10$$

Siendo:

$n_{\text{cons } O_2\text{ } i}$ - Cantidad de oxígeno consumido en la reacción i .

2.2.1.4. Cantidad de sustancia que se genera.

Si se conoce que el rendimiento es del 100%, entonces los productos generados ($n_{\text{gen } C}$) van a ser igual a las cantidades de los reactivos limitantes consumidos, por su relación estequiométrica. (ecuación 2.11)

$$n_{\text{gen } C} = n_{\text{cons RL } C} \cdot R_{\text{estequiométrica}} \quad 2.11$$

2.2.2. Balance de Energía.

El balance de energía en un generador de vapor muestra la distribución de la energía y se determina la energía utilizada, así como las pérdidas de calor por varias causas.

Para realizar el balance de energía se siguió la metodología de Pons (1987), que se detalla a continuación:

2.2.2.1. Eficiencia del generador de vapor.

La eficiencia bruta no tiene en cuenta el consumo de energía de diferentes equipos, pero es con la que más se trabaja pues permite una mejor comparación entre generadores de vapor.

Utilizando el método indirecto de cálculo, la eficiencia del generador de vapor se determina a través de la ecuación 2.12.

$$\eta = 100 - \sum (Q_i \cdot p_i) \quad 2.12$$

Donde:

η - Eficiencia del generador de vapor.

$$\sum (Q_i \cdot p_i) = \frac{\sum Q_i}{Q_d} \cdot 100 \quad 2.13$$

Siendo:

Q_i - Pérdidas de calor desde Q_2 a Q_8 , kJ/h .

Q_d -Calor disponible, kJ/h . Se refiere a la energía que libera el combustible cuando combustiona (ecuación 2.14).

La energía liberada por el combustible, o calor disponible, puede provenir de:

- Valor calórico neto del combustible. VCN
- Calor físico o precalentamiento del combustible. $Q_{\text{precalentamiento-comb}}$
- Calor por precalentamiento del aire. $Q_{\text{precalentamiento-aire}}$
- Calor proveniente del vapor de atomización. $Q_{\text{vapor-atomizado}}$

$$Q_d = VCN + Q_{\text{precalentamiento-comb}} + Q_{\text{precalentamiento-aire}} + Q_{\text{vapor-atomizado}} \quad 2.14$$

La expresión del calor disponible se simplifica atendiendo a las características del generador de vapor que se estudia, para el caso que se analiza la ecuación queda expresada como muestra la ecuación 2.15.

$$Q_d = VCN + Q_{precalentamiento-comb} \quad 2.15$$

Para determinar el calor del precalentamiento del combustible se utiliza la Primera Ley de la Termodinámica, que de forma simplificada se refleja en la ecuación 2.16:

$$Q_{precalentamiento-comb} = W_{comb} \cdot \overline{C_p} \cdot \Delta T \quad 2.16$$

Donde:

W_{comb} - Flujo másico del combustible, *kg/h*.

$\overline{C_p}$ - Calor específico a la temperatura media del combustible, *kJ/kg°C*.

ΔT -Diferencia de temperatura, °C.

A continuación se reflejan las ecuaciones que definen cada pérdida de energía en un generador de vapor.

2.2.2.2. Cálculo de la energía perdida debido a la humedad del combustible (Q₂).

El agua libre que entra con los combustibles sólidos o líquidos, entra en estado líquido y sale como vapor sobrecalentado como parte de los productos gaseosos. La energía perdida por este proceso puede calcularse como:

$$Q_2 = W_{AC} \cdot (H_{VC} - H_{LC}) \quad 2.17$$

Donde:

W_{AC} - Flujo de agua libre en el combustible por kilogramo de combustible quemado, *kg/h*.

H_{VC} - Entalpía específica del vapor de agua sobrecalentado que sale en los gases de combustión, *kJ/kg*.

H_{LC} - Entalpía específica del agua líquida que entra con el combustible, *kJ/kg*.

Se plantea, en esta metodología, que:

Para $t_g > 320^\circ\text{C}$, entonces

$$H_{VC} - H_{LC} = 4,1867 \cdot (8333 + 0,5 \cdot t_g - t_c) \quad 2.18$$

y para $t_g < 320^\circ\text{C}$, entonces

$$H_{VC} - H_{LC} = 4,1867 \cdot (95,4 + 0,46 \cdot t_g - t_c) \quad 2.19$$

En las ecuaciones 2.18 y 2.19, t_g es la temperatura de salida de los gases por la chimenea y t_c es la temperatura de entrada del combustible y ambas se expresan en $^\circ\text{C}$. Es necesario tener en cuenta que dichas expresiones son obtenidas empíricamente, por lo que se consideran aproximadas.

2.2.2.3. Energía perdida debido al agua formada por la combustión del hidrógeno en el combustible (Q_3).

Esta pérdida es prácticamente del mismo tipo que Q_2 , y como casi todos los combustibles que se utilizan actualmente contienen hidrógeno, se puede asegurar que es inevitable. Mientras mayor sea el contenido de hidrógeno en el combustible, mayor será esta pérdida.

$$Q_3 = 9H \cdot (H_{VC} - H_{LC}) \quad 2.20$$

Donde:

H - Fracción másica del hidrógeno en el combustible, representando 9H la masa de agua formada.

2.2.2.4. Energía perdida debido al agua del aire (Q_4).

La pérdida de energía por este concepto es pequeña, pues casi siempre la humedad del aire es pequeña y el agua se encuentra en estado gaseoso.

$$Q_4 = W_{AV} \cdot (t_g - t_a) \quad 2.21$$

Donde:

t_a - Temperatura de entrada del aire, $^\circ\text{C}$.

W_{AV} -Masa de agua que contiene el aire por masa de combustible utilizado.

2.2.2.5. Energía perdida debido a los productos gaseosos secos (Q_5).

En generadores de vapor esta constituye la mayor pérdida de energía y es función de la temperatura a la que salen los productos gaseosos (t_g), de forma tal que mientras mayor sea t_g , mayores serán las pérdidas de energía por este concepto y viceversa.

Los precalentadores de aire y los economizadores contribuyen a disminuir esta pérdida, sin embargo factores como, un gran exceso de aire, una circulación pobre de agua y superficies de transferencia de calor sucias, contribuyen a aumentar la misma. En la ecuación 2.22 se muestra como se determina.

$$Q_5 = W_{GS} \cdot \overline{Cp_{GS}} (t_g - t_a) \quad 2.22$$

Donde:

W_{GS} -Masa de productos gaseosos secos por masa de combustible alimentado.

$\overline{Cp_{GS}}$ – Calor específico promedio entre t_g y t_a para los productos gaseosos secos. En Pons (1987), un valor muy usado es 1 kJ/kg°C, por lo que se tomará este valor para realizar los cálculos.

2.2.2.6. Energía perdida debido a la combustión incompleta (Q_6).

Cuando se suministra aire en exceso a un proceso de combustión, no se consigue quemar todo el combustible; si hay suficiente oxígeno, se puede considerar que todo el hidrógeno del combustible ha reaccionado para dar agua, pero no obstante, una pequeña cantidad de carbono aparece en forma de CO.

En el caso que se estudia no ocurre así, ya que la combustión es completa (rendimiento de 100%) y no se producen compuestos intermedios. Por esta razón no se calcula esta pérdida en el balance.

2.2.2.7. Energía perdida debido al carbono no quemado (Q_7).

La presencia de carbono en los productos sólidos o residuos, implica pérdidas de energía que equivalen a la energía que no ha liberado el carbono que se ha quemado. Ésta energía perdida, según, Tanqueros (1987), sólo se calcula para combustibles sólidos o procesos en los cuales se puedan hacer análisis de las cenizas.

El combustible utilizado se encuentra en forma líquida por lo tanto ésta pérdida no se calculó; aunque es importante señalar que como la conversión es de un 89%, hay una cantidad de carbono que no se quema, formando residuos, pero como no existen los medios para analizar las cenizas, se considera nula esta pérdida de energía, conscientes del error que puede cometerse.

2.2.2.8. Energía perdida debido a la radiación, convección y conducción en las paredes del generador, al hidrógeno y los hidrocarburos que no reaccionan (Q_8).

$$Q_8 = VCS - \sum Q_i \tag{2.25}$$

Donde:

VCS - Valor calórico superior, *kJ/kg*.

$\sum Q_i$ - Sumatoria de las energías perdidas desde Q_2 hasta Q_7 , *kJ/kg*.

Para hallar el valor calórico superior se utilizó la ecuación 2.26:

$$VCS = VCN + m_{H_2O} \cdot \lambda_{H_2O} \tag{2.26}$$

Donde:

VCN - Valor calórico neto, *kJ/kg*.

m_{H_2O} - Masa de agua que sale de la reacción en los gases de combustión, *kg/h*.

λ - Calor latente de saturación del agua a 25°C, *kJ/kg*.

El agua que sale de la reacción puede ser obtenida a través de la ecuación 2.27.

$$m_{H_2O} = 9H + x_{H_2O} \tag{2.27}$$

Donde:

x_{H_2O} -Composición másica de agua en el combustible.

Con el cálculo de las distintas pérdidas de energía que ocurren en el generador de vapor determinamos la eficiencia bruta del mismo.

2.2.2.9. Determinación del flujo de vapor saturado producido en el generador.

Para determinar el flujo de vapor que entrega la caldera a los equipos consumidores fue necesario realizar un balance de energía.

$$Q_{\text{absorbido}} = Q_{\text{disponible}} - Q_{\text{perdido}} \quad 2.28$$

Como se conocen las condiciones del sistema agua/vapor se puede calcular el calor absorbido por el mismo, la ecuación 2.29 muestra como se define.

$$Q_{\text{absorbido-H}_2\text{O}} = w_{\text{H}_2\text{O}} \cdot \overline{Cp} \cdot \Delta T + w_{\text{H}_2\text{O}} \cdot \lambda \quad 2.29$$

Donde:

$w_{\text{H}_2\text{O}}$ - Flujo de agua que se alimenta, *kg/h*.

C_p - Calor específico a la temperatura media del agua, *kcal/kg°C*.

ΔT - Diferencia de temperatura, *°C*.

λ - Calor latente de vaporización, *kcal/kg*.

El calor disponible se define en la ecuación 2.15 y el calor total perdido se determina a través de las pérdidas de energía totales (Q_2 a Q_8). Haciendo uso de la ecuación 2.29 se calcula el flujo de agua/vapor producido.

2.3. Determinación del consumo de vapor en los equipos tecnológicos.

En el proceso productivo de la cola, se emplean varios equipos que consumen el vapor producido por la caldera objeto de estudio. Con el objetivo de conocer el flujo de vapor que necesitan dichos equipos, para su funcionamiento eficiente, fue necesario realizar un balance de energía en cada uno de ellos.

$$Q_{\text{absorbido}} = \frac{m_{\text{caldo}} \cdot C_{p_{\text{caldo}}} \cdot \Delta T + m_{\text{H}_2\text{O}} \cdot \lambda}{t_{\text{cons-vapor}}} \quad 2.30$$

La caldera que se estudia produce vapor saturado, por lo que el calor que cede sólo puede provenir de su cambio de fase (condensación), en la ecuación 2.31 se muestra como se determina el calor cedido por el mismo.

$$Q_{\text{cedido}} = w_{\text{vapor}} \cdot \lambda \quad 2.31$$

Donde:

m_{caldo} - Masa del caldo en el pre-evaporador o en el tacho, *kg*.

C_p – Calor específico del caldo, $kcal/kg^{\circ}C$.

ΔT - Diferencia de temperatura, $^{\circ}C$.

λ - Calor latente de vaporización del agua a las condiciones de caldera, $kcal/kg$.

Estimación de la masa del caldo:

Para estimar la masa del caldo (ecuación 2.32) en las etapas de pre-evaporación y tachos, se determina el volumen y la densidad de los caldos, realizando mediciones de estas variables.

$$m_{caldo} = V_{caldo} \cdot \rho_{caldo} \quad 2.32$$

Es necesario señalar que el proceso productivo de la cola es discontinuo, realizándose las etapas de pre-evaporación y concentración en los tachos en jornadas laborales diferentes, además de que dicho proceso sufrió constantes interrupciones y estuvo detenido por 3 meses, influenciando todo esto en la metodología planificada para estimar las variables a estudiar. Con el fin de obtener al menos una idea aproximada se trabaja con la única medición completa que fue posible realizar.

Para determinar el flujo de agua (ecuación 2.33) que se evapora, se determina la diferencia entre la masa del caldo inicial y la final en el equipo tecnológico requerido y se divide entre el tiempo de consumo de vapor saturado en cada uno de los equipos.

$$w_{H_2O} = \frac{m_{caldo-i} - m_{caldo-f}}{t_{cons-vapor}} \quad 2.33$$

Consumo de vapor en los equipos:

Considerando que no hay pérdidas de calor en los equipos de transferencia se puede decir que el calor absorbido por el caldo es igual al cedido por el vapor saturado, quedando el consumo de vapor como se muestra en la ecuación 2.34.

$$w_{vapor} = \frac{m_{caldo} \cdot C_p_{caldo} \cdot \Delta T + m_{H_2O} \cdot \lambda}{\lambda} \quad 2.34$$

2.4. Diseño del espesor de los aislantes en el sistema de tuberías del vapor.

Los aislantes de todo el sistema de generación, distribución y uso del vapor saturado en la fábrica de cola se encuentran seriamente deteriorados. La mayoría de las tuberías se encuentran desprovistas de aislante y en las que lo poseen, está calcinado y por tanto inservible, por lo que técnicamente se puede considerar que las tuberías se encuentran sin aislar. Por todo lo expuesto fue necesario diseñar los aislantes del sistema de tuberías por donde transita el vapor para así reducir en gran medida las pérdidas de energía al medio y mejorar el proceso productivo de la cola.

Para determinar el diámetro del aislante que se necesita para las tuberías de vapor saturado en este proceso se plantean las ecuaciones para determinar la densidad de flujo de calor para el sistema sin aislamiento (ecuación 2.35) y cuando se encuentra aislado (ecuación 2.36).

$$q_{\text{sin-aislante}} = \frac{\pi \cdot (T_a - T_s)}{\frac{1}{h_{cf}} + \frac{1}{2k_t} \cdot \ln \frac{d_e}{d_i} + \frac{1}{h_{cl}}} \quad 2.35$$

$$q_{\text{con-aislante}} = \frac{\pi \cdot (T_s - T_{\text{aislante}})}{\frac{1}{h_{cf}} + \frac{1}{2k_t} \cdot \ln \frac{d_e}{d_i} + \frac{1}{2k_{\text{aislante}}} \cdot \ln \frac{d_{\text{aislante}}}{d_e}} \quad 2.36$$

Donde:

$q_{\text{sin-aislante}}$ - Densidad de flujo de calor del sistema sin aislante, W/m^2C .

T_s -Temperatura de salida del vapor, $^{\circ}C$.

T_a - Temperatura del aire atmosférico, $^{\circ}C$.

T_w -Temperatura de la pared de la tubería, $^{\circ}C$

d_e -Diámetro exterior de la tubería, m .

d_i -Diámetro interior de la tubería, m .

d_{aislante} -Diámetro del aislante, m .

k_t - Conductividad térmica de la tubería, W/mK .

k_{aislante} -Conductividad térmica del aislante, W/mK .

h_{cf} - Coeficiente pelicular de transferencia de calor por conversión forzada, $W/m^2\text{°C}$.

h_{cl} - Coeficiente pelicular de transferencia de calor por conversión libre, $W/m^2\text{°C}$.

Como el régimen de flujo es turbulento se puede plantear, según Krasnoschiokov (1986), que los coeficientes de transferencia de calor en el vapor y el aire se calculan como se muestran en las ecuaciones 2.37 y 2.38:

$$h_{cf} = \frac{Nu \cdot k}{de} = 0,023 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,43} \quad 2.37$$

$$h_{cl} = \frac{Nu \cdot k}{de} = C \cdot (Gr \cdot Pr)^n \quad 2.38$$

Donde:

Nu – Número adimensional de Nusset

Pr – Número adimensional de Prandalt.

Gr - Número adimensional de Grachot

Capítulo 3. Análisis de los resultados.

3.1. Evaluación crítica del proceso de elaboración de cola animal.

El proceso de obtención de cola en la fábrica “Juan Ripoll” de Matanzas, data de 1949 y sólo ha recibido en su beneficio varias reparaciones menores, sin que se le realizara inversión alguna, ni reparación capital, que le permitieran actualizar su tecnología, por el contrario las reparaciones efectuadas se han hecho sin el respaldo de cálculos técnicos.

A continuación se señalan las limitaciones tecnológicas de esta fábrica, a partir de la caracterización de cada una de sus etapas.

➤ **Preparación de la materia prima.**

La materia prima se corta, de forma manual, tratando de garantizar que la misma se encuentre en pequeñas dimensiones para aumentar la superficie de contacto, sin embargo la uniformidad y adecuado tamaño no siempre se logra al depender del factor humano y no existir una mecanización en el corte.

➤ **Lavado y depilado.**

Debido a que esta operación es también manual, las proporciones de los agentes químicos empleados no son siempre las correctas, lo cual puede ser un factor que agrave las incrustaciones y la transferencia de calor.

➤ **Tratamiento térmico a las moléculas del colágeno.**

El suministro de vapor en esta etapa es totalmente desconocido, pues se suministra vapor durante varios momentos de la operación de cocción y a criterio del operario. Como este vapor se mezcla directamente con las pieles producto a los salideros que posee dicha tubería no es posible la determinación de condensado, ni vía alguna para el cálculo del vapor consumido.

➤ **Evaporación.**

No existen manómetros para medir la presión del vapor como agente de calentamiento a la entrada del pre-evaporador, por lo que el balance de energía debe efectuarse considerando para el vapor la misma presión a la cual se genera y se introducen

errores al no considerar la caída de presión en las líneas. La presión de vacío en este equipo no es siempre estable. Además no se mide directamente la cantidad del caldo que sale del pre-evaporador, al ser enfriado se pasa a los tanques, donde es estimada de forma indirecta a partir del volumen y la densidad. Lo anterior hace más inexacto el balance de energía.

➤ **Tratamiento de concentración. Tachos**

En este equipo se presentan las mismas dificultades que en el pre-evaporador, creando los mismos inconvenientes para realizar un balance de energía.

➤ **Secado.**

Aún cuando esta operación no se estudia en este trabajo se considera importante señalar sus limitaciones tecnológicas, entre las cuales se puede encontrar: la inestabilidad con que se suministra vapor a esta operación, la imposibilidad de medirlo directamente y la carencia de un control de calidad adecuado que brinde la humedad del producto antes y después de la operación.

➤ **Generador de vapor.**

Este equipo fue obtenido de otra entidad laboral y reparado para ser utilizado en esta fábrica, pero no ha recibido mantenimiento especializado por la empresa correspondiente desde julio del 2007, lo cual afecta su eficiencia.

La forma de operar este generador es en gran medida inapropiada, ya que se detiene su funcionamiento al concluir las operaciones de pre-evaporación y concentración, y cuando culmina la jornada laboral de la semana, para después hacerlo funcionar nuevamente suministrándole agua a temperatura ambiente. Se presentan en este equipo algunas deficiencias en su aislamiento y el agua utilizada para alimentarlo se puede considerar como agua cruda, ya que las resinas de intercambio iónico se encuentran agotadas y no han sido repuestas.

➤ **Sistema de tuberías de vapor.**

Ninguna de las tuberías de vapor se encuentra aislada y además algunas tienen un nivel de deterioro elevado, provocando salideros de vapor.

➤ **Instrumentación de control y control de calidad durante el proceso.**

La instrumentación es sumamente escasa e incluso la existente presenta deficiencia. No existe un control de los parámetros de calidad en el transcurso del proceso, solo se controla la calidad del producto final en caso de ser necesario.

➤ **Régimen de operación de la planta.**

Uno de los inconvenientes fundamentales para estudiar esta planta es que en la misma no se tiene en cuenta la terminación de sus ciclos de producción para ser detenida, esto quiere decir que la planta termina su operación de la semana, dejando sus equipos de evaporación y los tachos cargados hasta la próxima semana, deteniéndose también el proceso de generación de vapor con la consecuente afectación en el consumo de los portadores energéticos (tanto combustible como electricidad). Estas son las razones por las cuales no se pudo concebir una estrategia para realizar varias corridas en la medición del consumo de vapor en los equipos tecnológicos.

3.2. Evaluación del generador de vapor.

3.2.1. Balance de masa.

Tabla 3.1. Datos necesarios para el balance de masa.

Parámetros	Magnitud	Unidades
Conversión	89	%
Rendimiento	100	%
Flujo de combustible	1845	kg/h
Humedad relativa	75	%
% de exceso del oxígeno	1,25	%

Los valores de conversión y rendimiento, como se explica en el epígrafe 2.2.1.3, son datos ofrecidos por la empresa de calderas ALASTOR Matanzas, para el generador de vapor objeto de estudio. El flujo de combustible, *fuel-oil*, se reporta por la fábrica y la composición del mismo fue ofrecida por la Empresa Comercializadora de Combustibles de Matanzas como se reporta en el epígrafe 2.2.

La humedad relativa se corresponde con el valor medio anual reportado por CITMA Matanzas que se determina según la metodología de Moya (2010).

En el epígrafe 2.2.1.2 se explica que con el 1,25% de exceso de aire se garantiza la combustión completa y se reporta la composición del aire que se considera para esta investigación.

A partir de los datos anteriormente señalados y de las ecuaciones del balance de masa con reacción química, correspondientes al generador de vapor (ecuaciones 2.1 – 2.11), que se reportan en el segundo capítulo de este trabajo, se obtuvieron los resultados que se muestran en la tabla 3.2.

Tabla 3.2. Resultados del balance de masa.

Compuestos	Cantidad de sustancia que entra (kmol/h)	Cantidad de sustancia generada (kmol/h)	Cantidad de sustancia consumida (kmol/h)	Cantidad de sustancia que sale (kmol/h)
H ₂ O	31,88	83,7	-	115,58
C	120,38	-	107,14	13,24
H ₂	94,095	-	83,7	10,395
O ₂	169,03	-	149,51	19,52
S ₈	0,58	-	0,5162	0,0638
N ₂	635,86	-	-	635,86
CO ₂	-	107,14	-	107,14
SO ₂	-	0,5162	-	0,5162

Para realizar el análisis de cada uno de estos valores fue necesario convertir cada uno de estos flujos molares a másicos, por lo que se afectaron los valores por su masa molar. Los resultados obtenidos se reflejan en la tabla 3.3.

Tabla 3.3. Balance de masa expresado en flujo másico.

Compuestos	Flujo de entrada (kg/h)	Flujo que se genera (kg/h)	Flujo que se consume (kg/h)	Flujo que sale (kg/h)
H ₂ O	1,771	4,65	-	6,421
C	10,032	-	8,928	1,103
H ₂	47,047	-	41,85	5,198
O ₂	5,282	-	4,672	0,61
S ₈	0,0022	-	0,002	0,0002
N ₂	22,709	-	-	22,709
CO ₂	-	2,435	-	2,435
SO ₂	-	0,002	-	0,002
Total	86,843	7,087	55,452	38,478

A partir de los resultados mostrados en la tabla 3.3, es posible comprobar el cumplimiento de la ley de conservación de la masa (ecuación 2.1). Además, se conoce que el flujo másico de gases producto de la combustión que van a intercambiar calor con el sistema agua/vapor en el generador es de 38,478kg/h. También es importante señalar que el flujo de carbono que sale es de 1,103kg/h, relativamente pequeño, aproximadamente un 2,8% del total. Éste, unido al contenido de cenizas en el combustible *fuel-oil*, serán los responsables de formar los residuos sólidos e influir en la pérdida de energía Q_7 . Como se explica en el epígrafe 2.2.2.7, la pérdida de energía por carbono no combustionado no se determina por falta de medios para analizar los residuos sólidos de la caldera.

3.2.2. Balance de energía en el generador de vapor.

Tabla 3.2. Datos necesarios para el balance de energía.

No	Parámetros	Magnitud	Unidades
1	Temperatura de salida de los gases	230	°C
2	Temperatura de entrada del combustible	120	°C
3	Valor calórico neto	40166,40	kJ/kg
4	Presión de trabajo del generador	101868,29	kPa
5	Temperatura de saturación del vapor	155	°C
6	Temperatura del aire	32	°C
7	Calor específico del aire	8,07	kJ/kg°C
8	Calor específico del combustible	2,11	kJ/kg°C
9	Calor específico de los gases secos	0,99	kJ/kg°C
10	Calor latente de vaporización a las condiciones de la caldera	2095,34	kJ/kg
11	Calor latente de vaporización del agua a 25°C	2442,3	kJ/kg
12	Calor específico del agua de alimentación	0,239	kJ/kg°C
13	Temperatura de entrada del agua de alimentación	30	°C

Los datos correspondientes a la numeración 1, 2, 4 y 13 se tomaron de los registros históricos de la fábrica, los datos 3, 5, 7, 8, 9 y 12 son los reportados por Perry's, (1989) y la temperatura del aire es la temperatura media anual que se corresponde con los resultados obtenidos por el CITMA Matanzas que se determina según la metodología de Moya (2010), los datos 10 y 11 se obtuvieron en la Tabla 1, Kennan (2006) a partir de la presión de trabajo de la caldera.

El balance de energía en el generador de vapor se efectúa por el método indirecto que recomienda Pons (1987), el cual se describe en el epígrafe 2.2.2.

Primeramente se determina el calor que se produce por el calentamiento del combustible antes de ser alimentado al generador de vapor (ecuación 2.16), siendo de 343053,69kJ/h. Así, haciendo uso de la ecuación 2.15 se determina el calor que se tendrá disponible para producir el vapor; dicho calor es de 383220,09kJ/h. Como se puede apreciar el calor por precalentar el combustible representa la mayor parte (89,5%) de lo que se tendrá disponible, resaltando la importancia de aumentar la temperatura del combustible a la entrada del horno.

Para calcular las pérdidas de energía que se producen en el generador se necesitan algunos flujos de sustancias, los resultados que se obtienen se muestran en la tabla 3.3.

Tabla 3.3. Flujos de sustancias que intervienen en el balance de energía del generador de vapor.

Parámetros	Magnitud	Unidades
Flujo de agua que sale en la reacción.	0,938	kg/h
Flujo de agua libre en el combustible.	0,02	kg/h
Flujo de combustible quemado.	1845	kg/h
Flujo de agua en el combustible.	36,9	kg/h
Flujo de agua que contiene el aire	536,86	kg/h
Flujo total de productos gaseosos secos.	84652,46	kg/h

Haciendo uso de los resultados de la tabla 3.3 y de la ecuaciones 2.17 – 2.27 se determinan las pérdidas de energías involucradas en el proceso. En la tabla 3.4 se reflejan los resultados.

Tabla 3.4. Pérdidas de energías en la caldera.

Parámetros	Magnitud	Unidades
Energía perdida por la humedad del combustible (Q_2)	5486	kJ/h
Energía perdida por el agua formada por la combustión del hidrógeno del combustible (Q_3)	2518,18	kJ/kg
Energía perdida debido al agua del aire (Q_4)	381,35	kJ/kg
Energía perdida debido a los productos gaseosos secos (Q_5)	10001,84	kJ/h
Energía perdida por la combustión incompleta (Q_6)	0	kJ/h
Energía perdida debido al carbono no quemado (Q_7)	0	kJ/h
Energía perdida por radiación, conversión y conducción en las paredes del generador, al hidrógeno y los hidrocarburos que no reaccionan (Q_8)	29559,05	kJ/h
Energía perdida total en el generador	42515,28	kJ/h

Se puede apreciar en los resultados de la tabla 3.4 que las mayores pérdidas se deben a los productos gaseosos secos (Q_5) y a la pérdida por los mecanismos de transferencia de calor y al hidrógeno e hidrocarburos no quemados (Q_8), representando un 23,53% y 69,53 % respectivamente. Entre ellas alcanzan el 93% de las pérdidas totales del generador de vapor.

Si se analiza el generador de vapor objeto de estudio, se puede plantear que la pérdida de energía Q_5 , alcanza esa proporción ya que no se precalienta el aire ni el agua antes de ser alimentados a la caldera y además los gases de escape se emiten a una temperatura algo elevada (230°C, según ficha técnica), factores todos que influyen de forma negativa en dicha pérdida. Mientras que las pérdidas de energía por concepto de la transferencia de calor dependen de los datos de diseño del horno y de los materiales

de construcción y aislamiento de los generadores de vapor, y como se ha planteado el estado de la caldera es deplorable y los datos de diseño que se tienen no representan la realidad del equipo.

Para comprender mejor las pérdidas totales de energía que ocurren en el generador de vapor, se relacionan como por ciento del calor disponible para la producción de vapor, estas representan el 46,22% de dicho calor. Como se aprecia, se pierde casi la mitad del calor que se debe aprovechar para la producción de vapor, comprobando el mal funcionamiento del generador. Este resultado concuerda con la eficiencia de trabajo del mismo que apenas es de un 53,88%. Para apoyar estos resultados, además se calcula el por ciento que representa las pérdidas de energía vinculadas al estado técnico de la caldera con respecto al calor cedido siendo de 32,27%, valor que se considera elevado. Se conoce que la eficiencia de un generador de vapor depende no sólo del diseño sino de la operación del mismo, influenciando en el valor obtenido, la cantidad de combustible que no se quema, (% de conversión) y el ensuciamiento de las superficies de transferencia de calor, por el deficiente mantenimiento recibido.

Para apoyar el análisis de los resultados, se consultó a la empresa de calderas ALASTOR, que brindó el expediente de diseño ofrecido por la Constructora Fields.a (1957), entidad encargada de la construcción del generador de vapor ubicado en la fábrica de cola. La caldera fue diseñada para un máximo de 11% de pérdidas de energía, y se puede comprobar en la tabla 3.4 y en los resultados antes expuesto que las mismas son casi 4 veces las pérdidas permitidas. Además se reporta que la eficiencia correspondiente es de un 89%, distando mucho del 54% aproximado con el que se está trabajando actualmente. Todos estos análisis apoyan la influencia del deficiente estado técnico y la obsolescencia que tiene el generador de vapor en la ineficiencia del proceso de producción de cola.

Con vista a confirmar el mal funcionamiento del generador de vapor, se determina el flujo de vapor que es capaz de producir en las condiciones actuales.

Haciendo uso de las ecuaciones 2.28 y 2.29 se obtienen 130,08kg/h de vapor saturado, que para comprobar si es suficiente para satisfacer las necesidades tecnológicas del proceso, se determina su consumo.

3.3. Determinación del consumo de vapor en los equipos tecnológicos.

Los primeros equipos donde se consume vapor son los tanques de cocción, pero como se explica en el epígrafe 3.1, este consumo no es imposible determinarlo. Así, se calculan los consumos de vapor en el pre-evaporador y los tachos. Se sigue la metodología explicada en el epígrafe 2.3.

Los datos que a continuación se reportan fueron tomados directamente en el proceso productivo de la cola, con excepción de la capacidad calorífica del caldo que, por falta de instrumentación e información, fue asumida a partir de una mezcla de colágeno y agua para la cual se reporta una capacidad calorífica de 3,807 kJ/kg°C. (Díaz, 1980)

Como ya se ha señalado (epígrafe 2.3) la temperatura inicial y final del caldo así como los tiempos de suministro de vapor se midieron en una sola oportunidad, debido a las paradas del proceso productivo, realizándose en el período que se estudia un solo ciclo de producción. Sin embargo algunos pocos reportes técnicos señalan valores próximos a los utilizados.

El tiempo que dura el suministro de vapor a pre-evaporadores y tachos se corresponde con el tiempo habitual de estas operaciones en la planta, las cuales no se realizan simultáneamente.

Tabla 3.5. Datos necesarios para estimar el consumo de vapor.

Parámetros	Magnitud	Unidades
Capacidad calorífica del caldo	3,807	kJ/kg°C
Temperatura inicial	40	°C
Temperatura final	65	°C
Tiempo de suministro de vapor en el pre-evaporador.	5	h
Tiempo de suministro de vapor en los tachos.	6	h

Atendiendo a las exigencias de las concentraciones de los flujos a la salida del pre-evaporador y de los tachos, fue calculada la masa de agua evaporada en cada uno de ellos y a partir de este resultado se obtuvieron los consumos de vapor en cada uno de estos equipos. Con los datos referidos en la tabla 3.5 y las ecuaciones 2.30 – 2.34 se obtienen los resultados que se muestran en la tabla 3.6.

Tabla 3.6. Balance de energía en los equipos consumidores de vapor.

Parámetros	Magnitud	Unidades
Masa inicial del pre-evaporador.	502,8	kg
Masa final del pre-evaporador.	397,4	kg
Masa de agua evaporada en el pre-evaporador.	105	kg
Consumo de vapor en el pre-evaporador.	112,4	kg/h
Masa inicial del tacho.	397,4	kg
Masa final del tacho.	294,076	kg
Masa de agua evaporada en los tachos.	103,324	kg
Consumo de vapor en los tachos.	107,05	kg/h
Consumo total de vapor	219,45	kg/h

Es importante señalar que el vapor producido por el generador en las condiciones actuales de trabajo, no alcanza para satisfacer el consumo de vapor del pre-evaporador y los tachos, si estos funcionaran simultáneamente, ya que en ese caso se necesitarían 219,45kg/h de vapor, y solo se disponen de 130,08kg/h. Esta es la razón principal por la que la fábrica ha adoptado el estilo de operar desfasadamente estos equipos, en jornadas laborales alternas, corriendo el riesgo de que los materiales procesados detenidos en los equipos pierdan calidad.

Por todo lo que se ha analizado hasta este punto, se comprueba que el generador de vapor es ineficiente, con pérdidas de energías considerables, lo que conlleva a una producción de vapor insuficiente para lograr un producto de calidad. Así mismo, ya se conoce que las tuberías que transportan dicho vapor están sin aislamiento, empeorando los procesos de concentración de la cola y retardando el tiempo de dichos procesos.

3.4. Diseño del aislamiento para las tuberías de vapor.

Atendiendo a la ausencia de aislantes en las tuberías que conducen el vapor desde el generador a los equipos consumidores se requiere calcular el comportamiento de las pérdidas en las mismas. Se relacionan en la tabla 3.7 los datos necesarios.

Tabla 3.7. Datos para calcular las pérdidas de energía en tuberías.

Diámetro de tubería (m)	Longitud de tubería (m)	Índice de pérdidas en tuberías sin aislar (kcal/hm).	Índice de pérdidas de combustible en tuberías sin aislar (L/hm).
0,1016 (4in)	35	841,29	0,21
0,0508 (2in)	68	499,63	0,13
0,0254 (1in)	63	328,79	0,09

Los índices que aparecen en la tabla son reportados por Pedraja (1987), y se refieren tanto a las pérdidas de energía, como a la cantidad de *fuel-oil*, correspondiente a estas pérdidas, por hora y por metro de longitud de tubería.

Tabla 3.8. Resultados obtenidos en el cálculo de las pérdidas de energía en tuberías sin aislar.

Diámetro de tubería (m)	Pérdidas en tuberías sin aislar (kcal/h)	Equivalencia de las pérdidas en combustible (L/d)	Gasto del combustible (\$/d)	Gasto del combustible (\$/a)
0,1016	29445,21	174,87	113,66	13639
0,0508	37974,5	211,051	137,18	16462
0,0254	20713,88	135,92	88,35	10602
Total.	84133,59	521,841	339,19	40703

Se muestran en la segunda columna de la tabla 3.8 las pérdidas de energía en las tuberías de la planta, que se obtienen considerando las longitudes correspondientes de

cada tipo de tubería y aplicando el índice de equivalencia en combustible consumido por este concepto. Se obtuvo un consumo total, relacionado con las pérdidas de energía, de 521,84 litros de *fuel-oil* diario, lo cual se corresponde con un valor de 339,19 \$/d. Si se tiene en cuenta que la planta trabaja 15 días al mes, durante 8 meses del año el gasto por combustible, solo por concepto de pérdidas, llega a ser de 40703 \$/a, lo que representa un valor significativo dadas las características de la planta.

Evidentemente se impone realizar el aislamiento de estas tuberías, para lo cual se debe seleccionar entre dos posibles aislantes disponibles en el mercado nacional, que de acuerdo con la información de la dirección técnica de la planta, son silicato de calcio y fibra de vidrio.

Utilizando la metodología explicada y las ecuaciones reflejadas en el epígrafe 2.4 se determinan los espesores de los aislantes considerando una temperatura de 45°C en el borde exterior. Los resultados obtenidos para los dos tipos de aislantes se muestran en la tabla 3.9.

Tabla 3.9. Espesor de los aislantes.

Diámetro de la tubería (m)	Tipo de aislante.	Conductividad del aislante a temperatura media (W/m⁰C)	Espesor del aislante (m)	Precio del aislante (\$/m)
0,1016	Silicato de calcio.	0,064	0,1016	60
0,1016	Fibra de vidrio.	0,049	0,07366	52,8
0,0508	Silicato de calcio.	0,064	0,05969	60
0,0508	Fibra de vidrio.	0,049	0,04318	52,8
0,0254	Silicato de calcio.	0,064	0,038862	60
0,0254	Fibra de vidrio.	0,049	0,027178	52,8

Como se aprecia en la tabla 3.9, para tuberías de 4 pulgadas de diámetro (0,1016m), el espesor del aislante de silicato de calcio es mayor que el espesor necesario si se utilizara fibra de vidrio, lo cual se corresponde con las conductividades térmicas de estos aislantes, sucediendo lo mismo en el resto de las tuberías de otros diámetros,

además se puede observar en la misma tabla que el precio de la fibra de vidrio es menor que el del silicato de calcio, aspecto importante en la selección de un aislante. El aislante seleccionado fue el de fibra de vidrio con un costo total de 26244,6\$.

Analizando todo lo antes expuesto se selecciona el aislante de fibra de vidrio, por ser el de menor costo y el de menor espesor a utilizar, aspecto que resulta conveniente ya que la proximidad entre las tuberías de la planta exige diámetros menores de aislante. Con el aislante de fibra de vidrio seleccionado y atendiendo a los espesores nominales disponibles, según Insulation Price Guide (2009), se relaciona el espesor de aislante real con que se recubrirán las tuberías. Se señala además la temperatura real que tendrá en la superficie exterior el aislante para las diferentes tuberías, la cual fue calculada atendiendo al valor de los espesores. Todo esto se muestra en la tabla 3.10.

Tabla 3.10. Resultados de los valores de temperatura en la pared exterior del aislante en las tuberías.

Diámetro de tubería (m)	Espesor de aislante disponible real (m)	Temperatura en la superficie exterior del aislante (°C)
0,1016	0,0762	44,55
0,0508	0,0508	44,75
0,0254	0,0381	44,95

Viera (1987), destaca la gran diferencia que existe entre las pérdidas de energía que se producen en una tubería sin aislar y una tubería debidamente aislada. Para corroborar este criterio se determina la energía que se aprovecha en el proceso por aislar las tuberías, los resultados se muestran en la tabla 3.11.

Tabla 3.11. Resultados de las pérdidas de energía en tuberías y de la energía disponible una vez aisladas.

Diámetro de tubería (m)	Pérdidas de energía en tuberías sin aislar (kcal/h)	Pérdidas de energía en tuberías aisladas (kcal/h)	Energía disponible con aislamiento en las tuberías (kcal/h)
0,1016	29445,2	2197,65	27247,56
0,0508	33974,5	3773,80	34200,7
0,0254	20713,88	3156,3	18557,58
Total	84133,59	9125,75	75007,84

Observando los resultados mostrados en la tabla 3.9, se puede concluir que se logran reducir en gran medida (89,15%) las pérdidas de energía en el sistema de tuberías de vapor si se aíslan adecuadamente, comprobando la importancia del diseño y mantenimiento adecuado de los aislantes en un sistema térmico.

A partir de los indicadores ofrecidos en la tabla 3.7 se estima cuánto se ahorra en costos de combustible por el aislamiento de las tuberías, lo que se muestra en la tabla 3.10.

Tabla 3.10. Resultados obtenidos vinculados a las pérdidas de energía en tuberías aisladas.

Diámetro de tubería (m)	Pérdidas de tuberías aisladas (kcal/h)	Equivalencia de las pérdidas en combustible (L/d)	Gasto del combustible (\$/d)	Gasto del combustible (\$/a)
0,1016	2197,65	6	4	480
0,0508	3773,80	9,75	6,34	760,8
0,0254	3156,3	8,25	5,36	643,2

Total	9125,75	24	15,70	1884
-------	---------	----	-------	------

Se observa que la cantidad de combustible, que se consume en relación con las pérdidas de calor ocurridas en estas tuberías aisladas es mucho menor a las reportadas en la tabla 3.8, llegando a ser para el sistema de solo 24L/d de combustible, el 4,6% de las que se alcanzan para tuberías sin aislar, representando un costo total de 15,70\$/d. Este costo total para el sistema de tuberías aisladas llega a ser solo de 1884\$/a.

Finalmente, para apoyar todo lo analizado con relación a las pérdidas de energía en las tuberías de vapor, se determina el ahorro que se alcanza por incorporar aislamiento a las mismas. Se muestran en la tabla 3.11 los resultados.

Tabla 3.11. Gasto de combustibles en tuberías y ahorro económico de combustible por concepto de aislamiento.

Diámetro de tubería (m)	Gasto de combustible en tuberías sin aislar (\$/a)	Gasto de combustible en tuberías aisladas (\$/a)	Ahorro por concepto de combustible (\$/a).
0,1016	13639	480	13159
0,0508	16462	760,8	15701,2
0,0254	10602	643,2	9958,8
Total	40703	1884	38819

Como se aprecia se lograrían ahorrar, por reducción en el consumo de combustible de la caldera 38819\$/a, sólo por aislar correctamente el sistema de tuberías que transporta el vapor para los equipos tecnológicos.

Conclusiones

1. Se determinó que la eficiencia del generador de vapor en el proceso de producción de cola es de 54%, encontrándose por debajo del valor que se reporta para dicha caldera (89%).
2. El generador de vapor solo alcanza a producir 130,08 kg/h de vapor, lo cual resulta insuficiente para satisfacer las necesidades tecnológicas que ascienden a más de 219,45 kg/h de vapor, provocando que los procesos térmicos de la producción de cola deban realizarse de forma discontinua.
3. Se determinaron las pérdidas de energía en el sistema de tuberías de conducción de vapor obteniendo que representan el 46,22% del calor que se dispone para la producción de vapor, afectando seriamente el volumen de producción de la fábrica.
4. Se obtuvo el consumo total de combustible *fuel-oil*, relacionado con las pérdidas de energía, siendo de 521,84 litros diarios, lo cual se corresponde con un valor de 339,19 \$/d implicando 40703 \$/a.
5. Se determinaron los espesores de aislante de fibra de vidrio a utilizar para el recubrimiento de las distintas tuberías del sistema de vapor, implicando un costo total de 26244,6\$.
6. Si se aíslan las tuberías del sistema de vapor se logra un ahorro de 38819\$/a, debido a la disminución en el consumo de combustible para producir el mismo flujo de vapor.
7. Se determinó que al aislar las tuberías del sistema de vapor se obtiene un ahorro del consumo de combustible considerable para la empresa.

Recomendaciones

1. Se propone a la fábrica Juan Ripoll que logre el mantenimiento sistemático del generador de vapor con el objetivo de que mejore la eficiencia del mismo.
2. Se debe acometer el trabajo de aislamiento de las tuberías con el aislante propuesto para disminuir los costos.

Bibliografía

1. Curso de Operadores. Empresa de Calderas Alastor, Matanzas.(2003).
2. Díaz,S. (1980).Obtención de la carnaza para pienso animal a partir de los residuos de las pieles en la industria tenera. Trabajo de diploma Universidad de Matanzas, Cuba.
3. Espinoza Pedraja, R. Sistema de utilización del calor. Editorial Pueblo y Educación. 1987.
4. Faires, V.M: Termodinámica, Cap 7, 8, 13. Ediciones Revolucionarias. La Habana, 1991.
5. *Hepworth,D.G, Smith,J.P. (2003)*. "The mechanical properties of composites manufactured from tendon fibres and pearl glue (animal glue)".[on line], [disponible en www.elsevier.com/locate/compositesa] [consultado 6 de enero 2013]
6. Hougen O.A, K.M. Watson, R.A. Ragatz. Principios de los Procesos Químicos, Tomo I
7. Hugot, E. Manual para Ingenieros Azucareros. Edición 1987.
8. Idris,A. *et,al.* "Animal Glue Production from Ski Wastes". Editorial Springer. pp 685-697
9. Krasnoschiokov, E. A. Problemas de termotransferencia. Primera Edición1986.
10. Martínez A, Manual de Termoeconomía, Ediciones Oriente. Santiago de Cuba, 2005.
11. Martínez Díaz, Leonel. (2007)Mecánica de los Fluidos y Máquinas de flujo.
12. Martínez, J et al. (2005) Guía para la gestión integral de residuos peligrosos, Montevideo
13. Mijeeva, I .M. Fundamentos de Termotransferencia. Editorial Moscú 1878.
14. Molina Igartua, Luis Alfonso. Manual de Eficiencia Térmica en la Industria. Editorial CADEM. Bilbao, 1993

15. Moran M.J, H.N. Shapiro: Fundamentos de termodinámica Técnica. Editorial REVERTRE S.A. 2000.
16. Moya B. (2010), Datos Meteorológicos. Instituto de Meteorología. CITMA.
17. Oberthür, R, C (2011). "Processing and marketing non-meat products from livestock". VCH Verlagsgesellschaft, Weinheim. ISBN 3-527-26211-3
18. Pearson, C.L, (2003). "Animal glues and adhesives". Segunda edición. Editorial Skeist. New York, p. 140-150
19. Perry's, Chemical Engineers Handbook, parte 1, Primera Edición cubana, 1989.
20. Pons. A. Termodinámica Técnica para ingenieros químicos. Editorial Pueblo y Educación. 1987.
21. Programa de trabajadores sociales. Dirección Nacional. Instrucciones de la máxima dirección del programa para la implementación de la tarea "Puestos claves y gestión total eficiente de la energía" en el sector productivo y de servicios. 2006.
22. Tanqueros, Nelson. (1987) Guía Metodológica para Proyectos de Curso de Generadores de Vapor.
23. Tecnología de gestión total eficiente de la energía. Centro de estudios de Energía. (2005) Gestión Total y Eficiente de la Energía. Universidad de Cienfuegos.

Anexo 1. Diagrama de Flujo.