



**Ministerio de Educación Superior
Universidad de Pinar del Río “Hermanos Saíz Montes De Oca”
Facultad de Geología y Mecánica
Centro de Estudio de Energía y Tecnologías Sostenibles.**

**MEJORAS ENERGÉTICAS EN LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE
LECHE DE SOYA EN EL COMBINADO LÁCTEO DE PINAR DEL
RÍO**

**Tesis presentada en opción al grado Master en Eficiencia
Energética.**

**Aspirante: Ing. Wicher Rivera Machín
Tutor: Msc Ing, Luís Manuel García Rojas**

**Pinar del Río
2009**

Declaración de Autoridad

Los resultados que se exponen en el presente Trabajo de Maestría, se han alcanzado como consecuencia del trabajo realizado por los autores y asesorado y respaldado por la Universidad de Pinar del Río, por lo tanto los resultados en cuestión son propiedad de los autores y la Universidad respectivamente. Solo ellos podrán hacer uso de los mismos de forma conjunta, y recibir los beneficios que se deriven de su utilización.

AGRADECIMIENTOS

Deseo expresar mis más sinceros agradecimientos a:

Las autoridades de la Universidad de Pinar del Río, de las cuales recibí siempre apoyo y comprensión.

A mi familia, que me ha ayudado en todo, desde asumir responsabilidades hasta sentirse parte de esta Tesis.

A mi Tutor: Msc Luís Manuel García Rojas , Profesor de la Universidad de Pinar del Río, Cuba, el que con su ejemplo, sabiduría, paciencia y perseverancia me ha conducido por los laberintos de la Ciencia y me ha introducido en esta investigación científica.

A mis compañeros del Combinado Lácteo de Pinar del Río, con los que sin su ayuda sería imposible la realización de esta Tesis, por lo que ellos forman parte de estos resultados.

Para todos, mis más sinceras gracias.

SÍNTESIS

En el trabajo se muestran los pasos realizados para dar solución a las insuficiencias presentadas en el proceso de elaboración de leche de soya del Combinado Lácteo de Pinar del Río, consistentes en vertimiento de agua a 45 °C producto del enfriamiento de leche de soya de 145 a 90 °C, así como de vapor de flacheo a la atmósfera con temperatura de 100 °C y que causaban el desaprovechamiento de considerable energía en el proceso.

Para dar solución a dicha problemática se realiza un análisis del comportamiento de cada uno de los equipos de la línea de producción de leche de soya que consumen vapor teniendo en cuenta los valores de presión y temperatura a que están sometidos en el proceso, se calcularon las pérdidas considerando condiciones del proceso y el estado de la planta y se analiza el impacto de las mejoras energéticas del sistema, después del:

1- Montaje de equipos intercambiadores de calor para garantizar el mezclado (agua -vapor) y (vapor - producto).

(En este proceso se desaprovechaba más del 70% de la energía utilizada.)

El montaje de los intercambiadores de calor permitió recuperar parte de la energía que se vertía a la atmósfera, garantizó que el agua después de pasar por el calentador exterior del tipo tubo en tubo circulara a través de un calentador de tubos aleteados construido y montado a la salida del vapor del flacheo y una vez aquí circulara a través de un serpentín construido dentro del propio tanque desaireador. Al pasar por estos dos equipos absorbe 102 972 kcalh alcanzando una temperatura de 80 °C de esta manera se logra que 2 500 litros de agua por hora alcancen la temperatura requerida de 85 °C, por lo que solo necesitaría subir la temperatura a 5 °C.

SUMMARY

The paper shows the steps taken to solve the shortcomings presented by the drafting process of the combined soy milk dairy in Pinar del Rio, which consists of dumping a 45 °C water cooling product of soy milk from 145 to 90 °C and Flachea vapor into the atmosphere with temperature of 100 °C and causing considerable wastage of energy in the process.

To address this problem is an analysis of the behavior of each of the teams in the production line who consume soy milk steamer taking into account the values of temperature and pressure they are subjected in the process, we calculated lost considering the process conditions and plant status and discusses the impact of energy improvements in the system, after:
1 - Installation of equipment heat exchangers to ensure the mixed (water-vapor) and (steam - product). (In this process is wasted more than 70 % of the energy used.)

The assembly of heat exchangers led to the recovery of the energy that was poured into the atmosphere, ensured that the water after passing through the heater tube outer tube of the type circulated through a finned tube heater constructed and installed to steam output and once here Flachea circulated through a coil built inside the deaerator tank. Passing these two teams absorbs 102 972 kcalh reaching a temperature of 80 °C. Thus it is possible that 2 500 liters of water per hour to reach the required temperature of 85 °C, so only need to raise the temperature to 5 °C.

TABLA DE CONTENIDO

Pág.

INTRODUCCIÓN	7
CAPÍTULO 1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	11
1.1 Introducción.....	11
1.2 El grano de la soya.....	12
1.3 Planta procesadora de leche de soya.....	13
1.4 Generadores de vapor	17
1.5 Pérdidas de energía en equipos y tuberías.....	20
1.5.1 Conducción del vapor	26
1.6 Equipos de transferencia de calor.	27
CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS	30
2.1 Equipos consumidores de vapor.	30
2.2 Cálculo de eficiencia de vapor asociadas a cada equipo.	35
2.3 Cálculo del intercambiador necesario para el aprovechamiento de la energía en el tanque desaireador.	37
2.4 Valoración Económica	42
CAPÍTULO 3. TRATAMIENTO Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS	47
3.1 Consumo de vapor en la instalación	47
3.2 Pérdidas de calor en el sistema.	49
3.3 Resultado de las mejoras energéticas.	50
CONCLUSIONES.	52
RECOMENDACIONES.....	53
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	54
BIBLIOGRAFÍA	56
ANEXOS.....	60

INTRODUCCIÓN

Se conoce que los granos de soya son un excelente suministro de proteínas y son usados para elaborar una gran variedad de productos alimenticios incluyendo la leche de soya.

La leche se considera un alimento esencial para los niños y para la población, la soya es uno de los productos de mayor utilidad en la alimentación, como producto de alta calidad, posibilidad que llega a cientos de miles de personas en nuestro país (Castro, F., 2001).

La leche de soya ha sido un alimento muy popular en países como China por muchos años y la industrialización de la leche de soya en 1950 resultó en una amplia popularidad de su consumo a partir del oriente y hacia algunas partes del occidente. (Kinsella, J. 1999). El incremento de su demanda, y la subsiguiente producción de leche de soya pueden ser atribuidos a varios factores, dentro de los que pueden mencionarse:

- 1- El buen sabor de la leche de soya. Muchas personas prefieren el sabor y la textura de esta leche en comparación con la leche verdadera, por así decirlo.
- 2- Es altamente nutritiva en proteínas; en oposición a muchos alimentos carbonatados que son muy altos en calorías y totalmente deficientes en valor nutricional. Finalmente.
- 3- El costo de la leche de soya la hace popular entre productores y consumidores, como los granos de soya pueden crecer en muchas partes del mundo, sus costos de crecimiento y su precio de venta son bajos.

Esta combinación, con el bajo costo del procesamiento de la leche de soya, usando el equipo y la tecnología descrito en este estudio, hacen en conjunto que los costos de producción y el precio de comercialización de la leche de soya sean considerablemente bajos, en comparación con muchos otros alimentos derivados de la leche animal.

La investigación se desarrolló en la Empresa de Productos Lácteos y Confiterías Raúl Fornell Delgado, en la línea de producción de leche de soya de Pinar del Río,

en la que se producen unos 8 000 litros de leche por hora, con destino a la producción de yogurt de soya y quesos que se consumen en todos los municipios del territorio. Para su procesamiento se debe conocer el flujo de vapor necesario para el funcionamiento de la línea disminuyendo los gastos exagerados de combustible en la misma, razón fundamental por la que se propone determinar el flujo necesario para lograr la producción de diseño, calcular las pérdidas que se producen debido a las condiciones del proceso y el estado de la planta, así como la selección de los equipos de transferencia de calor adecuados que permitan solucionar las insuficiencias detectadas en dicha línea:

En este proceso se necesita una temperatura de 85 °C para la hidratación del grano durante la transportación. Para realizar esta operación se utiliza un intercambiador a mezcla (calentador 1 ó calentador de agua) utilizando vapor saturado a una presión de 0,35 MPa y temperatura de 145 °C y agua a temperatura ambiente.

En el proceso continuo de la línea se utiliza otro intercambiador de mezcla (calentador 2) mezclando el vapor saturado con la pasta de soya y se adiciona una ultrapasteurización, elevando la temperatura del proceso hasta 146 °C.

Este producto para su proceso final, después de pasar por el tanque de flacheo y el molino 2 convirtiéndose en leche de soya, se enfriaba hasta bajar a una temperatura entre 85 y 90 °C. Este proceso de enfriamiento se realizaba a través de un intercambiador de tubo en tubo, utilizando agua a temperatura ambiente vertiéndola hacia el tragante.

Lo que se hizo fue utilizar el agua caliente que se vierte al tragante y pasarla a través de un intercambiador colocado a la salida del tanque de flacheo, este intercambio se realiza en un flujo contracorriente agua-leche de soya e incorporando esta agua al calentador 1 (calentador de agua), reduciendo a cero la incorporación de agua a temperatura ambiente y al mínimo la energía necesaria para calentar el agua en la hidratación del grano.

Problema Científico

Desaprovechamiento energético en el proceso tecnológico de obtención de leche de soya en la empresa de Productos Lácteos y Confiterías Raúl Fornel Delgado del municipio Pinar del Río.

Objeto de estudio

Línea de leche de soya.

Campo de Acción

Los flujos de vapor en la producción de leche de soya.

Objetivo General

Disminuir el consumo de vapor en la línea de producción de leche de soya y mejorar la eficiencia energética.

Objetivos específicos

- Determinar los flujos de vapor de la línea de soya existente.
- Determinar los flujos de vapor de la línea de soya después de la modificación propuesta.

Hipótesis: Si se emplean intercambiadores de calor que aprovechen los calores residuales en la línea de leche de soya del combinado lácteo de Pinar del Río entonces se podrá disminuir el consumo de vapor y de combustibles en el área de caldera.

CAPITULO 1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

CAPÍTULO 1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1.1 Introducción

A pesar de existir grandes perspectivas en el incremento de la producción de productos animales en los países en desarrollo, especialmente pollo y pescado, no se puede prever una reducción en sus costos en un futuro con la actual disparidad de precios y crisis económica mundial. Por otro lado, está la desnutrición proteica que provoca daños irreversibles en la salud y productividad. En esas circunstancias, la posibilidad de utilizar fuentes de proteína vegetales como suplemento en la dieta toma una importancia relevante. El procesamiento de productos vegetales exige menos gastos de recursos que los productos animales, si se considera que existen pequeños factores técnicos, como por ejemplo, los productos vegetales son más baratos que los productos animales (De Camargo, R. 1996).

Con el crecimiento y desarrollo las necesidades de aminoácidos esenciales bajan; los adultos necesitan una menor concentración de éstos por unidad de proteína para mantener un adecuado nivel nutricional, que el que necesitan jóvenes adolescentes (Liu, Keshun. 1999)

Es así que se plantean los siguientes requerimientos en g por proteína/kg. por día:

De dos a cinco años: 110 g

De diez a doce años: 0,99 g

Adultos: 0,75 g

El sabor de las proteínas es muy débil, pero puede influenciar los sabores perceptibles, pues pueden contener sustancias responsables por sabores extraños ligados a su molécula (Kinsella, 1978). Por ejemplo, el sabor desagradable a "fríjol verde", factor que limita el uso de la proteína de soya como alimento, se demostró que es causado principalmente por aldehídos de cadena corta, como el hexanal (Chiba, H. Takahashi, N. & Sasaki, R. 1999)

Entre las legumbres, la soya ofrece el ejemplo más sorprendente de una materia cuyo valor proteico se mejora de modo significativo mediante tratamiento térmico óptimo. Esto se debe a la inactivación o destrucción de una variedad de factores antinutritivos, tales como enzimas, inhibidores de tripsina, hemaglutininas, saponinas, isoflava, glicósidos y factores antivitaminicos (FAO, 1994).

La proteína de soya tratada térmicamente tiene mayor digestibilidad que aquellas no tratadas, ya que todavía contienen los inhibidores. La proteína de soya es de excelente calidad con un rendimiento de dos t por ha; una hectárea de soya produce 720 kg de proteína. Como el requerimiento diario de la proteína para una persona adulta es de 70 g, una hectárea de soya puede suministrar proteína para 28 personas durante un año.

Cuando la leche de soya se elabora adecuadamente es un producto que se parece mucho a la leche de vaca en sus propiedades altamente nutritivas, es rica y cremosa, y se obtiene a partir de granos de soya enteros. Con su sabor único a nueces y rica nutrición, la leche de soya se puede usar en una variedad de maneras (FAO, 1994).

Varios estudios realizados por las Naciones Unidas en los últimos cinco años demuestran que en muchos países en desarrollo, la población presenta una lacto intolerancia que alcanza hasta el 60%. La leche de soya está libre de lactosa y es una buena opción para las personas. (FAO, 1994).

1.2 El grano de la soya

La soya es un alimento milenario de origen asiático. De acuerdo con la Asociación de Fríjol Soya Americana, es rica en proteína y aceite, esenciales para el crecimiento de niños y mantenimiento de la salud de las personas de todas las edades. A diferencia de otras proteínas de origen vegetal, la proteína proveniente de la soya contiene todos los aminoácidos requeridos por el cuerpo humano. (Rosen, M.A. 1999)

Los granos de soya están compuestos por 30 por ciento de hidratos de carbono

(de los cuales 15 % es fibra), 18 por ciento de aceite (85 % no saturado), 14 por ciento de humedad y 38 por ciento de proteína.

Un vaso al día de leche de soya, es capaz de reducir significativamente el riesgo de contraer ciertos tipos de cánceres. Además, no contiene ni lactosa, ni azúcar, ni colesterol, siendo una alternativa perfecta para personas intolerantes a la lactosa. Es un producto apto para diabéticos, y es regulador del peristaltismo intestinal.

1.3 Planta procesadora de leche de soya.

A continuación se mencionan algunos de los pasos fundamentales que intervienen en el proceso de elaboración de la leche de soya.

Operación 1. Almacenamiento de frijol de Soya

Objetivo de la Operación.

El objetivo de esta operación es almacenar el frijol, que se recepciona del almacén hasta el momento del uso.

Principales especificaciones a controlar.

Humedad relativa del grano inferior a: 14%

Uniformidad – según tamaño del grano

Color del cotiledón de soya – Amarillo

Total de materias extrañas – uno % máximo en un saco de 50 kg.

Granos partidos – dos % máximo en un saco de 50 kg.

Forma del grano -Esférica.

Granos dañados por color /mohos – No se permite al entrar al proceso.

Estado higiénico sanitario del grano – Limpio, libre de insectos y larvas.

Los sacos deben ser colocados sobre tarimas con una separación de 15 cm. del piso como mínimo.

Operación 2. Precalentamiento del agua.

Objetivo de operación

Calentar el agua hasta la temperatura adecuada, para así iniciar la etapa de hidratación.

Principales especificaciones a controlar.

Temperatura del agua de: 83 a 85 °C

Equipamiento utilizado.

Calefactor # 1 (Tanque cilíndrico con fondo cónico vertical).

Operación 3 Hidratación del grano

Objetivo de operación.

Hidratar el grano en agua caliente para facilitar la etapa de molienda con la adición de bicarbonato de sodio.

Principales especificaciones a controlar.

Temperatura del agua suave: 85 °C

% de bicarbonato de sodio: 5 %

Flujo de agua suave: 50 a 55 litros por minutos

Temperatura en el tornillo sinfín: 85 °C

Equipamiento utilizado.

Canal con tornillo sinfín.

Operación 4. Molinado del grano hidratado (Molino I).

Objetivo de operación

Obtener la máxima superficie del grano para la óptima extracción de los sólidos solubles y las grasas contenidas en el mismo.

Principales especificaciones a controlar.

Flujo de agua suave: 70 a 75 l/min.

Integridad de la malla y el canasto. Los orificios deben ser entre 0,8 y 1,2 mm.

Equipamiento utilizado.

Molino de tipo Rietz. (Molino tipo martillo, conformado por una estrella y un canasto).

Malla 0,8 mm. Para conformar la pasta para la leche de soya.

Reglas de protección.

No debe caer en el molino un flujo de granos superior al que establece el equipo que es de nueve kg/min.

La malla debe tener el diámetro establecido sin roturas.

Operación 5. Ultra –Pasteurización.**Objetivo de operación**

Eliminar los microorganismos patógenos y los factores antinutricionales presentes en la leche.

Principales especificaciones a controlar.

- Temperatura de entrada al serpentín: 144 a 146 °C
- Tiempo de retención: seis minutos
- Temperatura de salida al serpentín: 135 °C

Equipamiento utilizado.

Tubos aislados con fibras de lana de vidrio.

Reglas de protección durante la operación.

No debe ser temperatura inferior a la establecida, en caso contrario recircular la leche o parar la producción.

Operación 6. Molinado Final (Molino II)**Objetivo de operación**

Triturar las partículas más finas y darle la terminación al producto.

Principales especificaciones a controlar.

- Integridad de la malla del canasto.
- Aspecto de la leche – color crema claro, homogéneo, sin partículas en suspensión. Que no posea grumos.
- Textura – sin sedimento en la leche de soya.

Equipamiento utilizado.

Molino tipo Rietz

Malla 0,4 mm.

Reglas de protección durante la operación.

- No trabajar con roturas en la malla o canasto de molino.

- Cuando las partículas de la operación de molido sean superiores al tamaño de 0,2 mm., se retorna al inicio del proceso.

Operación 7. Evaporación.

Objetivo de operación

Eliminar los olores desagradables presentes en la leche de soya.

Principales especificaciones a controlar.

Temperatura de la leche de soya: 100 °C

Equipamiento utilizado.

Tanque cilíndrico con tapa cónica, a presión atmosférica.

Operación 8. Adición y Pasteurización.

Objetivo de operación

Eliminar los microorganismos patógenos presentes en la leche.

Principales especificaciones a controlar.

Temperatura de la leche: 85 a 90 °C

Equipamiento utilizado.

Tanque cilíndrico con una capacidad de 5 000 litros para la estandarización de la leche.

Operación 9: Enfriamiento

Objetivo de operación

Enfriar la mezcla hasta alcanzar la temperatura deseada.

Principales especificaciones a controlar.

Temperatura de la leche para lograr la inoculación del yogurt: 45 a 47 °C

Equipamiento utilizado.

Intercambiador de tubo en tubo utilizando flujos a contracorriente (agua-leche).

Los equipos consumidores de vapor del proceso son:

Transportador de tornillo sinfín: Este es un transportador que cumple además otra función pues no solo transporta el grano a la tolva del molino número uno sino que también lava y cocina el grano de soya en el transcurso del transporte que

dura aproximadamente seis minutos. Es un intercambiador de calor de tipo mezcla. Trabaja a presión atmosférica.

Calentador de leche: Éste es un intercambiador de mezcla, en él la leche gorda proveniente del molino uno es cocinada a 145 °C de temperatura, antes de ser enviada al tubo de retención donde la leche debe permanecer un determinado tiempo a una temperatura regulada de 141 °C para eliminar enzimas de la soya que son perjudiciales para la salud humana.

Calentador de agua: Éste es también un intercambiador de mezcla donde se calienta el agua a utilizar en el proceso utilizando vapor y luego se envía a un tanque para su almacenamiento y posterior distribución.

1.4 Generadores de vapor

El proceso industrial de producción de leche de soya necesita de cantidades apreciables de vapor que se generan en las calderas. Se entiende por caldera a un recipiente cerrado para generar vapor de agua a presiones superiores a la atmosférica , absorbiéndose parte del calor que se genera en el hogar .El calor liberado por la combustión en el hogar se transmite al agua a través de las superficies metálicas produciéndose así el vapor .

Esta definición de caldera es aceptable para calderas como las tubulares. Con la utilización de las calderas modernas, se ha reemplazado el uso del vocablo caldera, por el del generador de vapor, designándose como tal al conjunto de sobrecalentador, economizador, precalentadores de aire, caldera propiamente dicha, etc. Se utiliza el vocablo caldera a la parte generador de vapor en que se convierte el agua en vapor, constituida por los cilindros metálicos, colectores, etc. (Incropera, F. and De Witt, D., 1995).

Básicamente la caldera se compone de:

- a) Hogar, con su parrilla, cámara de combustión, cenicero, altar (modernamente quemadores) etc.
- b) Caldera propiamente dicha: cilindro de acero herméticamente cerrado (actualmente, tubos, colectores)

c) Conducto de humo o chimenea.

Clasificación de las calderas:

En función del agua y los gases calientes:

- pirotubulares (antigua y de muy poca producción de vapor)
- Acuotubulares (altas presiones y gran caudal de vapor)

En función de la posición de los tubos:

- Verticales
- Horizontales
- Inclinada

En función de la forma de los tubos:

- De tubos rectos
- De tubos curvados

En función del servicio:

- Móviles
- Fijas
- Locomóviles
- Marinas

En función de la ubicación del hogar:

- Hogar exterior
- Hogar interior

En función de la circulación.

- Natural
- Forzada

Calderas pirotubulares:

En estas calderas los gases calientes de la combustión pasan por dentro de los tubos rodeados de agua. Estas calderas tienen un hogar exterior o interior, cuyas paredes de este mismo son refrigeradas por agua. Se utilizan para poca producción de vapor a bajas presiones y temperaturas, son menos exigentes en cuanto a la calidad del agua de alimentación. Por contar con gran volumen de agua resisten las variaciones bruscas de demandas, con poca variación de la

presión. No se admiten sobrecargas prolongadas debido a la circulación lenta. La transmisión del calor se realiza por convección natural y el movimiento es por diferencia de densidades.

Ventajas

Se utilizan en centrales pequeñas (de poco consumo de vapor), costo de instalación mínimo, facilidad de limpieza, gran volumen de agua. El fuel-oil, que es el combustible utilizado, es un compuesto orgánico, obtenido como residuo de la destilación del petróleo. Éste puede ser parafínico o nafténico según sea el origen del petróleo. El combustible posee energía química acumulada y al entrar en combustión con el oxígeno del aire desprende calor.

La temperatura de los gases de escape a la salida no deberá ser inferior a 125 °C (punto de rocío) para que no condense y se deposite el ácido sulfúrico proveniente del anhídrido sulfuroso (SO_2) formado en la combustión del azufre (S), que por oxidaciones posteriores en presencia del vanadio que puede tener el combustible es llevado a anhídrido sulfúrico (SO_3), que con el agua de la combustión forma el agresivo ácido sulfúrico ($\text{H}_2\text{O} + \text{SO}_3 = \text{H}_2\text{SO}_4$) que debajo de 110 °C aproximadamente se condensa depositándose en el interior de los tubos del calentador de aire produciendo una enérgica corrosión.

La combustión de la caldera no debe producir humo oscuro, si es así, se está llevando carbono sin quemar en suspensión, el cual se deposita en los tubos formando una capa que cubre las superficies de intercambio disminuyendo la eficiencia de la caldera y su poder de evaporación, disminuyendo la producción del ciclo térmico. Un exceso de aire, significa pérdidas de calor adicionales, y se denota por la presencia de muchas chispas en el hogar. Una llama que mantenga el hogar claro y sin chispas es lo aconsejable para la combustión correcta en la caldera. Las causas más comunes que pueden provocar humo son:

- falta de aire en la combustión.
- mala atomización del combustible, a pesar de que pueda haber exceso de aire.
- pastillas de los quemadores gastadas.
- baja temperatura del combustible a inyectar.
- baja presión del combustible a la entrada.

1.5 Pérdidas de energía en equipos y tuberías.

Las pérdidas de calor en cualquier instalación están vinculadas a los modos de transferir existentes. (Faires Moring, Virgil. 1991)

Transferencia de calor.

Siempre que existe una diferencia de temperatura en el universo, la energía se transfiere de la región de mayor temperatura a la de menor temperatura. De acuerdo con los conceptos de la termodinámica, esta energía transmitida se denomina calor.

Las leyes de la termodinámica tratan de la transferencia de energía, pero siempre se refieren a sistemas que están en equilibrio, y sólo pueden utilizarse para predecir la cantidad de energía requerida para cambiar un sistema de un estado de equilibrio a otro, por lo que no sirven para predecir la rapidez con que puedan producirse estos cambios. (Faires Moring, Virgil., 1991).

La ciencia llamada transmisión o transferencia de calor complementa los principios primero y segundo de la termodinámica clásica, proporcionando los métodos de análisis que pueden utilizarse para predecir la velocidad de la transmisión del calor, además de los parámetros variables durante el proceso en función del tiempo.

El calor puede transmitirse de tres maneras. Puesto que el calor es la energía de la actividad molecular, una forma simple de transferencia del mismo, denominada conducción, será la comunicación directa de la energía molecular a través de una sustancia por medio de colisiones entre sus moléculas. Los metales contienen electrones "libres", que hacen de ellos buenos conductores de la electricidad; estos electrones contribuyen también poderosamente a la conducción del calor, por esto, los metales son magníficos conductores térmicos; Convección es una forma de transmisión del calor de un lugar a otro por movimiento de la materia caliente. Otro tipo de transferencia de calor puede ser por combinación de radiación y absorción. En la radiación, la energía térmica se transforma en energía

radiante, similar en su naturaleza a la luz. En realidad, una parte de esta radiación es luminosa. En esta forma, la energía radiante puede atravesar distancias enormes antes de ser absorbida por un cuerpo y transformada de nuevo en calor. Por ejemplo, la energía radiante procedente del sol se convierte en calor en la superficie de la Tierra ocho minutos después de su salida. (Valero, A. 1999)

Conducción

La cantidad de calor que fluye a través de un cuerpo por conducción depende: del tiempo, del área a través de la cual fluye, del gradiente de temperatura y de la clase de material. (Pak, P.S. y Y. Suzuki.1997)

La conducción es el estar en circulación, la conducción se encuentra normalmente en combinación con la convección. Por consiguiente, la conducción pura tiene lugar fundamentalmente en los sólidos opacos, en donde el movimiento de masa se encuentra impedido.

Existen grandes diferencias de conductividad térmica para distintos materiales. Los gases tienen una conductividad muy pequeña. Igualmente, los líquidos son en general malos conductores. En el caso de los sólidos, la conductividad térmica varía de una forma extraordinaria, desde valores bajísimos, como en el caso de las fibras de amianto, hasta valores muy altos para el caso de los metales.

Los materiales fibrosos, como el fieltro o el amianto, son muy malos conductores (buenos aislantes) cuando están secos; si se humedecen, son buenos conductores del calor. Una de las dificultades para el uso de estos materiales como aisladores es el mantenerlos secos.

La conductividad térmica es una propiedad física de cada sustancia, y puede variar ligeramente en función de la temperatura y de las características particulares del material, como puede ser el contenido de humedad de los materiales constructivos. En los casos que el material no sea homogéneo, como las fábricas de ladrillo, o que su estructura sea anisótropa, como es el caso de la madera, será preciso determinar la conductividad para la dirección del flujo considerado. (Guayar J. y A. Valero, 1990)

Convección

La transferencia de calor por convección de un cuerpo comprende el movimiento de un fluido en relación con el cuerpo. Si el movimiento es provocado por las diferencias de densidad debidas a la diferencia de temperatura en las disímiles localidades del fluido, se conoce como convección natural. Si el movimiento del fluido es provocado por un agente externo como un ventilador, se denomina convección forzada. La transferencia de calor desde una superficie cuya temperatura es mayor que la del fluido de los alrededores ocurre de un modo complejo (Corberán, J. M., 1999). No obstante, es posible imaginarla como si ocurriera en el siguiente orden. Primero, las partículas del fluido adyacente a las paredes se calientan por conducción desde la pared, lo que incrementa sus temperaturas. Estas partículas "calientes" chocarán con partículas frías, proporcionándoles parte de su energía. Esta acción ocurrirá debido tanto al movimiento de las partículas como al movimiento del fluido más caliente en relación con el fluido más frío. Para distinguir los tipos de mecanismos de transferencia de calor convectivos, es necesario analizar en forma breve el mecanismo de flujo.

El término flujo laminar (o aerodinámico) se aplica a un régimen de flujo en el que el flujo es suave y el fluido se mueve en estratos o trayectorias paralelas entre sí. Cuando un fluido se mueve en un flujo laminar sobre una superficie más caliente, se transfiere calor principalmente por medio de la conducción molecular dentro del fluido y desde un estrato hasta otro. Este tipo de transferencia de calor por convección conduce a ritmos de transferencia de calor bajos. En contraste con el flujo laminar existe el régimen de flujo conocido como flujo turbulento. Como su nombre lo indica, este tipo de flujo se caracteriza por corrientes que provocan la mezcla de los estratos de fluido hasta que estos estratos se hacen indistinguibles. La mezcla del fluido debido a esta turbulencia hace que se incremente la transferencia de calor, y por tanto mientras mayor sea la turbulencia, mayor será el ritmo de transferencia de calor. La ecuación básica para la transferencia de calor por convección se conoce como ley de Newton de enfriamiento. (Szargut, Morris y Stewar. 1998).

La transferencia de calor por corrientes de convección en un líquido o en un gas, está asociada con cambios de presión, debidos comúnmente a cambios locales de densidad. Un aumento de temperatura en un fluido va acompañado por un descenso de su densidad. Si aplicamos calor en la base de un recipiente, el fluido, menos denso en esta parte debido al calentamiento, será continuamente desplazado por el fluido más denso de la parte superior. Este movimiento que acompaña a la transmisión del calor se denomina convección libre. Ejemplos clásicos de convección son: el movimiento del viento sobre la tierra, la circulación del agua en un sistema de calefacción doméstico. Algunas veces las diferencias de presión se producen mecánicamente mediante una bomba o un ventilador; en tal caso, se dice que la conducción del calor ocurre por convección forzada. En ambos casos, el calor pasa hacia dentro o fuera de la corriente a lo largo del recorrido.

El método de las corrientes de convección es uno de los más eficaces de transferencia de calor y debe tenerse en cuenta cuando se diseñe o construya un sistema de aislamiento. Si se dejan en una casa grandes espacios sin paredes, se forman muy fácilmente corrientes de convección, produciéndose pérdidas de calor. Sin embargo, si los espacios se rompen en pequeños recintos, no son posibles las corrientes de convección y las pérdidas de calor por este método son muy pequeñas.

Por esta razón, los materiales aislantes usados en las paredes de refrigeradores o en las de las casas son porosos: viruta de corcho, corcho prensado, lana de vidrio u otros materiales similares. Estos, no solamente son malos conductores por sí mismos, sino que dejan además pequeños espacios de aire, que son muy malos conductores y, al mismo tiempo, lo suficientemente pequeños para que no se produzcan corrientes de convección.

El mecanismo de la convección

Cuando una superficie se pone en contacto con un fluido a distinta temperatura se produce, en los primeros instantes, una transmisión de calor por conducción, pero una vez que el fluido en contacto con la superficie modifica su temperatura sufre

una diferencia de densidad respecto al resto del fluido, que hace que sea desplazado por éste al actuar las fuerzas gravitatorias, lo que incrementa la transferencia del calor en una magnitud muy superior al de la mera conducción. Este fenómeno se denomina convección libre o natural, que es la que se suele considerar en ambientes interiores, ya que se estima que el aire permanece prácticamente en reposo. (Mills, A. F.1999)

Otro caso es aquel en que el aire se mueve fundamentalmente debido a fuerzas exteriores, tales como el viento, en cuyo caso el proceso de transferencia de calor se incrementa notablemente y se denomina convección forzada, que es el que habitualmente se considera en superficies en contacto con el ambiente exterior. Existe un tercer caso, intermedio entre los anteriores, en que las fuerzas actuantes, debidas a la variación de la densidad y las acciones exteriores (viento), son de magnitud parecida, produciéndose una superposición de los efectos de la convección libre y la forzada, y que se denomina convección mixta. Es el caso mas general porque en la práctica siempre hay variación de densidad y además el aire no está en reposo absoluto

Radiación.

La transferencia de calor por radiación no requiere ningún medio material intermedio en el proceso. La energía se traslada desde la superficie del sol hasta la tierra, donde es absorbida y convertida en energía calorífica. La energía emitida por un filamento de lámpara eléctrica atraviesa el espacio entre filamento y bulbo aunque no tenga ningún gas en su interior. Energía de esta naturaleza la emiten todos los cuerpos. Un cuerpo que absorbe esta energía radiante la convierte en calor, como resultado de un aumento de su velocidad molecular. (Lapido Rodríguez, M.2005).

Todos los cuerpos calientes emiten energía radiante. Una estufa, por ejemplo, emite energía radiante hasta que encuentra cualquier objeto donde, en general, es parcialmente reflejada, parcialmente absorbida y parcialmente transmitida. Sucede lo mismo que con la luz, excepto que no produce sensación en la vista. La energía radiante calorífica difiere de la luz únicamente en la longitud de onda.

Hay grandes diferencias en la transparencia de las diversas sustancias a la radiación calorífica. Algunos materiales tales como el caucho duro, óxido de níquel, vidrios especiales o una disolución de sulfuro de carbono y yodo, opaca a la luz, son casi transparentes a las radiaciones caloríficas. Los vidrios de ventana ordinarios, casi completamente transparentes a la luz, absorben radiaciones caloríficas.

El tejado de vidrio de un invernadero es transparente a las radiaciones visibles y al infrarrojo próximo procedente del sol. Esta energía se convierte en calor cuando es absorbida por los objetos que están dentro del invernadero. Estos objetos se calientan y radian energía, pero, dado que su temperatura no es alta, la radiación calorífica que emiten no es idéntica a la que recibieron. El vidrio no transmite esta energía calorífica y, por tanto, la energía radiada por los cuerpos que están dentro del invernadero no puede salir. Un invernadero actúa, por tanto, como una trampa para energía, y dado que las pérdidas por radiación y convección se previenen en alto grado, la temperatura interior puede ser muy superior a la del exterior, siempre que reciba energía solar directa.

Mecanismo de la radiación.

La radiación es un proceso por el cual fluye calor desde un cuerpo de alta temperatura a un cuerpo de baja temperatura, cuando éstos están separados por un espacio, inclusive el vacío absoluto. (Krasnoschiokov. 1986) .

La energía transmitida de esta forma se denomina calor radiante o energía radiante que es de la misma naturaleza que la luz visible ordinaria y viaja a una velocidad de 300 000 km/s. (3×10^{10} cm/s) con la diferencia únicamente en sus respectivas longitudes de onda.

Cuando se transfiere calor de un fluido a otro en un proceso industrial, sin mezclarlos, los fluidos están separados y la transferencia de calor se lleva a cabo en un aparato conocido como intercambiador de calor. Un intercambiador de calor puede ser de diversas formas y tamaños, y usualmente está diseñado para realizar una función específica, es común diseñar intercambiadores de calor por

medio de su forma geométrica y sus direcciones relativas de flujo de los fluidos de transferencia de calor.

1.5.1 Conducción del vapor

El vapor que utilizamos para calefacción en los distintos equipos es vapor saturado, y como todo fluido, durante su conducción tiene pérdidas de presión debidas a la fricción con la tubería y a las turbulencias que se producen en los accesorios, tales como válvulas, codos, contracciones y ensanchamientos de la tubería, etc. Estas pérdidas son función de la velocidad del fluido en la tubería, la rugosidad de la tubería, del largo del recorrido, de la presión del vapor (ya que de ésta es función la viscosidad del vapor); y de la caída provocada por los accesorios depende de qué accesorio se trate y de la velocidad con que lo atraviese. Si consideramos un tramo de tubería que conduce vapor saturado, a lo largo de éste, el vapor, debido a la fricción pierde parte de su presión, teniendo después de recorrer dicho tramo una presión menor. Suponiendo que no tuvo pérdidas de calor, pasó debido a la reducción de presión al estado de sobrecalentado, ya que no varió su entalpía y redujo su presión.

En la realidad ocurre que la tubería tiene pérdidas de calor, por lo tanto, sumado a la pérdida de presión, ocurre que el vapor al final del recorrido tiene una entalpía menor. Pero como el vapor era saturado, si entregó calor, entra en la zona de vapor húmedo, o sea con gotas de agua en suspensión. Esto significa que cuando la velocidad del vapor baja, estas gotas se pueden decantar. Es más, como esta transmisión del calor se realiza con las paredes que están mas frías, es en esa zona que se produce condensación del vapor, en las paredes del caño, separándose del vapor parte de su humedad.

Recuperación del condensado

El condensado de vapor, está a la temperatura de saturación del líquido para la presión a que se condensó. Esta temperatura puede ser un poco inferior a la de saturación por un subenfriamiento que haya sufrido. Recuperar el condensado

significa recuperar el agua ya tratada (clarificada, ablandada, y desmineralizada) y recuperar el calor sensible que ésta posea. (Perry J.H. 1997)

1.6 Equipos de transferencia de calor.

Dada la multitud de aplicaciones de estos dispositivos, se puede realizar una clasificación dependiendo de su construcción. Para la elección del mismo se consideran aspectos como tipo de fluido, densidad, viscosidad, contenido en sólidos, límite de temperaturas, conductividad térmica. (ASHRAE., 2000).

- De placas: formados por un conjunto de placas de metal corrugadas (acero inoxidable, titanio, etc.) contenidas en un bastidor. El sellado de las placas se realiza mediante juntas o bien pueden estar soldadas.
- De haz tubular: formados por un haz de tubos corrugados o no, realizado en diversos materiales. El haz de tubos se ubica dentro de una carcasa para permitir el intercambio con el fluido a calentar o enfriar.
- Tubo aleteado: se compone de un tubo o haz de tubos a los que se sueldan aletas de diferentes tamaños y grosores para permitir el intercambio entre fluidos y gases. P. ej., radiador de un vehículo.
- Superficie rascada: muy similar al tubular, con la particularidad de ubicar dentro del tubo un dispositivo mecánico helicoidal/circular (Waukesha Cherry-Burrell Votator, Alfalaval Contherm) o lineal (HRS Spiratube Unicus) que permite el paso del fluido que, por sus características, impide un trasiego normal con los medios de bombeo habituales.
- Intercambiadores de Doble Tubo. Las partes principales son dos juegos de tubos concéntricos, dos T conectoras, un cabezal de retorno y un codo en U. La tubería interior se soporta en la tubería exterior mediante estoperas y el fluido entra en el tubo interior a través de una conexión roscada localizada en la parte externa del intercambiador. La tubería interior se conecta mediante una conexión en U que está generalmente expuesta y

que no proporciona superficie de transferencia de calor. Cuando se arregla en dos pasos, la unidad se llama horquilla.

La longitud efectiva es la longitud en cada rama sobre la que ocurre transferencia de calor y excluye la prolongación del tubo interior después de la sección de intercambio. Los intercambiadores de doble tubo generalmente se ensamblan en longitudes efectivas de 3,66; 4,57 ó 6,10 metros.

- Intercambiadores de Tubo y Coraza. La satisfacción de muchas demandas industriales requiere el uso de un gran número de horquillas de doble tubo. Éstas consumen considerable área superficial así como presentan un número considerable de puntos en los cuales se puede hacer fugas. Cuando se requieren superficies grandes de transferencia de calor, pueden ser obtenidas por medio de un equipo de tubo y coraza.

Este tipo de intercambiador consiste en un haz de tubos, por donde se hace pasar una corriente de intercambio, que se introducen dentro de una coraza en cuyo interior se hace circular la otra corriente de intercambio.

La parte esencial es la coraza, equipada con dos entradas y tiene dos cabezales de tubos o espejos a ambos lados, que también sirven como bridas para fijar los dos carretes y sus respectivas tapas.

CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS

CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Equipos consumidores de vapor.

Para determinar los consumos de vapor en la instalación Anexo 1 se comenzó con el transportador de tornillo sinfín figura 1 del que se presenta una imagen de su ubicación en la línea de producción de leche de soya Anexo 2

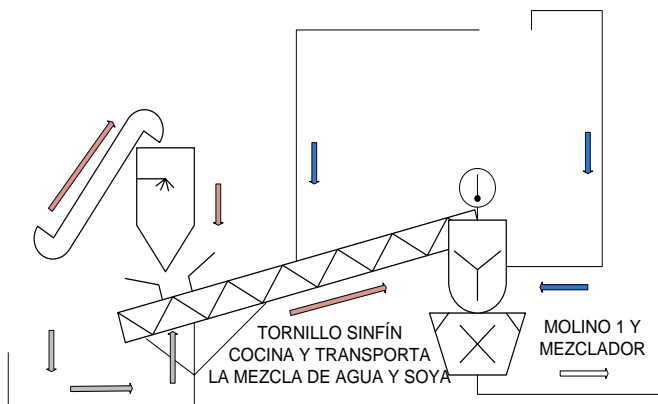


Figura 1 Esquema del transportador de tornillo sin fin de la línea de soya

Del tornillo sinfín se conoce:

El flujo de soya a la entrada $m's = 780 \text{ kg/h}$

El flujo de soya a la salida $m"s = 768 \text{ kg/h}$

El flujo de agua a la salida $m"a = 1600 \text{ kg/h}$

Calor específico del agua $Cps = 0,79 \text{ kcal/kg.K}$

Temperatura de entrada de la soya $t's = 20 \text{ }^\circ\text{C}$

Temperatura de salida de la soya $t"s = 85 \text{ }^\circ\text{C}$

Temperatura de entrada del agua $t'a = 55 \text{ }^\circ\text{C}$

La presión de vapor saturado $P'v = 0,25 \text{ MPa}$ y la entalpía $h'v = 643,14 \text{ kcal/kg}$

Estos datos se seleccionan en función de la capacidad del sinfín para líneas de soya de 8 000 l/h. (NC - NEIAL 1594-042, 2001)

Balance de masa y energía en el sinfín

$$m''a = m'a + m'v$$

$$m'a = m''a - m'v \quad (1)$$

$$m's * Cps * t's + m'v * h'v + m'a * h'a = m''s * Cps * t''s + m''a * h''a \quad (2)$$

Sustituyendo (2) en (1)

$$m's * Cps * t's + m'v * h'v + (m''a - m'v) * h'a = m''s * Cps * t''s + m''a * h''a$$

$$m'v(h'v - h'a) = m''s * Cps * t''s + m''a * h''a - m's * Cps * t's - m''a * h'a$$

El flujo de vapor se obtiene por la expresión:

$$m'v = \frac{Cps(m''s * t''s - m's * t's) + m''a(h''a - h'a)}{h'v - h'a}$$

En la cual:

$h''a$: Entalpía del agua a la salida del equipo. *kcal/kg*

$h'v$: Entalpía del vapor a la entrada del equipo *kcal/kg*

Calentador de leche. Intercambiador de mezcla.

En la figura 2 se muestra el calentador de leche de soya

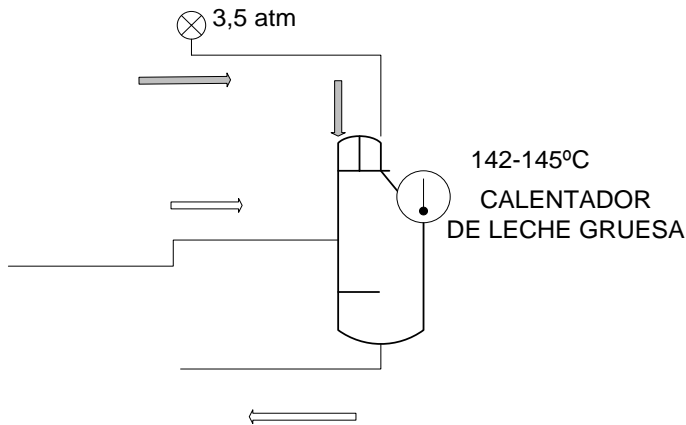


Figura 2 Calentador de leche de soya

En este equipo se conoce que:

La presión del vapor saturado en el calentador de leche $P'v = 0,35 \text{ MPa}$, la temperatura $t'v = 145 \text{ }^\circ\text{C}$ y la entalpía $h_v = 655,99 \text{ kcal/kg}$.

Calor específico de la leche $C_{pl} = 0,90 \text{ kcal/kgK}$

EL flujo de grasas $m'g = 6000 \text{ kg/h}$

El flujo de leche a la entrada $m'l = m's + m'g = 6768,3 \text{ kg/h}$

Resultados del balance en el calentador de leche.

$$m'l + mv = m''l$$

$$mv = m''l - m'l \quad (1)$$

$$m'l * C_{pl} * t'l + mv * h_v = m''l * C_{pl} * t''l$$

$$m'l * C_{pl} * t'l + (m''l - m'l) h_v = m''l * C_{pl} * t''l$$

$$m'l (C_{pl} * t'l - h_v) = m''l (C_{pl} * t''l - h_v)$$

$$m''l = \frac{m'l (C_{pl} * t'l - h_v)}{(C_{pl} * t''l - h_v)}$$

$$m''l = 8017,28 \text{ kg/h}$$

$$m'v = m''l - m'l$$

$$m'v = 1248,98 \text{ kg/h}$$

Los valores de entalpía se obtuvieron en el Diagrama de Molier del vapor de agua.

Calentador de agua

En este equipo es donde se realizan las mejoras energéticas, a partir del aprovechamiento de la energía que le puede extraer el agua al intercambiador de calor de tubo en tubo donde se enfría la leche de 90 a 50 °C y al tanque desaireador donde la leche se encuentra a 145 °C y debe salir a 90 °C. Esta energía que se le puede aprovechar al agua permite disminuir el consumo de vapor en este equipo.

Determinación de la temperatura de salida del agua en el intercambiador de tubo en tubo

Por el primer principio de la termodinámica

$$\eta = \frac{Q_{abs}}{Q_{ced}} = \frac{G_{agua} * C_{p_{agua}} * (T_{sa} - T_{ea})_{agua}}{G_{leche} * C_{p_{leche}} * (T_{sl} - T_{el})_{leche}}$$

Sustituyendo

$$T_{s_{agua}} = \left[\frac{\eta * G_{leche} * C_{p_{leche}} * (T_{sl} - T_{el})_{leche}}{G_{agua} * C_{p_{agua}}} \right] + T_{e_{agua}}$$

$$T_{s_{agua}} = 45^{\circ}C$$

Este flujo de agua a 45 °C se hará pasar a través de un intercambiador instalado a la salida del tanque desaireador (Anexo 4) incrementando la temperatura en 80 °C. Extrayendo el calor de flacheo de los 2 040 kg. /h de leche a 142 °C.

Balance de masa en el calentador de agua

En la figura 3 se muestra un esquema simplificado del calentador de agua y en el Anexo 3 una imagen del mismo en la línea de proceso de la leche de soya.

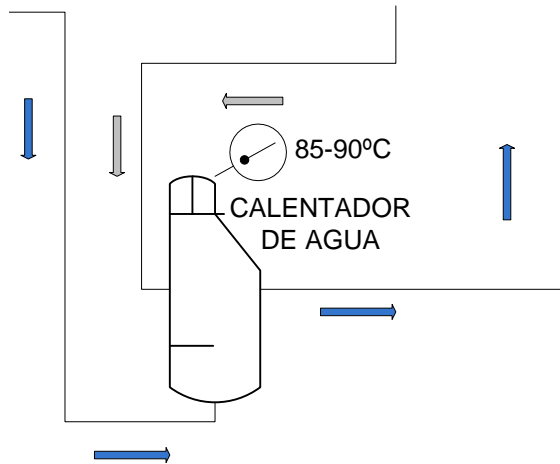


Figura 3 Calentador de agua

Del calentador de agua se conoce:

Entalpía del agua caliente a la salida $h''_{ac} = 85 \text{ kcal/kg}$

Entalpía del agua caliente a la entrada $h'_{ac} = 80 \text{ kcal/kg}$

Entalpía del vapor a la entrada $h'_{v} = 652,66 \text{ kcal/kg}$

$m''_{ac} = m'a + m'g = 7448 \text{ kg/h}$

Resultados del balance

$$m'v + m'ac = m''_{ac}$$

$$m'ac = m''_{ac} - m'v \quad (3)$$

$$m'v * h'_{v} + m'ac * h'_{ac} = m''_{ac} * h''_{ac} \quad (4)$$

Sustituyendo (3) en (4)

$$m'v * h'_{v} + (m''_{ac} - m'v)h'_{ac} = m''_{ac} * h''_{ac}$$

Despejando $m'v$

$$m'v = \frac{m''_{ac}(h''_{ac} - h'_{ac})}{h'_{v} - h'_{ac}}$$

Calculando

$$m'v = 61,79 \text{ kg/h}$$

El flujo total de vapor que se necesita en la línea de leche de soya es de:

$$mvt = mv1 + mv2 + mv3 = 1454,85 \text{ kg/h}$$

Hay una reducción de 350,24 kg/h de vapor con respecto al sistema anterior debido a las mejoras energéticas.

2.2 Cálculo de eficiencia de vapor asociadas a cada equipo.

Calor cedido por el vapor en el tornillo sinfín

$$Q_{ced} = mvt_s(h'v - h''a)$$

Calculando

$$Q_{ced} = 85272,62 \text{ kcal/h}$$

Calor cedido por el vapor en el calentador de leche

$$Q_{ced} = mvcl(h'v - h''l) = 351950,07 \text{ kcal/h}$$

Calor cedido por el vapor en el calentador de agua

$$Q_{ced} = mvca(hv - ha) = 36929,41 \text{ kcal/h}$$

Calor total cedido por el vapor en los equipos que integran la línea de leche de soya.

$$Q_{cedtotal} = Q_{cedts} + Q_{cedcl} + Q_{cedca} = 474152,10 \text{ kcal/h}$$

Cálculo de pérdidas en tuberías.

Pérdidas de presión por longitud de tuberías:

Los parámetros que se conocen de la tubería son:

$$\text{Presión } P = 4 \text{ atm}$$

$$\text{Longitud } L = 126,43 \text{ m}$$

Resultados

$$P_{\text{carga}} \underset{L \neq 100}{P=7} = \text{Factor} * \text{Longitud} * P_{\text{carga}} \underset{L=100}{P=7} = 6 * 1,2643 \text{ m} * 0,25 \text{ kgf/cm}^2 = 0,50 \text{ kgf/cm}^2$$

Podemos entonces afirmar que donde se bifurca la toma de vapor de la línea de soya el vapor entra con una presión de $4,50 \text{ kgf/cm}^2$.

Pérdidas de calor por tuberías aisladas.

Las dimensiones son:

D interior = 76,2 mm.

Espesor del aislamiento = 20 mm.

Coefficiente de Conductividad Térmica (λ) = $0,015 \text{ kcal/h m } ^\circ\text{C}$

$a = 0,24$ coeficiente que depende del tipo de aislamiento

$b = 91 \text{ } ^\circ\text{C}$ diferencia de temperatura efectiva entre el fluido caliente

$$P = a * b$$

$$P = 0,24 * 91$$

$$P = 21,84 \text{ kcal/hm}$$

$$Q1 = P * L$$

Pérdidas de calor en tuberías sin aislar:

Longitud de la tubería sin aislar: $L = 15 \text{ m}$

Diámetro exterior de la tubería: $D = 82,2 \text{ mm}$.

Temperatura interior: $t_1 = 145 \text{ } ^\circ\text{C}$

Temperatura exterior: $t_2 = 30 \text{ } ^\circ\text{C}$

$$Q2 = q * L$$

$$q = 550 \text{ kcal/hm}$$

Cálculo de pérdidas en los equipos.

Tornillo sinfín (radiación)

$$\phi_{\text{Exterior}} = 0,056 \text{ m}$$

$$L = 8,20 \text{ m}$$

$$q = 280 \text{ kcal/h}$$

$$Q3 = q * L$$

Calentador de leche (radiación)

$$\phi_{Exterior} = 0,056 m$$

$$L = 3,60 m$$

$$q = 280 kcal/h$$

$$Q4 = q * L$$

Calentador de agua (radiación)

$$\phi_{Exterior} = 0,056 m$$

$$L = 2,80 m$$

$$q = 280 kcal/h$$

$$Q5 = q * L$$

$$Pérdidas = Q1 + Q2 + Q3 + Q4 + Q5$$

Cálculo de eficiencia

$$Q_{disp} = Q_{ced} + Pérdidas = 489251,33 kcal/h$$

$$\eta = \frac{Q_{ced}}{Q_{disp}}$$

$$\eta = \frac{474152,10 kcal/h}{489251,33 kcal/h}$$

$$\eta = 0,97$$

$$\eta = 97 \%$$

2.3 Cálculo del intercambiador necesario para el aprovechamiento de la energía en el tanque desaireador.

En este epígrafe se propone el cálculo de la longitud del calentador de agua propuesto que se colocará en el tanque desaireador (Anexo 4) y para el cálculo del mismo se empleará:

El primer principio de la termodinámica.

$$\eta = \frac{Q_{abs}}{Q_{ced}}$$

Donde

η = eficiencia del intercambiador

Q_{ced} = Calor cedido por la leche.

Q_{abs} = Calor absorbido por el agua

Despejando

$$Q_{ced} = \frac{Q_{abs}}{\eta}$$

$$Q_{ced} = \frac{G_{\text{agua}} * c_{p_{\text{agua}}} * \Delta t_{\text{agua}}}{\eta}$$

$$Q_{ced} = 477,8 \text{ kW}$$

Para determinar el diferencial de temperatura se emplea la figura 4 en función del valor de la temperatura de los fluidos que intervienen (agua y leche) a la entrada y a la salida del intercambiador que se propone.

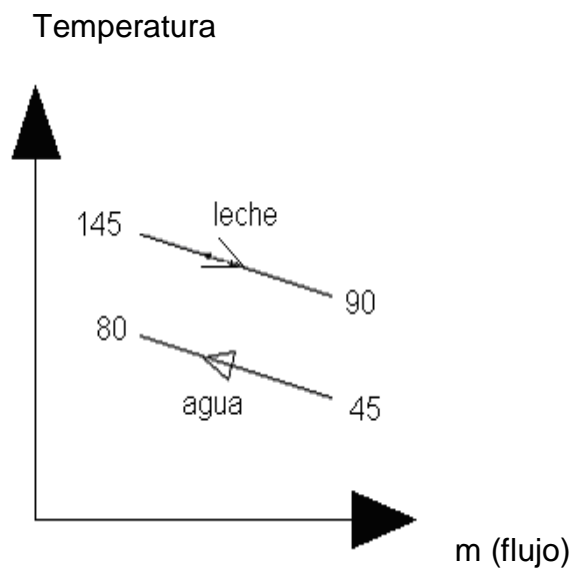


Figura 4 Diferencial de temperatura

La expresión para el cálculo del diferencial de temperatura es:

$$\Delta t = \frac{\Delta t_{mayor} - \Delta t_{menor}}{\ln \frac{\Delta t_{mayor}}{\Delta t_{menor}}}$$

Calculando

$$\Delta t = \frac{(65 - 45)^\circ C}{\ln \frac{65}{45}} = 54,38^\circ C$$

Determinación del coeficiente de transferencia de calor.

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum \frac{\delta}{\lambda_{A0}} + \frac{1}{\alpha_2}} \quad w/m^2 * ^\circ C$$

Determinar los coeficientes peliculares de los fluidos.

Conversión libre (Leche)

$$Nu = c * (Gr Pr)_f \left(\frac{Pr}{Pr_w} \right)^{0,25}$$

$$Gr = \frac{g\beta\Delta t(h)^3}{\nu^2} = \frac{9,81 * 0,027 * 55(0,0274)^3}{(1,3 * 10^{-6})^2}$$

$$Gr = 17 * 10^6$$

$$Pr = 1,47 \quad \text{Krasnochiokov Pág. 306}$$

$$(Gr * Pr)_f = 17 * 10^6 * 1,47 = 24 * 10^6$$

Según tabla del Krasnochiokov Pág. 174

$$C=0,55 \quad n=0,25$$

$$Nu = 0,50(24 * 10^6)^{0,25} \left(\frac{1,47}{1,17} \right)^{0,25} = 37,05$$

$$Nu = \frac{\alpha_2 d_{\text{int}}}{\lambda}$$

$$\alpha_2 = \frac{Nu \lambda}{d_{\text{int}}} = \frac{57,17 * 68,6 * 10^{-2} \text{ W / m } ^\circ\text{C}}{0,0274 \text{ m}} = 927 \text{ W / m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Conversión forzada (Agua)

$$G_{\text{agua}} = \int * \omega * A$$

$$\omega = \frac{G_{\text{agua}}}{\int * A} = \frac{3,33 * 10^{-3} \text{ m}^3 / \text{s}}{\pi * 0,0254^2 / 4}$$

$$\omega = 6,57 \text{ m/s}$$

$$Re = \frac{\omega * d_{\text{ext}}}{\nu} = \frac{6,57 \text{ m/s} * 0,0254 \text{ m}}{0,607 * 10^{-6} \text{ m}^2 / \text{s}}$$

$$R_e = 2,7 * 10^5$$

$$Nu = 0,021 * E_l Re^{0,8} * Pr^{0,43} * \left(\frac{Pr}{Pr_w} \right)^{0,25}$$

$$Nu = 0,021 * 1 * (2,7 * 10^5)^{0,8} * 3,98^{0,43} * \left(\frac{3,98}{2,21} \right)^{0,25}$$

$$Nu = 975$$

$$Nu = \frac{\alpha_1 * (D_{\text{int}})}{\lambda_{\text{agua}}}$$

$$\alpha_1 = \frac{Nu * \lambda}{D_{\text{int}}} = \frac{975 * 63,5 * 10^{-2} \text{ W / m } ^\circ\text{C}}{0,0254 \text{ m}}$$

$$\alpha_1 = 24 * 10^3 \text{ W / m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Determinación del coeficiente de transferencia de calor.

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum \frac{\delta}{\lambda_{A0}} + \frac{1}{\alpha_2}} = \left[\frac{1}{\frac{1}{1391} + \frac{0,02}{24} + \frac{1}{7085}} \right] = 830,7 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Determinar el área de transferencia de calor.

$$Q = K * F * \Delta t$$

$$F = \frac{Q_{ced}}{K * \Delta t} = 1,02 \text{ m}^2$$

Determinar la longitud de los tubos.

$$F = \pi * d * l$$

$$l = \frac{F}{\pi * d} = \frac{1,02 \text{ m}^2}{3,14 * 0,0254 \text{ m}} = 13,00 \text{ m}$$

2.4 Valoración Económica

La metodología utilizada en la presente investigación se realizó utilizando lo expuesto por (Borroto Nordelo, A. 2007) en Gestión y Economía Energética. , la cual se empleará para la evaluación económica financiera de dicho proyecto.

Evaluación de los resultados en el período base

La información que se logra permite pasar a la evaluación de la inversión. Para ello se dispone de diversos métodos. Los más generalizados son el período de recuperación de la inversión actualizada (PRA), la tasa interna de rendimiento del capital (TIR), el valor neto actualizado (VNA o VAN).

Período de recuperación de la inversión actualizado (PR)

Se formula de la siguiente manera:

PR = año anterior a la recuperación total + (costo no recuperado al inicio del año / flujo de efectivo durante el año). (1)

Entre más pequeño sea el período de recuperación, mejores resultados se obtendrán.

Valor neto actualizado (VAN o VNA).

Se formula de la siguiente manera:

$$VAN = -I_0 + \sum_{i=1}^n FED \quad (2)$$

Donde:

VAN: Valor actual neto.

I_0 : Inversión inicial.

FED: Flujo de caja neto descontado.

Tasa Interna de Retorno (TIR).

Su expresión matemática es:

$$TIR = Td_{(p)} + \left[(Td_{(n)} - Td_{(p)}) \frac{VAN_{(p)}}{VAN_{(p)} - VAN_{(n)}} \right] \quad (3)$$

Donde:

Td (p): Representa la tasa de descuento a la que se obtuvo el VAN positivo.

Td (n): Representa la tasa de descuento a la que se obtuvo el VAN negativo.

VAN (p): Representa el valor del VAN positivo.

VAN (n): Representa el valor del VAN negativo.

Análisis de sensibilidad o riesgo

El método consiste en simular distintas situaciones haciendo variar cada uno de los factores críticos y manteniendo constante los demás, en tal propósito se utilizan los mismos modelos matemáticos antes descritos y se aprecia hasta qué punto pueden subir los costos operativos, elevarse el monto de la inversión, crecer el interés, disminuir los precios de venta, incumplirse el pronóstico de la demanda, entre otros sin que el proyecto deje de ser viable.

Establecimiento del criterio aceptación –rechazo

Estos criterios se analizaron paralelamente en la misma medida que se manejaron los métodos, por lo que solo se resumen los que serán usados más adelante en la presente investigación.

El Proyecto se acepta si:

PRA < que la vida útil del proyecto.

TIR > que la tasa de descuento prefijada.

VAN > 0.

Datos (para realizar el cálculo económico financiero)

Valor de la inversión 19 600,60

Ahorro por la inversión 75 594,70

Tasa de descuento (%) 16

Evaluación de los resultados en el período base.

Como resultado del análisis en el período base según se muestra en la tabla 1 se evidencia lo siguiente: La obra se recupera en 0,71 años (PRA) si se tiene en cuenta el valor del dinero en el tiempo. Su tasa interna de rendimiento del capital (TIR) es del 41,5 %, con un valor actual neto (VAN) al 16%, de 247 447,33 CUC.

Tabla 1 Análisis de los resultados en el período base en CUC

INDICADORES.	AÑOS					
	0	1	2	3	4	5
Ingresos vía ahorro		75 594,7	83 154,5	91 471	100 618	110 618
Amortización		3 920,12	3 920,12	3 920,12	3 920,12	3 920,12
Valor de Salvamento						
Valor de la inversión	19 600,603					
Liquidez Neta	-19 600,603	79 514,82	87 074,62	95 391,12	104 538,12	114 538,12
Liquidez Acumulada	-19 600,603	59 914,21	146 988,83	242 379,957	346 918,07	461 456,19
VA		68 547,25	75 064,32	82 233,72	90 119,06	98 739,752

Análisis de riesgo y sensibilidad.

La tabla 2 muestra el análisis de sensibilidad en dos supuestos fundamentales.

Supuesto 1

Si la inversión costara el 25% más de lo previsto.

Supuesto 2

Si la inversión costara lo previsto y los ingresos disminuyeran en un 5%.

Tabla 2 Análisis de sensibilidad y riesgo

INDICADORES.	UM	BASE	Supuesto 1	Supuesto 2
Incremento del Valor de la Inv. (25%).	\$	19 600,603	24 500,75	
Decremento de los ingresos (5%).	%	75 594,7		71 814,965
PRA	años	0,71	0,64	0,69
T.I.R.	%	41,5	33,7	39,5
VAN (AL 16%)	\$	247 447,32	245 989,37	234 783,36

Se muestra en la tabla 2 los resultados del análisis de sensibilidad y riesgo poniéndose al desnudo lo siguiente: Si la obra llegara a costar el 125 % del presupuesto asignado, entonces su recuperación ocurriría a los 0,64 años, con una TIR del 33,7 %, con un VAN de 245 989,37 CUC. Si en caso contrario el valor de la inversión se ajusta al presupuesto previsto, pero sus ingresos disminuyen en un 5%, entonces su recuperación ocurriría en 0,69 años y la TIR sería del 39,5 %, con un VAN de 234 783,366 CUC.

Obsérvese como en todos los casos los resultados obtenidos son favorables y no difieren demasiado. La peor reacción, para todos los indicadores medidos, se produce ante el supuesto 1 es decir en el aumento del valor de la inversión.

Establecimiento del criterio aceptación –rechazo.

El Proyecto se acepta si:

PRA < cinco años

TIR > 16%.

VAN > 0.

CAPÍTULO 3. TRATAMIENTO Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

CAPÍTULO 3. TRATAMIENTO Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

3.1 Consumo de vapor en la instalación

En la tabla 3.1.1 se muestran los consumos de vapor de la línea de leche de soya, obtenidos mediante cálculo antes de la propuesta de recuperación de energía y después de instalado el intercambiador:

Tabla 3.1.1 Consumidores de vapor en la línea de leche de soya antes y después de la mejora propuesta.

Equipos consumidores de vapor	Consumos de vapor antes de la mejora energética kg/h	Consumos de vapor después de la mejora energética kg/h
Tornillo sin fin	144,08	144,08
Calentador de leche	1 248,98	1 248,98
Calentador de agua	412,03	61,79
Consumo total	1 805,09	1 454,85

Como se puede apreciar la instalación de un intercambiador en la línea de leche de soya, permite la recuperación de la energía que se desechaba al ambiente, éste reporta una reducción de unos 350,24 kg/h de vapor a consumir por la línea, el resultado se puede apreciar en el calentador de agua que reduce su consumo; a este equipo es al que se le realiza el aporte de la energía recuperada. Por este concepto en un día de trabajo concibiendo un turno de 8 horas se obtendría un ahorro de 2 802 kg/d.

Para estimar el consumo de combustible que se ahorra por este concepto se parte de los siguientes valores:

La presión del vapor saturado $P'v = 0,35 \text{ MPa}$, la temperatura $t'v = 145^\circ \text{C}$.

Combustible Fuel- oil

$$PCI(\text{poder calórico inferior}) = 9\,600 \text{ kJ/kg}$$

$$\eta(\text{caldera}) = 0,85$$

Empleando la expresión:

$$Bc = \frac{G_{\text{vapor}} * r}{PCI * \eta}$$

Donde

Bc --- Flujo de combustible ahorrado kg/h

G_{vapor} ---- El flujo de vapor ahorrado kg/h

r ---calor latente (kJ/kg.) a la presión de trabajo 0,35 MPa del vapor y el valor es de 509,7 kcal/kg.

El flujo de combustible ahorrado es de 21,86 kg/h.

En la figura 3.1.1 se observa el consumo de vapor porcentual en el calentador de agua antes y después de las mejoras realizadas con respecto al consumo total de vapor del proceso, como se puede apreciar ocurre una disminución de 22.8 % a 4,2 % ya que éste es el equipo donde se implementan las mejoras energéticas.

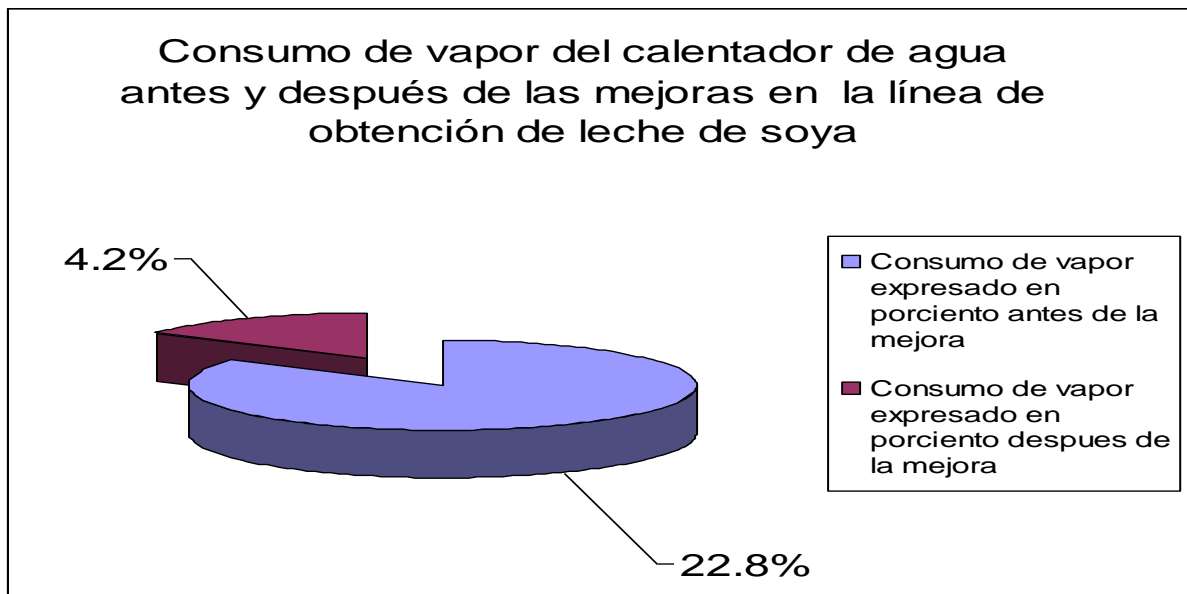


Figura 3.1.1 Consumo de vapor en el calentador con respecto al consumo total de vapor del proceso en la línea de leche de soya expresado en (%)

3.2 Pérdidas de calor en el sistema.

En la tabla 3.2.1 se muestran las principales pérdidas de calor en las tuberías que alimentan la línea de leche de soya y sus equipos.

Tabla 3.2.1 Pérdidas de calor en tuberías y equipos.

Caracterización de las pérdidas de calor	Valor kcal./h	Valor porcentual %
Pérdidas de calor por tuberías aisladas	2 761,3	18,29
Pérdidas de calor en tuberías sin aislar	8 250	54,64
equipos		
tornillo sinfín	2 296	15,20
calentador de leche	1 008	6,68
calentador de agua	784	5,19
Total	15 099,3	100

Del análisis de la tabla 3.2.1 se desprende para su mejor comprensión el gráfico que se muestra en la figura 3.2.1 y que representa los resultados de las pérdidas de calor que se producen en los elementos que componen la instalación, en la misma se observa la influencia que tienen las pérdidas por concepto de aislamiento defectuoso 54,64 % lo que está en correspondencia con la bibliografía consultada en cuanto al peso que se le da a estas pérdidas en cualquier instalación que presente estas características, además nos refleja las potencialidades que existen para mejorar la eficiencia de la instalación.(Rey Santos 2001)

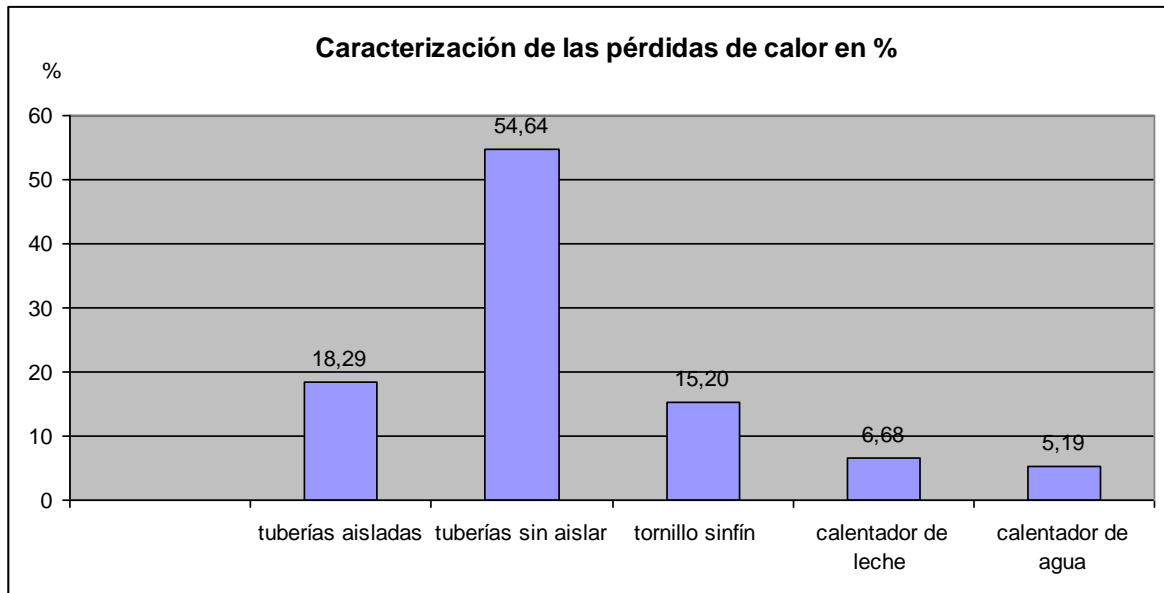


Figura 3.2.1 Resultados de las pérdidas de calor (%)

3.3 Resultado de las mejoras energéticas.

A partir del valor de la sumatoria de pérdidas que aparece en la tabla 3.2.1 se determina el combustible adicional que se consume por conceptos de las pérdidas de energía de la instalación.

$$Q_{perdido} = 15\,099,23 \text{ kcal/h}$$

$$PCI(\text{poder calórico inferior}) = 9600 \text{ kcal/kg}$$

$$\eta(\text{caldera}) = 0,85$$

$$\text{Tiempo de trabajo caldera} = 8 \text{ h durante } 350 \text{ días}$$

Nota: El valor de la eficiencia de la caldera se toma considerando el que el fabricante especifica en la chapilla, cuando ésta estaba en su plazo de servicio óptimo.

A partir de la expresión el sobre consumo de combustible es:

$$\frac{Q_{perdido}}{PCI * \eta} = 1,85 \text{ kg/h}$$

Considerando las horas de trabajo al año

$$1,85 \text{ kg/h} * 8 \text{ h} = 14,80 \text{ kg} (\text{perdidos_diario})$$

$$14,80 \text{ kg} * 350 \text{ días} = 5180 \text{ kg} (\text{anual})$$

Considerando los precios de los combustibles

$$\frac{1000 \text{ kg}}{23000 \text{ MN}} = \frac{5180 \text{ kg}}{\text{Pérdida}(\text{moneda})}$$

$$\text{Pérdida}(\text{monetaria}) = \$119140 \text{ MN}$$

CONCLUSIONES.

1. La mejora energética realizada al calentador de agua, mediante el aprovechamiento del agua que se vertía al ambiente a una temperatura de 45 °C conjuntamente con el vapor de flacheo, permite que se reduzca el consumo de vapor generado en 350,24 kg/h.
2. A partir del aprovechamiento de las energías residuales que anteriormente se disipaban al ambiente, se logra disminuir el consumo de combustible en la caldera que alimenta el sistema de obtención de leche de soya en 21,86 kg/h de fuel oil.
3. Las pérdidas de energía en tuberías y accesorios en la instalación de obtención de la leche de soya en el combinado lácteo de Pinar del Río están en el orden de las 15 099,23 kcal/h equivalente a 1 427,55CUC.
4. El consumo de agua que se ahorra por el concepto de su recuperación asciende en el año a 8 335 m³
5. El costo incurrido en la introducción de las mejoras energéticas se recupera en 0,71 años.

RECOMENDACIONES.

1. Reemplazar la caldera por una más moderna con el fin de disminuir el consumo de combustible y la contaminación ambiental.
2. Rediseñar la instalación con el objeto de que no sean necesarias largas redes de vapor de cientos de metros de longitud, las cuales poseen tramos sin aislamiento todo lo cual disminuye considerablemente la eficiencia de la instalación.
3. Incorporar intercambiadores a placa, sustituyendo el de tubo en tubo, para mejorar la eficiencia del intercambio entre los fluidos, disminuyendo también el área que ocupa en el local.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ASHRAE.. "ASHRAE Handbook – Fundamentals" ,2000.
2. Borroto Nordelo, A." Gestión y Economía Energética" .Editorial UNIVERSO SUR Cienfuegos, Cuba 2007
3. Castro F, Acto de puesta en marcha del sistema de interconexión eléctrica que suministrará energía a la zona del norte de Brasil. Santa Elena de Uairen, República Bolivariana de Venezuela, 13 de agosto del 2001, Versiones Taquigráficas Consejo de Estado.
4. Chiba, H. Takahashi, N. & Sasaki, R. (Enzymatic improvement of food flavor from soybean products by aldehyde dehydrogenase. *Agric. Biol. Chem.*, 43 (9): 1981-1987, 1999.
5. Corberán, J. M., Fernández de Córdoba, P., González J., Alias, F., Semiexplicit Method for Wall Temperature Linked Equations (SEWTLE): A General Finite-Volume Technique for the Calculation of Complex Heat Exchangers, *Numerical Heat Transfer, Part B* vol 40 pp. 223-230,1999.
6. De Camargo, R. et al. "Tecnología de dos productos agropecuarios-alimentos". 270 - 277. 1986.
7. Faires Moring, Virgil. " TERMODINÁMICA TÉCNICA " La Habana, 1991.
8. Fundación para la Agricultura y la Alimentación de las Naciones Unidas (FAO). Tecnología de la producción de harinas comestibles y productos proteicos a partir de la soya. 1-38, 132-143, 1994.
9. Guayar J. y A. Valero. "Exergía y sus componentes en una mezcla". *Revista Ingeniería Química*, Junio 1990, pp. 231-235, España.
10. Incropera, F. and De Witt, D., "Fundamentos de Transferência de Calor e Massa", volume 1. LTC Editora, São Paulo, 4ª Edição, 1995.
11. Kinsella, J. Texturized proteins: fabrication, flavouring and nutrition. *CRC Critical Review in Food Sci. Nutr.* 10 (2): 147-207, 1999.
12. Krasnoschiokov, E. A. PROBLEMAS DE TERMOTRANSFERENCIA. Editorial Mir. MOSCÚ, 1986.
13. Lapido Rodríguez, M., Castellanos Álvarez, J.A. y J.C. de Armas Valdés. "Monografía Métodos de análisis termodinámico", Editorial Universo Sur, UCF, 2005.

14. Liu, Keshun. Soybeans: chemistry, technology and utilization. ITP: New York. 63-77, 164, 165, 1999.
15. Mills, A. F., Transferencia de calor. Ed. Irwin, 1999.
16. NC 92-01/78 NEIAL 1594-042/2001
17. Pak, P.S. y Y. Suzuki. "Exergetic evaluation of methods for improving power generation efficiency of a gas turbine cogeneration system". International Journal of Energy Research, Vol. 31, pp. 737-747, 1997.
18. Perry J.H. et. al. "Perry's Chemical Engineering Handbook", 7ma. Edición, Editorial McGraw-Hill, USA, 1997.
19. Rosen, M.A. "Second-Law Analysis: approaches and implications". International Journal of Energy Research, Vol. 23, pp. 415-429, 1999.
20. Szargut, Morris y Stewar. Exergy Analysis of Thermal, Chemical, and Metallurgical Processes. 1998. New York
21. Uso Eficiente de Energía en Calderas y Redes de Fluidos, Madrid, Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía,. Pág. 141-145, 2002.
22. Valero, A. "Termo economía: el punto de encuentro de la termodinámica, la economía y la ecología". Jornada sobre Economía y Ciencias de la Naturaleza, Madrid, 1999, España

BIBLIOGRAFÍA

1. Albert, Lilia A. "Toxicología Ambiental". Editorial Limusa. p. 54. 1988.
2. Álvarez, S. Metodología de Análisis y Diseño Orientada a Objetos de Sistemas Informáticos ADOOSI. Departamento de Informática del ISPJAE, 1996.
3. ASHRAE. "1979 ASHRAE Handbook – Equipment" 1979
4. Autores varios: Técnicas de conservación energética en la industria I y II
5. Autores varios: Uso eficiente de energía en calderas y redes de fluidos
6. Barreras Ferrán, R. "Paso al crudo cubano". Granma (CU), octubre 22, p. 8. 2002.
7. Borland, 1995] Borland Intl, Borland Delphi v 1.0. Programmer's Reference. U.S.A., 1995.
8. Castro Ruz, F. Conferencia de Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo, Río de Janeiro. 1992.
9. [Castro, V. Multimedia: ¿información vs. diseño? Revista GIGA, Cuba, No 2, 1997.
10. Charter, Francisco, Programación con DELPHI , Edición Española 1996.
11. Chiang, L. Herramientas para el desarrollo de software educativo inteligente en ambiente multimedia. Centro Regional para el Entrenamiento de Profesores de Ingeniería y Arquitectura (CREPIA), ISPJAE, 1996.
12. Colás, J., Díaz, M. Evaluación del Impacto Ambiental por uso del crudo nacional en el Combinado de Cerámica Roja "San Cristóbal". Centro de Investigación del Petróleo, La Habana. 1999.
13. Comisión Nacional de Energía: Cálculos rápidos I y II Sistema de generación y distribución de Vapor
14. "Contaminación" [anónimo]. [en línea] Julio 1999. . Disponible en: <http://redescolar.ilce.edu.mx/redescolar/c03/c031/circulosa3/publicaciones/publicacionesok1/contaminacion-59.html> [Consulta: abril, 5 2008].
15. De Camargo, R. et al. "Tecnología de dos productos agropecuarios-alimentos". 270 - 277. 1986.
16. Díaz, Hernández, R. Tesis para optar por la maestría en Informática

- Aplicada: Perfeccionamiento de la enseñanza de aspectos teóricos de la Geometría Descriptiva para la carrera de Ingeniería Mecánica con el uso de un material educativo computarizado, 2000.
17. Epshtein, D. Fundamentos de tecnología química. Editorial MIR-Moscú. 1981.
 18. Eskel Nordel: Tratamiento de agua para a industria y otros usos.
 19. Faires V. M. Termodinámica. 1989
 20. Frederick T. Morse, ME, EE: Power plant engineering.
 21. G. Pankratov: Problemas de termodinámica
 22. Garea Moreda, B. ¿Está verdaderamente en peligro la vida en la tierra? Ciencia Innovación y Desarrollo (CU), Vol. 6, No 1, p. 21-25. 2001.
 23. Garrity; Sipior, 1996] Garrity, E. J. and Sipior, J. C. Multimedia as a vehicle for knowledge modeling in expert systems. Expert Systems with Application. U.S.A. 7 : 397-406, 1996.
 24. Garrity; Sipior, 1996] Garrity, E. J. and Sipior, J. C. Multimedia as a vehicle for knowledge modeling in expert systems. Expert Systems with Application. U.S.A. 7 : pág. 397-406, 1996.
 25. Gordón, G. M. y Peisájov, I. L. (1981). Captación de polvos y purificación de metales no ferrosos. Editorial MIR-Moscú.
 26. http://www.jcyl.es/jcyl/cmaot/dgca/datos_atmosfera/calidad_aire/contaminacion.htm [Consulta: abril, 5 2008].
 27. Innovación y Desarrollo (CU), Vol. 6, No 3, p. 59-60. “Agencia de Protección de Medio Ambiente de los Estados Unidos” [en línea] Marzo 2003. Disponible en: <http://www.epa.gov> [Consulta: marzo, 30 2008].
 28. Junta de Castilla y León “La Contaminación Atmosférica y su Origen” [en línea] Marzo 2003.
 29. Laskowsla Weltz: Tratado de calderas y recipientes cilíndricos. Pailería
 30. Lluvias ácidas” [anónimo]. El Correo (CU), p. 21-24, enero. 1985
 31. López Cabrera, C. M. y otros. “El Medio Ambiente”. Universidad para todos (CU), p. 9. 2002.
 32. Lorenzo González, M. y otros. Diagnóstico Ambiental “Complejo IMC San

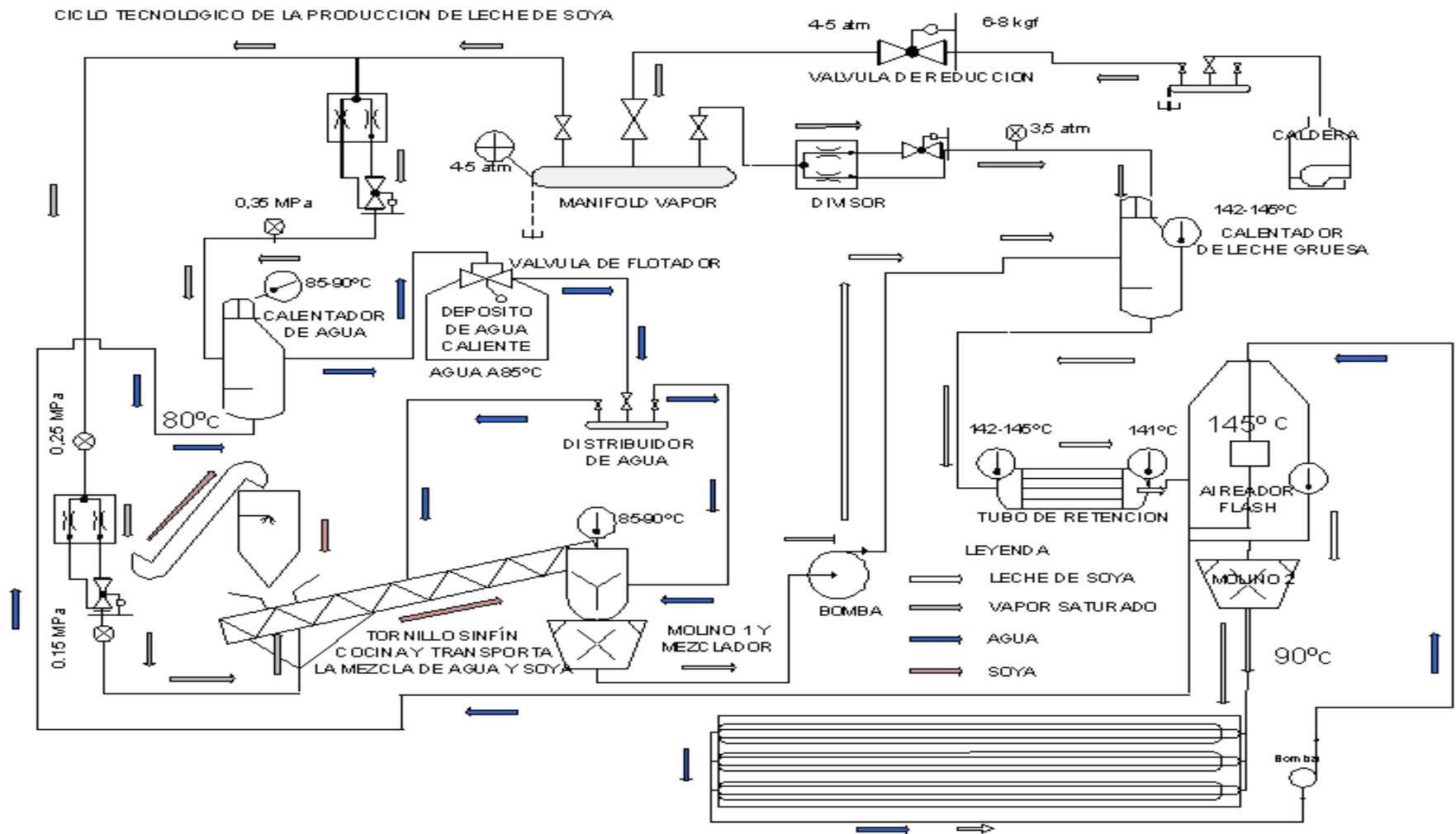
- Cristóbal” (fábrica de lozas de azotea) San Cristóbal, Pinar del Río. 2000.
33. Pérez Garay, L. Generadores de vapor
 34. Marcano, J. E. “Educación Ambiental” [en línea] Julio 2002. Disponible en: <http://www.jmarcano.com> [Consulta: marzo, 29 2008].
 35. Messina, J. “Bisulfito de Amonio” [en línea] Marzo 2003. Disponible en: <http://www.juanmessina.com.ar/espaniol/bisulfitoamonio.htm> [Consulta: marzo, 30 2008].
 36. Messina, J. “Industrias Químicas” [en línea] Marzo 2003. Disponible en: <http://www.juanmessina.com.ar> [Consulta: marzo, 30 2008].
 37. Mujliónov, I. P. y otros. (1979). Tecnología química general; Tomo II. Editorial MIR-Moscú.
 38. NC 39:99. Calidad del aire. Requisitos higiénicos sanitarios.
 39. NC 93-02-202:97. Atmósfera. Requisitos higiénicos sanitarios: concentraciones máximas admisibles, algunas mínimas de expulsión y zona de protección sanitaria.
 40. Nelson Tanquero Díaz: Introducción a las instalaciones técnicas y de procesos.
 41. Pérez, J .M. tratamiento de agua .2000
 42. Pérez Garay, Luís, Uso Eficiente de la Energía en Calderas y Redes de Fluidos, La Habana, Editorial Pueblo y Educación, 1980.
 43. Perry, J. H. Chemical engineers’ handbook. Tomo II. Mc Graw-Hill. New York. 1950.
 44. Qvist, I.H. & Sydow, E.F. Unconventional proteins as aroma precursors. Chemical analysis of the volatile compounds in hested soy, casein, and fish protein model systems. J. Azgric., Food Chem., 22 (6): 1077-1084. 1974.
 45. Rey Santos, O. “Medio ambiente y nación”. Ciencia Innovación y Desarrollo (CU), Vol. 6, No 2, p. 8-11. 2001.
 46. Rubén Espinoza y otros: Sistema de utilización del vapor
 47. Rubido Álvarez, A. Mejoras tecnológicas al sistema de tiro forzado de gases en horno túnel de la planta de elementos aligerados de barro. Trabajo de Diploma (en opción al título de Ingeniero Mecánico). Universidad de Pinar

- del Río. 2000.
48. Sanz, J. M. La contaminación atmosférica. Edición Madrid. 1991.
 49. Sienko, M. J. y Plane, R. A. Química. Edición Revolucionaria. 1967.
 50. Swain, Ph (Editor). Plant energy systems. Edición Revolucionaria. 1967.
 51. Tomashov N. D. Theory of Corrosion and Protection of metals. Edición Revolucionaria. p. 113-114. 1971.
 52. Turrini, E. El camino del sol. Cubasol. 1999.
 53. Uso óptimo del vapor en la industria. Comisión provincial de ahorro de energía. C. Habana 1995.
 54. Vian, A. y Ocón, J. Elementos de ingeniería química. Editorial Pueblo y Educación. 1983.
 55. Zulueta Blanco, M. Dos libros cubanos sobre el tema ambiental. Ciencia. 2001.

ANEXOS

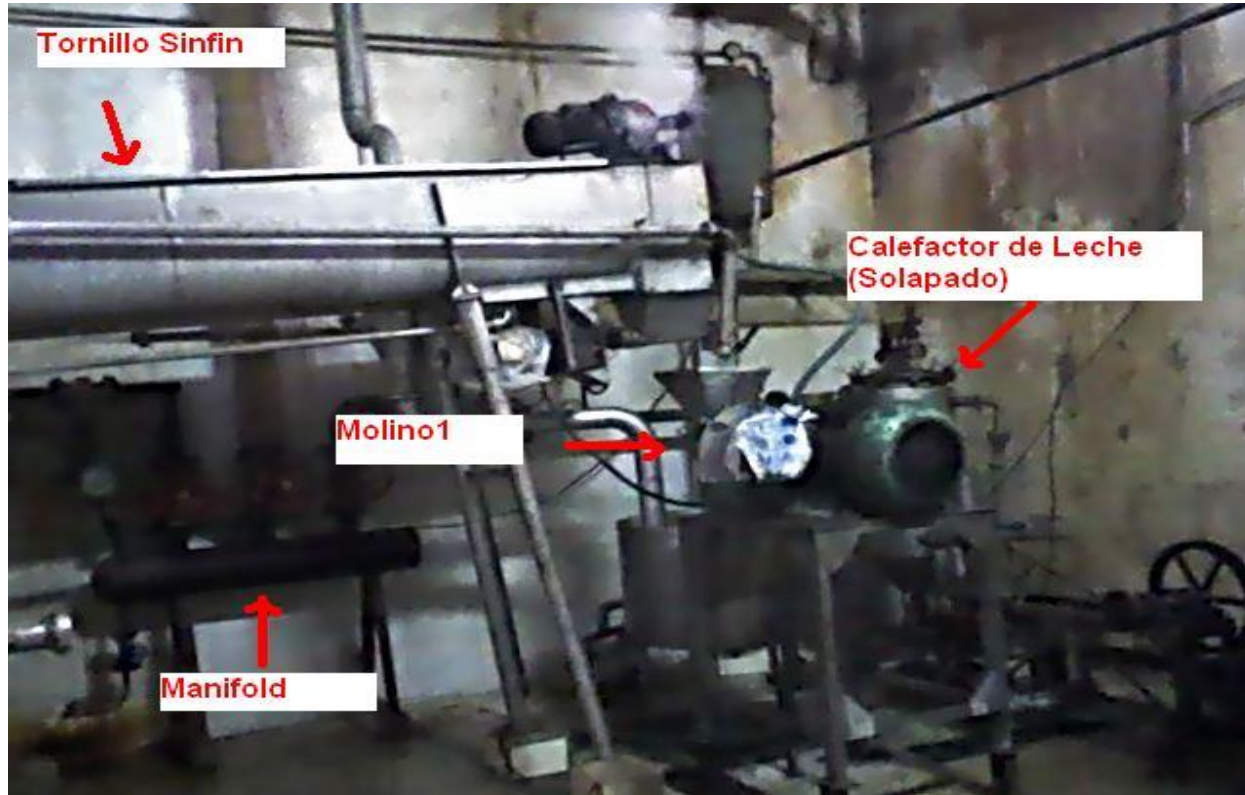
Tesis de Maestría

Anexo 1: Diagrama de la línea de producción de leche de soya



Tesis de Maestría

Anexo 2: Transportador Sinfín



Tesis de Maestría

Anexo 3: Calentador o calefactor de agua



Anexo 4: Desaireador

