

**CÁLCULOS DE REQUERIMIENTOS Y PÉRDIDAS DE ENERGÍA EN EL
PROCESO DE PRODUCCIÓN DE CERVEZA DONATO EN LA INDUSTRIA DE
LICORES DE BOYACÁ S.A – C.I**

NADIA ALEXANDRA TOPÍA USCÁTEGUI

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BUCARAMANGA**

2014

**CÁLCULOS DE REQUERIMIENTOS Y PÉRDIDAS DE ENERGÍA EN EL
PROCESO DE PRODUCCIÓN DE CERVEZA DONATO EN LA INDUSTRIA DE
LICORES DE BOYACÁ S.A – C.I**

NADIA ALEXANDRA TOPÍA USCÁTEGUI

**Trabajo de grado en modalidad de práctica empresarial, presentado para
optar al título de Ingeniero Químico**

**Directora
VIVIANA SANCHEZ TORRES
Ingeniera Química. Ph.D**

**Co.Director
Ing. GUSTAVO PATIÑO SALAS
Gerente técnico y de producción**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BUCARAMANGA**

2014

Principalmente a Dios y a la Virgen del Carmen por permitirme dar este gran paso en mi vida.

A mis amados padres Jaime y Julia quienes me han apoyado en todo el transcurso de mi carrera, me han guiado por el buen camino y son un gran ejemplo para mí.

A mis hermanos Andrea y Juan Pablo por sus enseñanzas, consejos y apoyo.

A toda mi familia y a mis amigos que no me han dejado desistir en este largo camino, que de uno u otro modo han sido un gran apoyo e inspiración.

Y en especial a mi primo Ivan Felipe que es un angelito que me está apoyando desde el cielo.

NADIA

AGRADECIMIENTOS

A todo el personal de la Industria de Licores de Boyacá por darme la oportunidad de vivir esta experiencia tan enriquecedora para mi carrera.

A la Escuela de Ingeniería Química y a la Universidad Industrial de Santander, por toda la formación académica.

A mi directora Viviana Sánchez por todo su apoyo, dedicación y colaboración.

Al señor Pedro López, trabajador de la cervecería quien fue un gran colaborador y amigo.

A todas las personas que han estado en mi vida ayudándome, que han creído en mí.

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCION	13
1.1 INDUSTRIA DE LICORES DE BOYACÁ	13
1.2 CERVECERÍA DONATO	13
1.3 FUNCIONES ASIGNADAS EN LA EMPRESA	13
1.4 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	15
1.5 OBJETIVOS	16
2. MARCO TEÓRICO	16
2.1 PROCESO DE PRODUCCIÓN DE LA CERVEZA	16
2.2 TRANSFERENCIA DE CALOR	17
2.2.1 Mecanismos de transferencia de calor	17
2.2.1.1 Conducción	17
2.2.1.2 Convección	17
2.2.1.3 Radiación	18
2.2.2 Tasa de transferencia de calor por unidad de longitud	18
2.3 VAPOR COMO MEDIO DE CALENTAMIENTO	18
2.3.1 Mezcla líquido vapor	19
2.4 COEFICIENTE GLOBAL DE TRANSFERENCIA DE CALOR PARA TUBERÍAS	20
2.5 COEFICIENTE DE CONVECCIÓN PARA FLUJO INTERNO EN TUBERÍAS	20
2.6 AISLAMIENTO TÉRMICO	21
2.6.1 Razones para aislar	21
3. METODOLOGÍA	22
3.1 DATOS Y VARIABLES DE LOS TRES EQUIPOS ANALIZADOS	23

3.1.1 Calentador de agua	23
3.1.2 Olla de maceración	24
3.1.3 Olla de cocción del mosto	25
3.2 CALOR SUMINISTRADO POR EL VAPOR	27
3.3 CALOR TRANSFERIDO DURANTE EL PROCESO	28
3.4 PÉRDIDAS DE CALOR	28
3.5 AISLAMIENTO DE TUBERIAS DE VAPOR	29
4. RESULTADOS	33
4.1 CALOR SUMINISTRADO POR EL VAPOR	33
4.2 CALOR TRANSFERIDO DURANTE EL PROCESO	34
4.3 PÉRDIDAS DE CALOR	34
4.4 AISLAMIENTO DE TUBERIAS DE VAPOR	35
4.4.1 Aislamiento para la tubería de vapor que entra al calentador de agua y la olla de maceración	37
4.4.2 Aislamiento para la tubería de vapor que entra a la olla de cocción del mosto	39
5. CONCLUSIONES	41
BIBLIOGRAFIA	42

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Condiciones de operación y propiedades de los fluidos en el calentador de agua	24
Tabla 2. Condiciones de operación y propiedades de los fluidos en la olla de maceración	25
Tabla 3. Condiciones de operación y propiedades de los fluidos en la olla de cocción del mosto	26
Tabla 4. . Condiciones de operación y propiedades de los fluidos en las tuberías de vapor	29
Tabla 5. Resultados del calor suministrado por el vapor	34
Tabla 6. Resultados del calor recibido por el fluido de proceso en cada equipo	34
Tabla 7. Cálculos para el calentador de agua y la olla de maceración	38
Tabla 8. Cálculos para la olla de cocción del mosto	39

LISTADO DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Proceso de producción de cerveza DONATO	14
Figura 2. Diagrama PV	19
Figura 3. Diagrama de la metodología seguida	22
Figura 4. Calentador de agua	23
Figura 5. Olla de maceración	24
Figura 6. Olla de cocción del mosto	26
Figura 7. Tubería de vapor con aislamiento	36
Figura 8. Carga de condensados vs. espesor de aislamiento para las tuberías de vapor que llegan al calentador de agua y la olla de maceración	38
Figura 9. Carga de condensados vs. espesor de aislamiento para la tubería de vapor que llega a la olla de cocción del mosto	39

RESUMEN

TÍTULO: CÁLCULOS DE REQUERIMIENTOS Y PÉRDIDAS DE ENERGÍA EN EL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE CERVEZA DONATO EN LA INDUSTRIA DE LICORES DE BOYACÁ S.A – C.I¹

AUTOR: NADIA ALEXANDRA TOPÍA USCÁTEGUI²

PALABRAS CLAVES: Caldera pirotubular, aislamiento térmico, olla de maceración, requerimientos energéticos, carga de condensados.

CONTENIDO:

En este trabajo se estimaron los requerimientos energéticos y las pérdidas de energía en los equipos que requieren de energía en forma de calor los cuales son el calentador de agua, la olla de maceración y la olla de cocción del mosto de la Cervecería Donato de la Industria de Licores de Boyacá. El vapor requerido por estos equipos es generado en una caldera pirotubular y es transportado en tuberías de cobre sin aislamiento.

Se planteó un balance de energía suponiendo un estado estacionario para el calentador de agua, la olla de maceración y la olla de cocción del mosto analizando la transferencia de calor proveniente del vapor de calentamiento, la energía interna transferida por el cambio de temperatura del fluido contenido en cada uno de estos equipos y las pérdidas generadas al ambiente. Los datos experimentales necesarios como temperaturas, flujos y tiempos de cocción fueron recolectados en los días de producción. Los resultados obtenidos en cuanto a las pérdidas de calor en los equipos son aproximadamente del 50% correspondiente a las pérdidas al ambiente por medio de las paredes de los equipos y a estas pérdidas se suman las de las tuberías que transportan el vapor a cada uno de los tres equipos que lo necesitan.

También se estimó el espesor de aislamiento térmico necesario para disminuir las pérdidas energéticas en las tuberías de transporte de vapor. Los resultados determinaron que un buen espesor de aislamiento sería de dos pulgadas, este espesor se escogió de acuerdo a dos criterios: la temperatura en la superficie es segura y la disminución de la cantidad de condensados pues la carga de condensados es proporcional a la pérdida de energía del vapor. La falta de aislamiento conlleva a pérdidas tanto económicas como energéticas en el proceso de producción de cerveza.

¹ Trabajo de grado

² Facultad de Ingenierías Físico-Químicas. Escuela de Ingeniería Química. Director: Dr. Viviana Sánchez Torres. Ing. Gustavo Patiño Salas.
Universidad Industrial de Santander

ABSTRACT

TITLE: CALCULATE OF ENERGY REQUERIMENTS AND ENERGY LOSSES IN THE PRODUCTION PROCECESS OF THE DONATO BEER IN INDUSTRIA DE LICORES DE BOYACÁ S.A – C.I¹

AUTHOR: NADIA ALEXANDRA TOPIA USCATEGUI²

KEYWORDS: Pirotubular fire-tube boiler, mash cooker, heat losses, energy requirements, condensate load.

CONTENT:

In this work were estimated energy requirements and energy losses on equipment that require energy in the form of heat which are water heater, the pot of maceration and the cooker of the brewery Donato of the liquor industry of Boyacá must. Required by these teams steam is generated in a boiler fire and is transported in non-insulated copper plumbing.

An energy balance arose assuming a steady state for the water heater, the pot of maceration and the cooker of the must analyze the transfer of heat from the steam of heat, internal energy transferred by the change in temperature of the fluid contained in each of these units and generated losses to the environment. Experimental data flows, temperatures and cooking times were collected in the days of production. The results obtained in terms of heat equipment losses are approximately 50% corresponding to the losses to the environment through the walls of the equipment and these losses joined those of the pipes carrying steam to each of the three teams that need it.

The thickness of thermal insulation to reduce energy losses in transport of steam pipes was also estimated. The results determined would be a good insulation thickness of two inches, this thickness was chosen according to two criteria: the temperature on the surface is safe and the decrease in the amount of condensate as condensate load is proportional to the loss of the steam power. The lack of isolation leads to both economic and energy losses in the process of beer production.

¹ Degree project

² Faculty of Physical Chemical Engineerings. School of Chemical Engineering.
Directors: PhD. Viviana Sanchez Torres. Ing. Gustavo Patiño Salas
Industrial University of Santander

INTRODUCCION

1.1 INDUSTRIA DE LICORES DE BOYACÁ

En 1924 se fundó la fábrica de licores de Boyacá como dependencia de la Secretaria de Hacienda, la cual operó con instalaciones propias en Tunja. En 2003 mediante concesión nació una nueva empresa llamada INDUSTRIA DE LICORES DE BOYACÁ S.A. – C.I, cuyos productos más representativos son Aguardiente Líder Tradicional, Aguardiente Líder sin Azúcar, Aguardiente Ónix, Ron Boyacá Añejo 3, 5 y 12 años, Brandy Lanceros y Vino San Fermín. En el 2010 comenzó la producción de cerveza Donato en las instalaciones de la empresa. [1]

1.2 CERVECERÍA DONATO

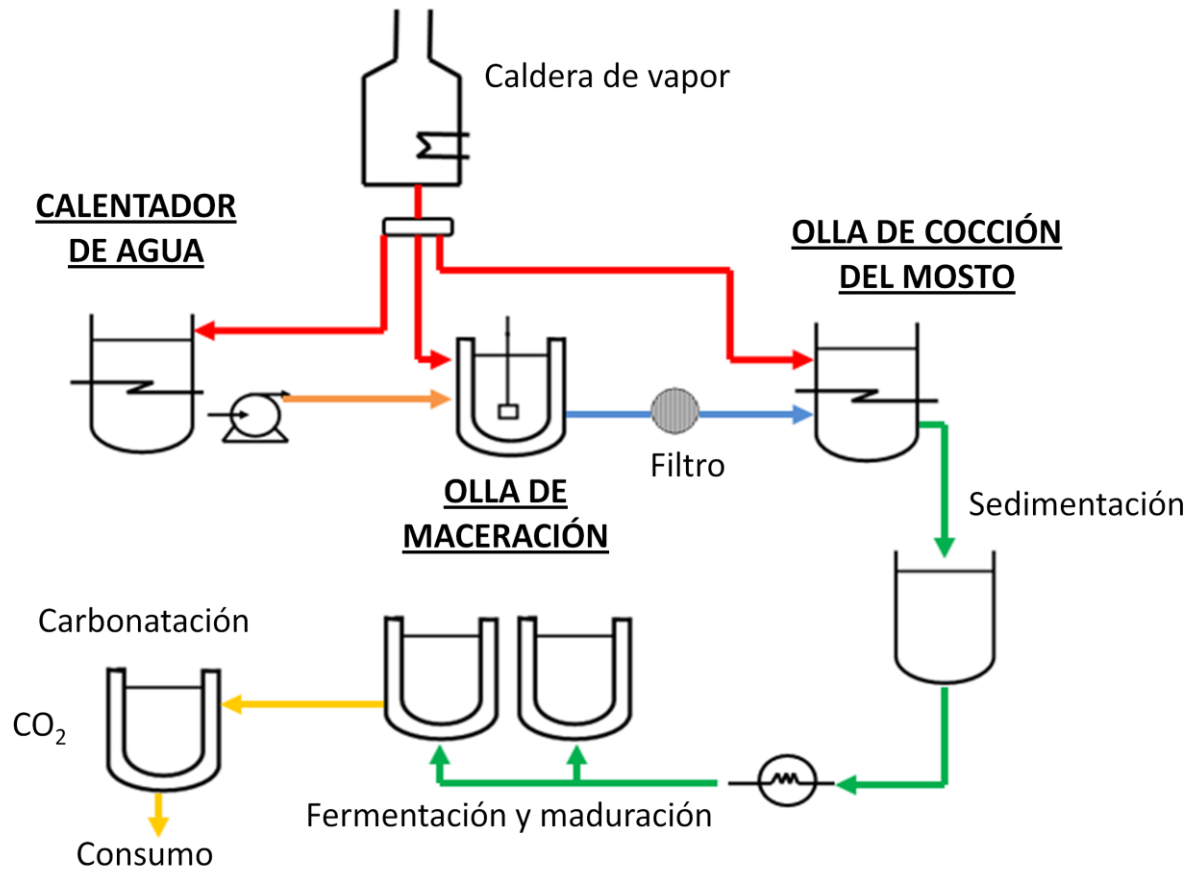
Donato es la cerveza artesanal de la Industria de Licores de Boyacá S.A.- C.I. una cerveza Lager tipo Pilsen, con contenido de alcohol de 4.5% en volumen, producida 100% en la región boyacense. Para los Tunjanos, el nombre Donato les remite a uno de los sitios turísticos por excelencia en su ciudad, el Pozo de Donato, nombrado así por el capitán español Saturniano Donato de Rojas. La capacidad aproximada de producción es de 60000 litros anuales. [2] El proceso de producción en la cervecería Donato está esquematizado en la Figura 1.

1.3 FUNCIONES ASIGNADAS EN LA EMPRESA

- Cálculo de requerimientos y pérdidas energéticas en la producción de cerveza Donato.
- Trabajo en el laboratorio realizando pruebas de control de calidad a licores (acidez y toma de grado alcoholimétrico) y aguas para proceso (cantidad de cloro, fosfatos, carbonatos, bicarbonatos, nitratos, sílice).

- Manejo de pruebas fisicoquímicas como toma de grado alcohólico, ácidos y pruebas organolépticas a trago adulterado.

Figura 1. Proceso de producción de cerveza DONATO



Fuente: Autora

— Vapor. El aislamiento para esta tubería es analizado en este trabajo.

— Agua caliente

— Producto de maceración de la malta + agua

— Mosto

— Cerveza

El nombre de los equipos analizados en este proyecto se encuentra en negrilla y subrayado.

1.4 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La cervecería Donato de la Industria de Licores de Boyacá no cuenta con el respectivo aislamiento de los equipos que requieren vapor para sus procesos como son el calentador de agua, la olla de maceración y la olla de cocción del mosto, y de las tuberías que transportan el vapor desde la caldera hasta cada uno de estos equipos.

Por este motivo se analizará la transferencia de calor que se presenta en estos equipos y las tuberías. Se realizaron mediciones experimentales de temperatura, flujos y tiempos de cocción en los días de producción necesarios para la estimación de las pérdidas de energía. En el calentador de agua y la olla de maceración el vapor pasa por un serpentín de calentamiento ubicado dentro de estos, y en la olla de maceración el vapor pasa por medio de una chaqueta de calentamiento, se calculara el calor suministrado por este vapor en cada uno de estos equipos y el calor del fluido que es la energía interna transferida durante el cambio de temperatura de cada uno de estos. No todo el calor suministrado por el vapor va a ser consumido en totalidad por el fluido, generando perdidas al ambiente. Para las tuberías que conducen el vapor se estimara el espesor de aislamiento adecuado para conservar la energía mediante la reducción de la velocidad del flujo de calor y la carga de condensados.

Estas pérdidas corresponden al calor perdido en las tuberías que conducen el vapor desde la caldera hasta los equipos y las pérdidas al ambiente por las paredes de los equipos. La falta de este aislamiento conlleva a pérdidas tanto económicas como energéticas en el proceso de producción de cerveza.

1.5 OBJETIVOS

Objetivo general

Calcular los requerimientos y pérdidas de energía en el proceso de producción de cerveza Donato en la Industria de Licores de Boyacá S.A – C.I.

Objetivos específicos

1. Hallar el calor suministrado por el vapor en el calentador de agua, la olla de maceración y la olla de cocción del mosto.
2. Determinar las pérdidas de energía (calor) en el calentador de agua, la olla de maceración y la olla de cocción del mosto.
3. Calcular el espesor de aislamiento a utilizar en las tuberías que transportan el vapor.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 PROCESO DE PRODUCCIÓN DE LA CERVEZA

Los elementos indispensables para la elaboración de la cerveza son la cebada, el lúpulo y agua. El proceso se inicia con la limpieza de los granos de malta, que es la cebada germinada y tostada. En la sala de cocimiento se obtiene un mosto lupulado y hervido, mediante la acción de tres ollas que la componen: olla de crudos y de mezcla, olla de filtración y de cocción del mosto. El mosto lupulado y hervido pasa a un tanque de sedimentación donde se separan las sustancias insolubles que se forman en la cocción. Se somete luego a temperaturas de 7°C a 9°C y mediante la acción de la levadura se inicia la fermentación, que es el proceso mediante el cual se transforman los azúcares en alcohol y gas carbónico. Pasa luego a los tanques de maduración y bajo una temperatura de 0°C se

mantiene por más o menos 12 días para mejorar el sabor del producto. Pasa posteriormente por los tanques de filtración para eliminar partículas que puedan producir turbiedad. Luego, la cerveza es envasada en barriles para su distribución.

2.2 TRANSFERENCIA DE CALOR

La transferencia de calor se produce normalmente desde un objeto con alta temperatura, a otro objeto con temperatura más baja. La transferencia de calor cambia la energía interna de ambos sistemas implicados, de acuerdo con la primera ley de la Termodinámica, y también implica el efecto de calor sensible (es aquel que recibe un cuerpo o un objeto y hace que aumente su temperatura sin afectar su estructura molecular y por lo tanto su estado).

$$Q = mC_p\Delta T \quad (J) \quad [3]$$

Donde:

Q = cantidad total de calor transferido (J)

m = masa del sistema (kg)

C_p = calor específico (J/kg K)

ΔT = cambio de temperatura del sistema (K)

2.2.1 Mecanismos de transferencia de calor

2.2.1.1 Conducción. Es transferencia de calor que se produce a través de un medio estacionario -que puede ser un sólido- cuando existe una diferencia de temperatura.

2.2.1.2 Convección. Es la transferencia de calor que ocurrirá entre una superficie y un fluido en movimiento cuando están a diferente temperatura.

2.2.1.3 Radiación. Es la transferencia de calor emitida por la materia en forma de ondas electromagnéticas (o fotones).

2.2.2 Tasa de transferencia de calor por unidad de longitud

$$q'' = \frac{A U}{L} (T_1 - T_2) \quad [4]$$

Donde:

A = área de la superficie externa de la tubería aislada (m²)

U = coeficiente global de transferencia de calor referido al área exterior (W/m² °C)

L = longitud de la tubería de conducción de vapor (m)

T₁ = temperatura del vapor (°C)

T₂ = temperatura del ambiente (°C)

2.3 VAPOR COMO MEDIO DE CALENTAMIENTO

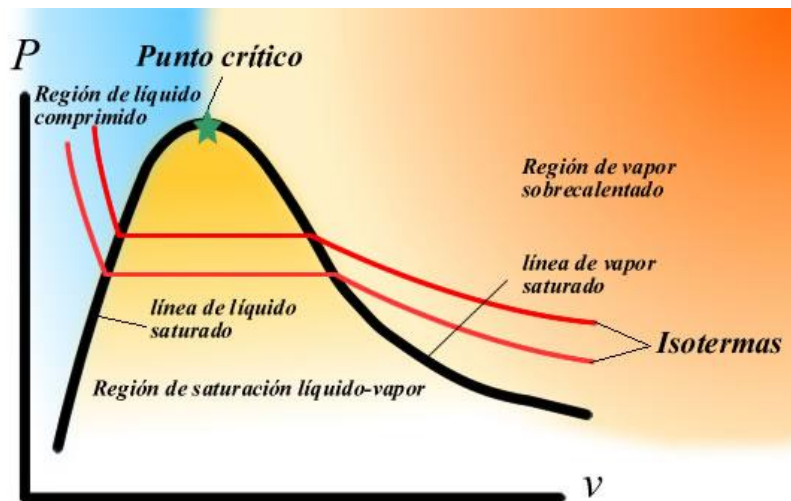
Cuando el vapor se considera desde el punto de vista de ser un medio de transferencia de calor, el vapor tiene propiedades superiores que no ofrecen otros medios de calor. Las más destacadas son:

- Proporciona calentamiento uniforme
- Proporciona calentamiento rápido

En situaciones reales de calentamiento, el proceso de transferencia de calor al producto que está siendo calentado, será una combinación del mecanismo de transferencia de calor en el interior de las paredes del intercambiador de calor y el mecanismo de transferencia de calor en su superficie de transferencia. El condensado es un subproducto de la transferencia de calor en un sistema de vapor.[5]

2.3.1 Mezcla líquido vapor. En el proceso de evaporación de una sustancia, existe una parte líquida y otra de vapor. Esto es, una mezcla saturada que puede tratarse como una combinación de dos subsistemas: el líquido saturado y el vapor saturado, estos dos subsistemas se pueden observar en la figura 2. Sin embargo, la cantidad de masa en cada fase suele desconocerse. En consecuencia, es conveniente imaginar que las dos fases están muy bien mezcladas y forman una mezcla homogénea.

Figura 2. Diagrama PV



Fuente: <http://termoweb.unlugar.com/propiedades.html>

Durante el proceso de vaporización sólo cambia la cantidad de líquido saturado, no sus propiedades, lo mismo sucede con el vapor saturado. Las cantidades relativas de la fase líquida y de vapor en una mezcla saturada se especifican mediante la calidad x .

La calidad es una propiedad necesaria para describir un estado, esta se define como la razón entre la masa de vapor y la masa total de la mezcla.

$$X = \frac{m_{\text{vapor}}}{m_{\text{total}}} \quad m_{\text{total}} = m_{\text{liq}} + m_{\text{vapor}}$$

La calidad de un sistema compuesto por líquido saturado es 0 (0%) y la calidad de un sistema compuesto por vapor saturado es 1 (1%).

2.4 COEFICIENTE GLOBAL DE TRANSFERENCIA DE CALOR PARA TUBERÍAS

Es un término que relaciona las propiedades termodinámicas de un fluido con las resistencias que existen al flujo de calor en un intercambiador de calor o en una tubería. [6]

$$U = \frac{1}{\sum R_T} \left(\frac{W}{m^2K} \right)$$

Donde:

U = coeficiente global de transferencia de calor (W/m²K)

R_T = Resistencia térmica (m²K/W).

2.5 COEFICIENTE DE CONVECCIÓN PARA FLUJO INTERNO EN TUBERÍAS

El Número de Nusselt (Nu) es un número adimensional que mide el aumento de la transmisión de calor desde una superficie por la que un fluido discurre (transferencia de calor por convección) comparada con la transferencia de calor si ésta ocurriera solamente por conducción. Por medio de este número y utilizando la correlación adecuada dependiendo del tipo de flujo se calcula el coeficiente de convección para flujo interno en tuberías. [7]

$$Nu = \frac{hD_{\text{interno}}}{K}$$

Donde:

Nu = número de Nusselt

h = coeficiente de convección forzada (W/m^2K)

K = conductividad térmica ($W/m K$)

D_{interno} = diámetro interno de la tubería (m)

2.6 AISLAMIENTO TÉRMICO

Los aislamientos térmicos son materiales o combinaciones de estos que se usan para suministrar resistencia al flujo de calor. La fuerza impulsora para el flujo de calor es la diferencia de temperatura y entre más grande sea, mayor será la velocidad de transferencia de calor. Los aislamientos térmicos actúan como barreras que retardan el flujo de calor entre dos medios a diferente temperatura. [8]

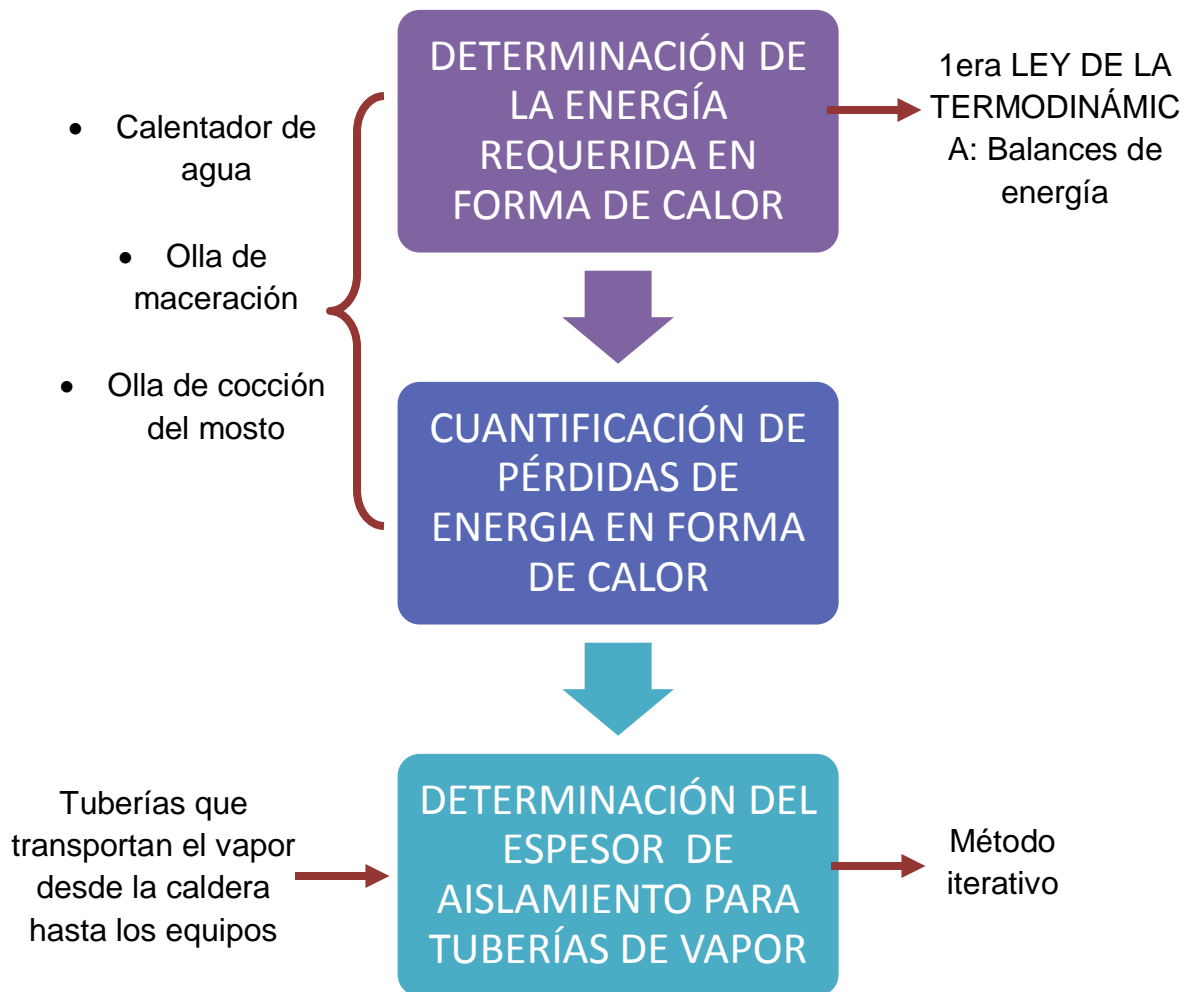
2.6.1 Razones para aislar

- Conservación de la energía: Conservar la energía mediante la reducción de la velocidad del flujo de calor es la razón principal de las superficies aisladoras.
- Protección y comodidad personales: Una superficie que está demasiado caliente representa un peligro para las personas que trabajan en esa zona, ya que pueden tocarla accidentalmente y sufrir quemaduras.
- Mantenimiento de la temperatura del proceso: En la industria química algunos procesos son sensibles a la temperatura y es necesario aislar los tanques en los que se llevan a cabo, así como las tuberías de flujo, con el fin de mantener la misma temperatura en toda su extensión.
- Prevención de la corrosión y la condensación.

3. METODOLOGÍA

A continuación se muestra un diagrama de los pasos que se siguieron para desarrollar el proyecto y cumplir con los objetivos.

Figura 3. Diagrama de la metodología seguida



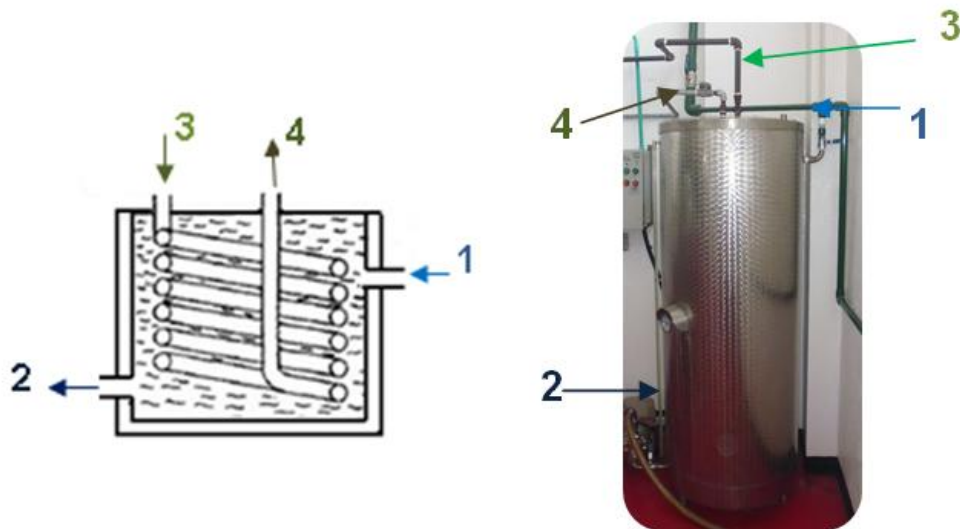
Fuente: Autora

3.1 DATOS Y VARIABLES DE LOS TRES EQUIPOS ANALIZADOS

Las propiedades termodinámicas del vapor que entra a los equipos fueron calculadas según las condiciones a la salida de la caldera ya que en la empresa no era posible realizar mediciones de presión y temperatura del vapor a la entrada de los equipos.

3.1.1 Calentador de agua. El calentamiento del agua de una temperatura de 14 °C a 80 °C se hace por medio del vapor que pasa por un serpentín de calentamiento ubicado dentro de este como se indica en la figura 4. En la tabla 1 se encuentran las especificaciones del equipo y las condiciones de operación.

Figura 4. Calentador de agua



Fuente: Autora

1. Entrada de agua fría
2. Salida de agua caliente para la olla de maceración
3. Entrada de vapor proveniente de la caldera
4. Salida de vapor (condensado)

Tabla 1. Condiciones de operación y propiedades de los fluidos en el calentador de agua

TANQUE: agua	SERPENTIN: vapor saturado
Tiempo de calentamiento= 60 min Temperatura ambiente = 14°C Temperatura inicial del agua = 14°C Temperatura final del agua = 80°C $\rho_{\text{agua}} = 999,22 \text{ kg/m}^3$ $C_{p_{\text{agua}}} = 4,187 \text{ KJ/kg}^\circ\text{C}$ Volumen= 330 L	Diámetro tubería = 0,0127 m Área transv. al flujo = $1,267 \times 10^{-4} \text{ m}^2$ Velocidad del vapor = 45 m/s $\rho_{\text{vapor}} = 3,77 \text{ kg/m}^3$ Temperatura de entrada= 166 °C Presión entrada= 721,8 kPa $h_{\text{entrada}} = 2764,66 \text{ kJ/kg}$ Temperatura de salida= 70°C Presión salida= 101,325 kPa $h_{\text{salida}} = 293,03 \text{ kJ/kg}$

Fuente: Autora

3.1.2 Olla de maceración. En esta olla se agrega agua y la malta la cual es homogenizada por un agitador mecánico de 4 palas planas, y cuenta con una chaqueta por la que fluye el vapor, como se indica en la figura 5 y los datos necesarios se encuentran en la tabla 2.

Figura 5. Olla de maceración



Fuente: Autora

1. Entrada de agua caliente proveniente del calentador de agua
2. Salida de la mezcla agua+malta a una olla filtro
3. Entrada de vapor proveniente de la caldera
4. Salida de vapor (condensados)

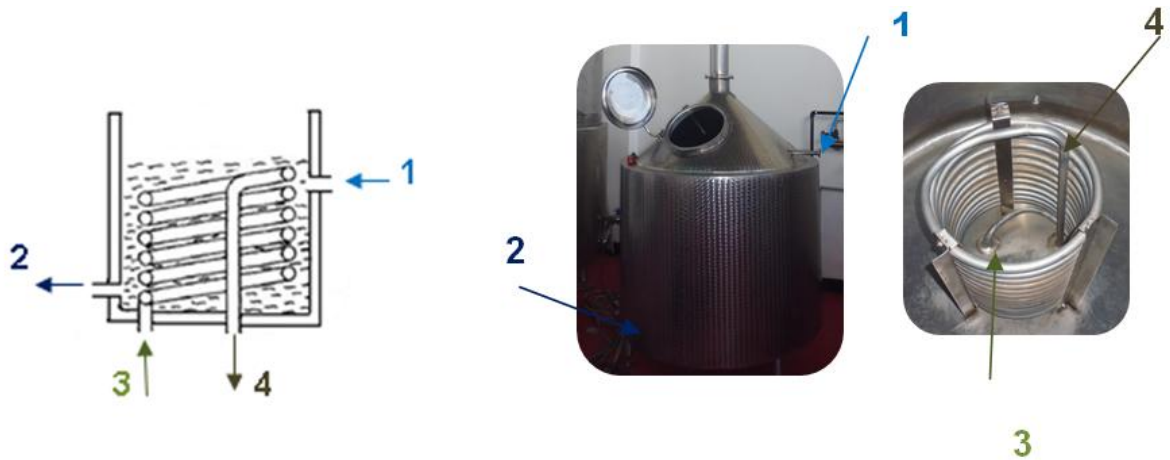
Tabla 2. Condiciones de operación y propiedades de los fluidos en la olla de maceración

TANQUE: agua + malta	CHAQUETA: vapor saturado
Tiempo cocción= 20 min Temperatura ambiente = 14°C	Diámetro tubería = 0,0127 m Área transv. al flujo = $1,26 \times 10^{-4} \text{ m}^2$
Temperatura inicial agua+malta = 58°C Temperatura final agua+malta = 78°C	Velocidad del vapor = 45 m/s $\rho_{\text{vapor}} = 3,77 \text{ kg/m}^3$ Temperatura de entrada= 166 °C
$\rho_{\text{agua+malta}} = 1082 \text{ kg/L}$ [8] $C_{p_{\text{agua+malta}}} = 3956,526 \text{ J/kg}^\circ\text{C}$ Volumen= 390 L	Presión entrada= 721,8 kPa $h_{\text{entrada}} = 2764,66 \text{ kJ/kg}$ Temperatura de salida= 68°C Presión salida= 101,325 kPa $h_{\text{salida}} = 284,65 \text{ kJ/kg}$

Fuente: Autora

3.1.3 Olla de cocción del mosto. El producto de la olla de maceración pasa por una olla filtro, de ahí pasa a la olla de cocción del mosto donde se le añaden los aditivos (sales), la temperatura de ebullición del mosto es de 93°C. El calentamiento se hace por medio de un serpentín ubicado dentro de la olla por el cual pasa el vapor, como se indica en la figura 6 y los datos necesarios se encuentran en la tabla 3.

Figura 6. Olla de cocción del mosto



Fuente: Autora

1. Entrada de la mezcla filtrada de agua+malta (mosto)
2. Salida del mosto a otra olla filtro
3. Entrada de vapor proveniente de la caldera
4. Salida de vapor (condensados)

Tabla 3. Condiciones de operación y propiedades de los fluidos en la olla de cocción del mosto

TANQUE: mosto	SERPENTÍN: vapor saturado
Tiempo cocción= 45 min Temperatura ambiente = 14°C Temperatura inicial del mosto = 78°C Temperatura final del mosto = 93°C $\rho_{\text{mosto}} = 1042 \text{ kg/L}$ [8] $C_{p_{\text{mosto}}} = 3956,526 \text{ J/kg}^\circ\text{C}$ Volumen= 810 L	Diámetro tubería = 0,0127 m Área transv. al flujo = $1,267 \times 10^{-4} \text{ m}^2$ Velocidad = 45 m/s $\rho_{\text{vapor}} = 3,77 \text{ kg/m}^3$ Temperatura de entrada= 166 °C Presión entrada= 721,8 kPa $h_{\text{entrada}} = 2764,66 \text{ kJ/kg}$ Temperatura de salida= 81°C Presión salida= 101,325 kPa $h_{\text{salida}} = 339,16 \text{ kJ/kg}$

Fuente: Autora

3.2 CALOR SUMINISTRADO POR EL VAPOR

Para el cálculo del calor suministrado por el vapor con el que está operando el calentador de agua, la olla de maceración y la olla de cocción del mosto lo primero que se tiene que hacer es hallar el caudal con la velocidad del vapor y el área transversal de la tubería que conduce el vapor:

$$\text{Caudal} = (\text{velocidad de vapor})(\text{área de la tubería transversal al flujo}) \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \quad \text{Ec. 1}$$

Con el resultado del caudal se determina el flujo másico de vapor (\dot{m}) multiplicándolo por la densidad del vapor hallada en tablas:

$$\text{flujo másico} = (\text{caudal})(\text{densidad del vapor}) \frac{\text{kg}}{\text{s}} \quad \text{Ec. 2}$$

El valor del flujo másico de vapor (balance de masa) es el mismo para el calentador de agua, la olla de maceración y la olla de cocción del mosto porque la velocidad del vapor es la misma para estos tres equipos y las tuberías de entrada y salida de los equipos son del mismo diámetro.

El calor suministrado por el vapor se calcula con el balance de energía, teniendo en cuenta que el vapor sale de los equipos como líquido comprimido.

$$\dot{Q}_{\text{suministrado}} = \dot{m}_{\text{vapor}} h_{\text{vapor entrada}} - \dot{m}_{\text{condensado}} h_{\text{condensado salida}} \left(\frac{\text{kJ}}{\text{s}} \right) \quad \text{Ec.}$$

3.3 CALOR TRANSFERIDO DURANTE EL PROCESO

Esta es la energía interna transferida durante el cambio de temperatura que ocurre dentro del calentador de agua, la olla de maceración y la olla de cocción del mosto.

Teniendo el valor de la densidad del agua para el calentador, del agua + malta para la olla de maceración y del mosto para la olla de cocción de este y el respectivo volumen de líquido de cada uno de estos, se halló la masa de líquido en cada uno de los equipos. La energía recibida por el fluido de proceso en cada equipo se calculó con la ecuación 4.

$$Q_{\text{fluido}} = m_{\text{fluido de proceso}} C_p \Delta T \quad (J) \quad \text{Ec. 4}$$

Para calcular el flujo de calor se utilizó la ecuación 5.

$$\dot{Q}_{\text{fluido}} = \frac{Q_{\text{fluido}}}{t_{\text{tiempo de cocción}}} \quad (W) \quad \text{Ec. 5}$$

3.4 PÉRDIDAS DE CALOR

El calor suministrado por el vapor no es recibido en su totalidad por el fluido de proceso. El total de pérdidas de calor cedido al ambiente en cada equipo se calculó con la ecuación 6.

$$\dot{Q}_{\text{suministrado por el vapor}} - \dot{Q}_{\text{fluido}} = \text{pérdidas al ambiente} \quad \text{Ec. 6}$$

3.5 AISLAMIENTO DE TUBERIAS DE VAPOR

Las tuberías de vapor que transportan el vapor producido en la caldera hasta los equipos se encuentran sin aislamiento. Como material de aislamiento se escogió la fibra de vidrio pues es un material económico y presenta buenas propiedades aislantes (son buenos aislantes térmicos debido a su alto índice de área superficial en relación al peso, es altamente recomendada como un material seguro y protector, y presenta una buena protección durable para maquinaria de planta en áreas altamente térmicas). Para realizar los cálculos necesarios para la estimación de un espesor de aislamiento adecuado para disminuir las pérdidas de energía en la línea de vapor, se utilizaron las dimensiones y propiedades termodinámicas mencionadas en la tabla 4.

Tabla 4. . Condiciones de operación y propiedades de los fluidos en las tuberías de vapor

VAPOR (adentro)	AIRE (afuera)
Temperatura = 166 °C Presión = 721,8 kPa Velocidad= 20 m/s Diámetro exterior tubería= 0,01905 m Diámetro interior tubería= 0,0174 m Propiedades del vapor: [8] $Pr = (\mu \cdot C_p) / K_{\text{vapor}} = 1,09$ $K_{\text{vapor}} = 0,0341 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ $\rho_{\text{vapor}} = 3,77 \text{ kg/m}^3$ $\mu = 1,455 \times 10^{-5} \text{ kg/ms}$ Calor latente (H) = 2068,8 kJ/kg $K_{\text{tubo cobre}} = 393 \text{ W/mK}$ $K_{\text{aislamiento}} = 0,038 \text{ W/mK}$	Propiedades del aire: [8] $\rho_{\text{aire}} = 1,155 \text{ kg/m}^3$ $\mu = 1,88 \times 10^{-5} \text{ kg/ms}$ $K_{\text{aire}} = 0,0260 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ $Pr = 0,7275$ $\beta = 3,27 \times 10^{-3} \text{ K}^{-1}$

Fuente: Autora

Para saber el espesor adecuado de aislamiento en estas tuberías es necesario conocer sus pérdidas de calor por conducción, convección y radiación al ambiente, y su carga de condensado. La formación de este condensado depende del espesor de aislamiento utilizado. Las tuberías de conducción de vapor son de cobre y para un cálculo preliminar se escoge un aislamiento a base de fibra de vidrio. Para este cálculo se desprecian las pérdidas de calor por radiación ya que la emisividad del material es muy baja ($\epsilon = 0,015$) y la temperatura superficial en el aislamiento no es grande comparada con la temperatura de los alrededores, y estos factores afectan el valor del coeficiente de transferencia de calor por radiación.

La transferencia de calor por unidad de longitud que se presenta es la misma para las tuberías que transportan el vapor a cada uno de los equipos. Se calcula el número de Reynolds para conocer el tipo de flujo con la siguiente ecuación:

$$Re = \frac{\rho_{\text{vapor}} * \text{Velocidad}_{\text{vapor}} * D_{\text{interno de la tubería}}}{\mu_{\text{vapor}}} \quad \text{Ec. 7}$$

Posteriormente se utiliza la correlación adecuada para hallar el número de Nusselt y con este calcular el coeficiente de convección forzada que ocurre dentro de la tubería entre el flujo de vapor y la pared de esta: [7]

$$Nu = 0,023 Re^{0,8} Pr^n \quad \text{Ec. 8}$$

Flujo turbulento

$$Nu = \frac{hD_{\text{int}}}{K_{\text{vapor}}} = 4,364 \quad \text{Ec. 9}$$

Flujo laminar

Después se supone un coeficiente de convección natural entre la superficie de aislamiento y el aire ambiente, para un cálculo preliminar se escogió un espesor de aislamiento de 2 pulgadas.

Teniendo estos datos se determina el coeficiente global de transferencia de calor respecto al área externa de la tubería aislada (ecuación 10). En esta ecuación están incluidas cada una de las resistencias térmicas que se presentan en la tubería:

$$U_4 = \frac{1}{\sum R_T}$$

$$= \frac{1}{\frac{r_4}{h_{1-2} * r_2} + r_4 * \frac{\ln\left(\frac{r_3}{r_2}\right)}{K_{\text{tubo}}} + r_4 * \frac{\ln\left(\frac{r_4}{r_3}\right)}{K_{\text{aislamiento}}} + \frac{1}{h_{4-5}} + R''_f} \left(\frac{W}{m^2K}\right) \quad \text{Ec. 10}$$

↑ Resistencia térmica convección
↑ Resistencia térmica conducción
↑ Resistencia térmica conducción
↑ Resistencia térmica convección

Donde:

U_4 = coeficiente global de transferencia de calor (W/m^2K)

r_4 = radio de la superficie del aislamiento de la tubería (m)

r_3 = radio externo de la tubería (m)

r_2 = radio nominal de la tubería (m)

h_{1-2} = coeficiente de convección forzada dentro de la tubería (W/m^2K)

h_{4-5} = coeficiente de convección natural entre la superficie del aislamiento y el aire ambiente (W/m^2K)

R''_f = factor de impureza del vapor (m^2K/W)

K_{tubo} = conductividad térmica de la tubería (W/mK)

$K_{\text{aislamiento}}$ = conductividad térmica del material de aislamiento (W/mK)

Con el valor de U_4 se calcula la temperatura en la superficie del aislamiento:

$$T_4 = \frac{U_4 (T_1 - T_5)}{h_{4-5}} + T_5 \quad \text{Ec. 11}$$

Siendo T_1 la temperatura del vapor y T_5 la temperatura del aire ambiente.

Teniendo ya estos valores se recalcula el coeficiente de convección natural supuesto anteriormente, determinando las propiedades del aire con la temperatura de película (T_f) y con esta determinar el coeficiente de expansión volumétrica (β):

$$T_f = \frac{T_4 + T_5}{2} \quad \text{Ec. 12} \quad \beta = \frac{1}{T_f} \quad \text{Ec. 13}$$

Conociendo las propiedades del aire y el valor de β se calcula el número de Grashof, el cual juega el mismo papel en la convección libre que el número de Reynolds en la convección forzada:

$$Gr = \frac{g * D_{\text{externo}}^3 * \rho_{\text{aire}}^2 * \beta * \Delta T}{\mu_{\text{aire}}^2} \quad \text{Ec. 14}$$

Ahora determinamos el número de Nusselt para con este recalcar el valor del coeficiente de convección natural:

$$Nu = 0,525(Gr * Pr)^{0,25} \quad \text{Ec. 15}$$

Teniendo este nuevo dato se procede a determinar los valores reales del coeficiente global (U_4) y la temperatura de la superficie (T_4), y hallar la transferencia de calor por unidad de longitud existente:

$$q'' = \frac{A_4 U_4}{L} (T_1 - T_5) \quad \text{Ec. 16}$$

donde A_4 es el área de la superficie exterior de la tubería aislada.

Se realizan distintas iteraciones calculando diferentes valores para el coeficiente de convección natural entre la superficie aislada y el aire ambiente hasta que el

valor que se supuso anteriormente coincida con el calculado, en estas iteraciones se deben recalculan los valores del coeficiente global ya que este depende del coeficiente de convección natural, y también del valor de la temperatura de la superficie (T_4). Para escoger el espesor adecuado de aislamiento se grafican los datos resultantes al hallar la carga de condensado con respecto a distintos espesores de aislamiento.

$$C = \frac{A_4 * U_4 * (T_1 - T_5) * E}{H} \quad \text{Ec. 17}$$

donde E es la eficiencia del aislamiento térmico ($1 - 0,75 = 0,25$) y H es el calor latente del vapor.

4. RESULTADOS

4.1 CALOR SUMINISTRADO POR EL VAPOR

El caudal de vapor se calculó con la ecuación 1, el flujo másico con la ecuación 2 y el calor suministrado por el vapor en cada equipo se calculó con la ecuación 3. El flujo másico de vapor para el calentador de agua, la olla de maceración y la olla de cocción del mosto es el mismo ya que el vapor llega con la misma velocidad y las tuberías tienen el mismo diámetro. Los resultados se muestran en la tabla 5.

Tabla 5. Resultados del calor suministrado por el vapor

CALENTADOR DE AGUA	OLLA DE MACERACIÓN	OLLA DE COCCIÓN DEL MOSTO
$\text{Caudal} = 5,70 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ $\dot{m}_{\text{vapor}} = 0,021\text{kg/s}$ $\dot{Q}_{\text{suministrado por el vapor}}$ 53126,8 W	$\text{Caudal} = 5,70 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ $\dot{m}_{\text{vapor}} = 0,021\text{kg/s}$ $\dot{Q}_{\text{suministrado por el vapor}}$ 53306,9 W	$\text{Caudal} = 5,70 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ $\dot{m}_{\text{vapor}} = 0,021\text{kg/s}$ $\dot{Q}_{\text{suministrado por el vapor}}$ 52135,3 W

Fuente: Autora

El valor del calor suministrado es cedido por el vapor al fluido contenido en el calentador de agua, la olla de maceración y la olla de cocción del mosto.

4.2 CALOR TRANSFERIDO DURANTE EL PROCESO

Con la ecuación 4 se calculó la energía proveniente del vapor que fue recibida por el fluido contenido en el calentador de agua, la olla de maceración y la olla de cocción del mosto. Posteriormente con la ecuación 5 se calculó el flujo de calor recibido por el fluido de proceso en cada equipo (tabla 6).

Tabla 6. Resultados del calor recibido por el fluido de proceso en cada equipo.

CALENTADOR DE AGUA	OLLA DE MACERACION	OLLA DE COCIÓN DEL MOSTO
$m_{\text{agua}} = 329,74 \text{ kg}$ $Q_{\text{fluido}} = 9,097 \times 10^7 \text{ J}$ $\dot{Q}_{\text{fluido}} = 25269,3 \text{ W}$	$m_{\text{agua+malta}} = 421,98 \text{ kg}$ $Q_{\text{fluido}} = 3,339 \times 10^7 \text{ J}$ $\dot{Q}_{\text{fluido}} = 27822,5 \text{ W}$	$m_{\text{mosto}} = 844,02 \text{ kg}$ $Q_{\text{fluido}} = 5,008 \times 10^7 \text{ J}$ $\dot{Q}_{\text{fluido}} = 18549,7 \text{ W}$

Fuente: Autora

4.3 PÉRDIDAS DE CALOR

Las pérdidas de calor en el calentador de agua, la olla de maceración y la olla de cocción del mosto se calcularon con la ecuación de balance de energía, ecuación 6.

- Calentador de agua

$$53126,8 \text{ W} - 25269,3 \text{ W} = \mathbf{27857,5 \text{ W}}$$

- Olla de maceración

$$53306,9 \text{ W} - 27822,5 \text{ W} = \mathbf{25484,4 \text{ W}}$$

- Olla de cocción del mosto

$$52135,3 \text{ W} - 18549,7 \text{ W} = \mathbf{33585,6 \text{ W}}$$

En el calentador de agua se perdió el 52,4%, la olla de maceración 47,8% y la olla de cocción del mosto 64,42% del calor suministrado por el vapor. Estas pérdidas corresponden al calor perdido en las tuberías que conducen el vapor desde la caldera hasta los equipos y las pérdidas al ambiente por las paredes de los equipos. Estas pérdidas son significativas ya que se está perdiendo el 50% del calor suministrado por el vapor a cada uno de estos equipos por lo que es recomendable utilizar aislamiento en las tuberías de vapor y los equipos.

4.4 AISLAMIENTO DE TUBERIAS DE VAPOR

Para espesores de aislamiento de 0 a 4 pulgadas, se calculó el área externa, el coeficiente global de transferencia de calor relativo al área externa U_4 , la temperatura externa del aislamiento, el coeficiente convectivo de transferencia de calor desde la pared del aislamiento al aire del ambiente, el flujo de calor y la carga de condensados. El proceso de cálculo es iterativo. A continuación se

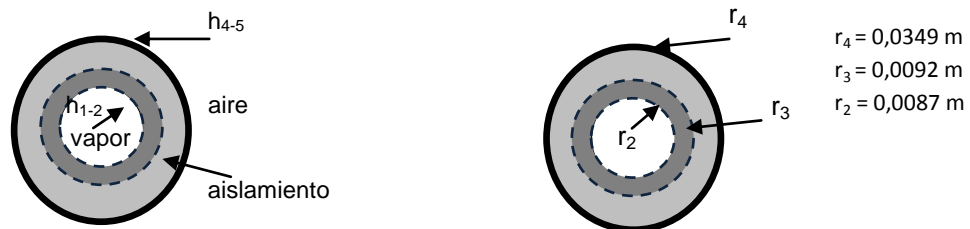
muestran los cálculos únicamente para un espesor de dos pulgadas, este proceso se realizó para cada uno de los espesores de aislamiento evaluados.

Calculo del número de Reynolds con la Ec.7: $Re = 98719,58763$.Como el flujo es turbulento dentro del ducto se utiliza la Ec. 8 para hallar el número de Nusselt y calcular el coeficiente de convección forzada:

$$h_{1-2} = \frac{Nu * K_{vapor}}{D_{interno}} = 457,8 \text{ W/m}^2\text{°C}$$

Se supone un coeficiente de convección natural entre la superficie del aislamiento y el aire ambiente de $h_{4-5} = 2,6 \text{ W/m}^2\text{°C}$ y un espesor de aislamiento de 2 pulgadas para determinar la temperatura superficial.

Figura 7. Tubería de vapor con aislamiento



Fuente: Autora

Se calculó el coeficiente global con la Ec. 10 y la temperatura en la superficie del aislamiento con Ec. 11:

$$U_4 = 0,63 \text{ W/m}^2\text{°C} \quad T_4 = 50,82 \text{ °C}$$

Para conocer las propiedades del aire se calcula la temperatura media de película Ec. 12, el valor de β Ec. 13 para calcular el número de Grashof con la Ec. 14 y el número de Nusselt Ec. 15 para luego recalculer el coeficiente de convección natural de la superficie de aislamiento y el aire ambiente:

$$T_f = 32,41 \text{ }^\circ\text{C} \quad \beta = 3,27 \times 10^{-3} \text{ K}^{-1}$$

$$\text{Gr} = 15410,04 \quad \text{Nu} = 5,40$$

Se recalcula h_{4-5} :

$$h_{4-5} = \frac{\text{Nu} * K_{\text{aire}}}{D_{\text{externo}}} = 7,37 \text{ W/m}^2\text{ }^\circ\text{C}$$

Y de nuevo con la Ec. 10 y Ec. 11 respectivamente se recalculó el coeficiente global y la temperatura de la superficie de aislamiento.

$$U_4 = 0,75 \text{ W/m}^2\text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_4 = 29,40 \text{ }^\circ\text{C}$$

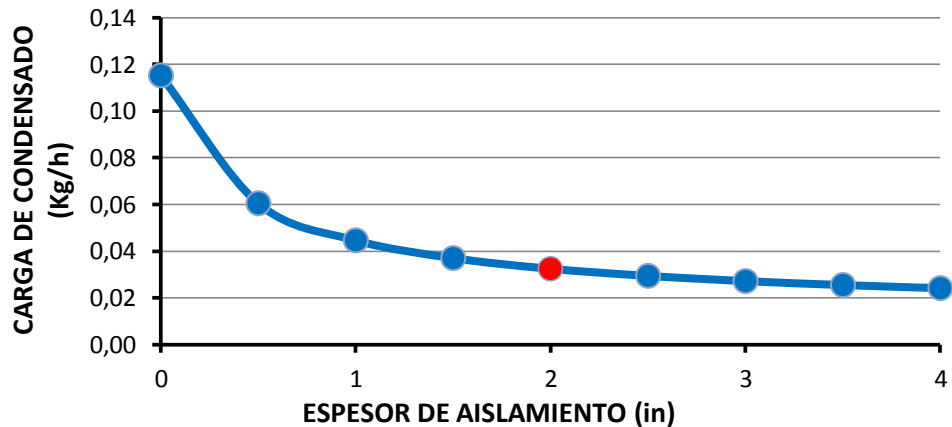
La tasa de transferencia de calor por unidad de longitud es Ec. 16:

$$q'' = 24,92 \text{ W/m}$$

Las iteraciones continuaron hasta que el h_{4-5} supuesto fue igual al h_{4-5} calculado.

4.4.1 Aislamiento para la tubería de vapor que entra al calentador de agua y la olla de maceración. Los resultados de la variación de la carga de condensado respecto al espesor del aislante se muestran en la figura 8. Los resultados son los mismos para las tuberías en ambos equipos porque tienen la misma longitud (4 metros). Los resultados del coeficiente global de transferencia de calor, el flujo de calor perdido en las tuberías de vapor y la temperatura externa del aislamiento se encuentran en la tabla 7.

Figura 8. Carga de condensados vs. espesor de aislamiento para las tuberías de vapor que llegan al calentador de agua y la olla de maceración



Fuente: Autora

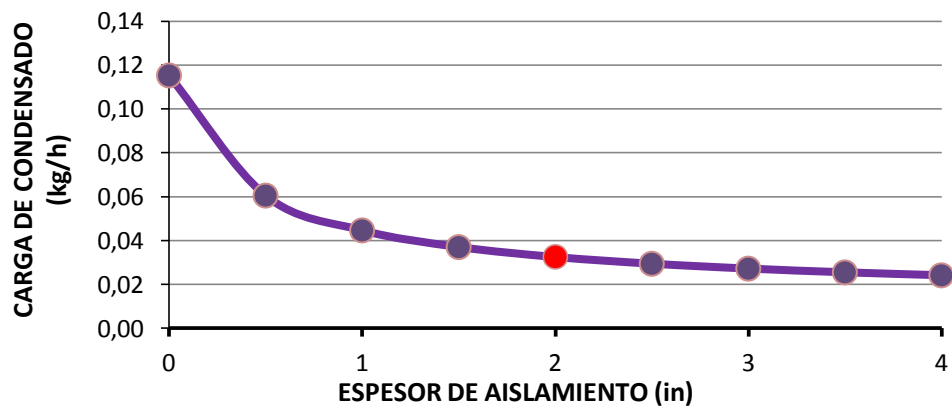
Tabla 7. Cálculos para el calentador de agua y la olla de maceración.

Espesor de aislamiento (in)	radio interno (m)	radio externo (m)	radio externo + espesor (m)	Área superficial (m ²)	U ₄ (W/m ² °C)	T ₄ (°C)	q" (W/m)	H (J/Kg)	Carga condensado (kg/h)
0	0,0087	0,0095	0,0095	0,2394	9,72	162,32	88,38	2068800	0,15
0,5	0,0087	0,0095	0,0159	0,3990	3,06	64,81	46,41	2068800	0,08
1	0,0087	0,0095	0,0222	0,5586	1,61	43,10	34,24	2068800	0,06
1,5	0,0087	0,0095	0,0286	0,7182	1,04	34,12	28,41	2068800	0,05
2	0,0087	0,0095	0,0349	0,8778	0,75	29,40	24,92	2068800	0,04
2,5	0,0087	0,0095	0,0413	1,0374	0,57	26,41	22,58	2068800	0,04
3	0,0087	0,0095	0,0476	1,1970	0,46	24,42	20,88	2068800	0,04
3,5	0,0087	0,0095	0,0540	1,3565	0,38	22,98	19,58	2068800	0,03
4	0,0087	0,0095	0,0603	1,5161	0,32	21,88	18,55	2068800	0,03

Fuente: Autora

4.4.2 Aislamiento para la tubería de vapor que entra a la olla de cocción del mosto. En este caso la longitud de la tubería de vapor es de 3 metros, los resultados de la carga de condensado respecto al espesor de aislante se muestran en la figura 9. Los resultados del coeficiente global de transferencia de calor, el flujo de calor perdido en las tuberías de vapor y la temperatura externa del aislamiento se encuentran en la tabla 8.

Figura 9. Carga de condensados vs. espesor de aislamiento para la tubería de vapor que llega a la olla de cocción del mosto



Fuente: Autora

Tabla 8. Cálculos para la olla de cocción del mosto.

Espesor de aislamiento (in)	radio interno (m)	radio externo (m)	radio externo + espesor (m)	Área superficial (m ²)	U4 (W/m ² °C)	T4 (°C)	q" (W/m)	H (J/Kg)	Carga condensado (kg/h)
0	0,0087	0,0095	0,0095	0,1795	9,72	162,32	88,38	2068800	0,12
0,5	0,0087	0,0095	0,0159	0,2992	3,06	64,81	46,41	2068800	0,06
1	0,0087	0,0095	0,0222	0,4189	1,61	43,10	34,24	2068800	0,04
1,5	0,0087	0,0095	0,0286	0,5386	1,04	34,12	28,41	2068800	0,04
2	0,0087	0,0095	0,0349	0,6583	0,75	29,40	24,92	2068800	0,03
2,5	0,0087	0,0095	0,0413	0,7780	0,57	26,41	22,58	2068800	0,03
3	0,0087	0,0095	0,0476	0,8977	0,46	24,42	20,88	2068800	0,03
3,5	0,0087	0,0095	0,0540	1,0174	0,38	22,98	19,58	2068800	0,03
4	0,0087	0,0095	0,0603	1,1371	0,32	21,88	18,55	2068800	0,02

Fuente: Autora

Para escoger un buen espesor de aislamiento se tiene que observar que la temperatura de la superficie sea segura, que disminuya la cantidad de condensados pues la carga de condensados es proporcional a la pérdida de energía del vapor. De acuerdo a estos criterios se sugiere utilizar un espesor de aislamiento de 2 pulgadas. Se tuvo en cuenta la información de la guía técnica para el diseño y cálculo del aislamiento térmico de conducciones, aparatos y equipos, esta publicación ha sido redactada por la Asociación Técnica Española de Climatización y Refrigeración (ATECYR) para el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE). Y el documento de la comisión nacional para el ahorro de energía y la secretaria de energía de México, llamada beneficios del aislamiento térmico en la industria, Abril 2008.

5. CONCLUSIONES

- En el calentador de agua, la olla de maceración y la olla de cocción del mosto, se está perdiendo alrededor de un 50% de la energía suministrada por el vapor debido a la falta de aislamiento en las tuberías de vapor y en los equipos. Estas pérdidas corresponden al calor perdido en las tuberías que transportan el vapor desde la caldera hasta cada uno de los equipos y el calor perdido al ambiente por las paredes de los tanques.
- Para escoger un buen espesor de aislamiento se tiene que observar que la temperatura de la superficie sea segura, que disminuya la cantidad de condensados pues la carga de condensados es proporcional a la pérdida de energía del vapor. De acuerdo a estos criterios se sugiere utilizar un espesor de aislamiento de 2 pulgadas y el aislante térmico a utilizar sería fibra de vidrio porque es un material económico y presenta buenas propiedades aislantes adecuadas para estas tuberías.

BIBLIOGRAFIA

- [3] CENGEL, Yunus. Transferencia de calor. 2 ed. México: Mc Graw Hill, 2004. 793 p.
- [2] CERVEZA DONATO. Historia sobre los comienzos de la cerveza. [online]. <<http://cervezadonato.blogspot.com>> [citado en 18 de Abril de 2012]
- [8] COMISION NACIONAL PARA EL AHORRO DE ENERGIA. Beneficios del aislamiento térmico en la industria. Dirección de enlace y programas regionales, apoyo al sector privado. México: Abril 2008. 52p.
- [5] HOLLMAN, J.P. Transferencia de calor. Traducido por Dr. Raúl Valenzuela M. 1 ed. México: Mc Graw Hill, 1986. 622 p.
- [1] INDUSTRIA DE LICORES DE BOYACÁ. Historia de la empresa. [online]. <<http://www.ilb.com.co>>
- [4] INCROPERA. Frank P y DE WITT, David P. Fundamentos de transferencia de calor. Traducido por Ricardo Cruz. 4 ed. México: Prentice Hall, 1996. 881 p.
- [6] THERMOEQUIPOS C.A. Introducción a la teoría de la transferencia de calor. [online] <http://www.thermoequipos.com.ve/pdf/articulo_02.pdf>
- [7] UNIVERSIDAD POLITECNICA DE VALENCIA. Convección forzada. [Online] <http://www.upv.es/entidades/DTRA/infoweb/dtra/info/U0296622.pdf>