

**UNIVERSIDAD DE ORIENTE  
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI  
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA**



**EVALUACIÓN DEL PROCESO DE GENERACIÓN DE VAPOR UTILIZADO  
EN LA LÍNEA DE PELETIZADO DE UNA PLANTA PROCESADORA DE  
ALIMENTOS PARA ANIMALES**

**REALIZADO POR:  
MARYCARMEN MILAGRO FARFAN TAYUPO**

**Trabajo de Grado presentado ante la Universidad de Oriente  
como Requisito Parcial para Optar al Título de  
INGENIERO QUÍMICO**

**PUERTO LA CRUZ, ABRIL 2011.**

**UNIVERSIDAD DE ORIENTE  
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI  
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA**



**EVALUACIÓN DEL PROCESO DE GENERACIÓN DE VAPOR UTILIZADO  
EN LA LÍNEA DE PELETIZADO DE UNA PLANTA PROCESADORA DE  
ALIMENTOS PARA ANIMALES**

**ASESORES:**

---

**Ing. Quím. LUIS MORENO**

**Asesor Académico**

---

**Ing. Agroind. FRANCISCO ITURBE**

**Asesor Industrial**

**PUERTO LA CRUZ, ABRIL 2011.**

**UNIVERSIDAD DE ORIENTE  
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI  
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA**



**EVALUACIÓN DEL PROCESO DE GENERACIÓN DE VAPOR UTILIZADO  
EN LA LINEA DE PELETIZADO DE UNA PLANTA PROCESADORA DE  
ALIMENTOS PARA ANIMALES**

**JURADO:**

---

**Ing. Quím. LUIS MORENO**  
**Asesor Académico**

---

**Ing. Quím. FREDDY SANTAMARIA**  
**Jurado Principal**

---

**Ing. Quím. ALEXIS COVA M. Sc.**  
**Jurado Principal**

**PUERTO LA CRUZ, ABRIL 2011.**

## RESOLUCIÓN

*De acuerdo al artículo 41 del reglamento de trabajos de grado:*

*“Los Trabajos de grado son exclusividad de la Universidad de Oriente y solo podrán ser utilizados a otros fines con el consentimiento del Consejo de Núcleo respectivo, quien lo participará al Consejo Universitario”*

## DEDICATORIA

A **DIOS** (Padre, Hijo y Espíritu Santo) **Todopoderoso** por estar siempre conmigo protegiéndome y guiando cada paso que doy, aunque existen momentos difíciles en la vida los utilizó para ayudarme a madurar, lo adoro, a Él sea toda la gloria por todos los siglos.

A mis padres (Aurelia y Diego) que siempre me apoyaron en todo momento y se esforzaron para que yo pudiera lograr esta meta y mi manita bella (Leguina) que en todo momento estuvo presente sin poner peros, para ayudarme en todo cuanto le era posible, los amo.

A mis amigos y familiares, muchos piensan que no existe la amistad sincera, pero en mi caso fue diferente gracias a Dios (Isa, Dame, Daya, Daniela, Nani, Toria, Daniel, Jahir, Arlenis, Luisana, Ama, Karina, Samuel, Nexa, Cheito, Ana, Dani, Carmen, Yosbe, Alberto, Milton, Omar, Ridel, Alis, Miguel, Javier, Danye, entre muchos otros) si faltó alguien me disculpan pero este Trabajo está dedicado a todos los seres que marcaron la diferencia en mi vida que Dios los bendiga y los guie en todo instante protegiendo cada paso que den y si llagaran a caer que tienda su mano para levantarlos y continuar en el camino.

A la Universidad de Oriente la cual abrió sus puertas un día de abril del 2005 y colocó a mi disposición a los mejores profesores (Ana Rita, Arturo Rodulfo, Petra, Alexis cova, Luis Ramirez, Ronald, Hernan Raven, Hector silva, Yuvi, Milena, entre otros) para adquirir el conocimiento que ahora tengo.

A mi asesor académico (Luis Moreno) e industrial (Francisco Iturbe) personas que colaboraron transmitiendo sus conocimientos para la elaboración de este Trabajo.

## **AGRADECIMIENTO**

*A **DIOS** por regalarme la salvación principalmente y la vida, además de bendecirme en gran manera con una familia, salud, amigos, estudios eternamente agradecida por el amor que le tiene a su creación, cuán grande es el amor de Dios inentendible a mi razonamiento humano, nada en mi vida sería posible si no estuviera Él a mi lado con sus ojos puesto sobre mi haciéndome entender y enseñándome el camino por el cual he de ir.*

*A mis padres (Aurelia y Diego) y mi manita (Leguina) por apoyarme y ayudarme cada vez que fue necesario esforzándose para lograr este objetivo.*

*A la empresa Súper S, por permitir realizar mis pasantías de igual manera al Sr. Francisco Iturbe por colaborar en todo cuanto le fue posible para la elaboración de este Trabajo de Grado.*

*A los trabajadores de la empresa Súper S (Sr. Orlando, Erasmo, Lira, Raziel, Julio y otros) los cuales siempre estuvieron presente para ayudar en cuanto les era posible sin poner peros al momento de necesitar su ayuda.*

*Al profesor Luis Moreno por aceptar ser mi asesor académico y por colaborar con sus conocimientos para la realización del Trabajo de Grado.*

## RESUMEN

Se realizó una evaluación en el proceso de generación de vapor de la Empresa Alimentos Súper S C.A., vapor que principalmente es utilizado en el acondicionamiento del alimento y a su vez este adquiriera una humedad específica, situación que no está sucediendo, porque el alimento sale fuera de especificación, generando como consecuencia, pérdidas económicas a la empresa. Para realizar la evaluación se analizó el agua de alimentación a la caldera y la interna, con el fin de observar si los parámetros de control del agua se encontraban dentro del rango establecido para la misma. Se determinó la eficiencia térmica de la caldera y se realizaron balances de masa y energía en todo el proceso. Se determinó la cantidad de calor aportado por el vapor hacia determinados alimentos. Se logró observar que los parámetros del agua están dentro del rango establecido a excepción de la dureza, la cual en promedio resultó ser de 12,61 ppm  $\text{CaCO}_3$ , la eficiencia térmica de la caldera fue de 72,30%, la mayor cantidad de vapor y calor se dirige hacia los tanques de grasa, el alimento adquiere menos de 4% de humedad en el acondicionamiento con vapor, la cantidad de calor dirigido hacia el acondicionador difiere de la cantidad de calor transferida por el vapor hacia el alimento y la mayor producción de vapor se obtuvo en la fabricación del alimento Crecimiento Enerpro, siendo esta cantidad de 1.033,22 kg/h, finalmente se planteó colocar una válvula reguladoras de flujo, en dirección a la línea de grasas, con el objetivo ayudar a minimizar las pérdidas de energía que se están presentando en la planta, lo que beneficia a que el alimento peletizado, se logre fabricar dentro de la especificación principal, que es adquirir humedad, favoreciendo con ello la economía de la planta.

## TABLA DE CONTENIDO

RESOLUCIÓN .....	iv
DEDICATORIA .....	v
AGRADECIMIENTO .....	vi
RESUMEN.....	vii
TABLA DE CONTENIDO .....	viii
LISTA DE FIGURAS .....	xii
LISTA DE TABLAS .....	xiv
CAPITULO I.....	17
INTRODUCCIÓN .....	17
1.1 UBICACIÓN DE LA PLANTA ALIMENTOS SÚPER S C.A.....	17
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	18
1.3 OBJETIVOS.....	20
1.3.1 Objetivo general .....	20
1.3.2 Objetivos específicos .....	20
CAPITULO II.....	21
MARCO TEÓRICO .....	21
2.1 ANTECEDENTES.....	21
2.2 GENERALIDADES DE LA ALIMENTACIÓN ANIMAL.....	22
2.2.1 Materias primas.....	23
2.2.2 Funciones de los alimentos.....	25
2.2.3 Etapas de procesamiento.....	26
2.2.4 Acondicionamiento con vapor .....	34

2.3 BALANCES DE MATERIA Y ENERGÍA .....	39
2.3.1 Balance de materia .....	39
2.3.2 Balance de energía .....	40
2.4 GENERACION DE VAPOR .....	44
2.4.1 Calderas .....	45
2.4.2 Tipos de Calderas .....	48
2.4.3 Funcionamiento de las calderas.....	50
2.4.4 Calidad de agua en una caldera.....	52
2.5 VALVULAS DE CONTROL.....	55
CAPÍTULO III.....	58
DESARROLLO DEL PROYECTO .....	58
3.1 CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DEL AGUA DE ALIMENTACIÓN E INTERNA DE LA CALDERA. ....	58
3.1.1 Procedimiento experimental.....	62
3.2 CALCULO DE LA EFICIENCIA DE GENERACION DE VAPOR	65
3.2.1 Procedimiento experimental.....	66
3.3 REALIZACION DEL BALANCE DE MASA Y ENERGÍA DEL PROCESO DE GENERACION DE VAPOR EN EL AREA DE ACONDICIONAMIENTO .....	66
3.3.1 Balance de masa en el proceso de generación de vapor.....	68
3.3.3 Balance de energía en el proceso de generación de vapor .	69
3.4 DETERMINACION DE LA TRANSFERENCIA DE CALOR DEL VAPOR DE AGUA HACIA DETERMINADO ALIMENTO EN EL ACONDICIONADOR.....	70

3.5 PROPUESTAS DE OPCIONES TÉCNICAS QUE MINIMICEN LAS PÉRDIDAS DE ENERGÍA EN EL PROCESO .....	74
3.6 MUESTRA DE CÁLCULO.....	77
3.6.1 Cantidad de vapor generado por la caldera .....	77
3.6.2 Eficiencia térmica de generación de vapor.....	80
3.6.3 Balances de masa y energía en el proceso de generación de vapor.....	83
3.6.4 Transferencia de calor del vapor de agua en el acondicionador .....	89
3.6.5 Determinación de la mínima cantidad de vapor requerida por el alimento .....	91
3.6.6 Determinación de calor mínimo requerido por el alimento ...	91
3.6.7 Determinación de pérdidas económicas en la empresa para una cantidad determinada de alimento peletizado.....	92
3.7 MATERIALES, EQUIPOS Y SUSTANCIAS UTILIZADOS.....	93
CAPITULO IV.....	97
DISCUSIÓN DE RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	97
4.1 DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	97
4.1.1 Caracterización fisicoquímica del agua de alimentación y del agua interna de la caldera .....	97
4.1.2 Cálculo de la eficiencia de generación de vapor .....	104
4.1.3 Balances de masa y energía en el proceso de generación de vapor.....	106

4.1.4 Transferencia de calor del vapor de agua en el acondicionador .....	109
4.1.5 Propuestas de opciones técnicas que minimicen las pérdidas de energía en el proceso .....	110
4.1.6 Pérdidas económicas en la empresa para una cantidad determinada de alimento peletizado .....	112
4.2 CONCLUSIONES .....	113
4.3 RECOMENDACIONES .....	114
BIBLIOGRAFIÁS.....	115
APENDICE A .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
APENDICE B .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
APENDICE C .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
APENDICE D .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:.....	118

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 Diagrama de recepción de materia prima [Fuente propia].	27
Figura 2.2 Diagrama del proceso de molienda de la planta Alimentos Súper S C.A. [Fuente propia].	28
Figura 2.3 Mezcladora horizontal.	30
Figura 2.4 Peletizadora con sistema de acondicionamiento.	31
Figura 2.5 Proceso de peletizado de la empresa Súper S C.A. [Fuente propia].	32
Figura 2.6 Acondicionador de alimento.	35
Figura 2.7 Calderas acuotubulares	49
Figura 2.8 Caldera pirotubular	50
Figura 2.9 Caldera de hogar interior SM de cuatro pasos.	52
Figura 2.10 Interior de las calderas de hogar SM de varios pasos de humos.	52
Figura 2.11 Válvula de control representativa.	55
Figura 3.1 Sala de calderas de la planta Súper S C.A. [Fuente propia].	59
Figura 3.2 Toma de muestra del tanque de agua de alimentación [Fuente propia].	60
Figura 3.3 Toma de muestra del agua interna de la caldera [Fuente propia].	60
Figura 3.4 Tanque de agua de alimentación [Fuente propia].	65
Figura 3.5 Generación de vapor [Fuente propia].	67
Figura 3.6 Acondicionador de la prensa granuladora [Fuente propia].	71
Figura 3.7 Recorrido termodinámico de la masa de agua que entra en el acondicionador [Fuente propia].	73
Figura 3.8 Diagrama general de vapor.	76
Figura 3.9 Esquema del tanque de alimentación	78

Figura 4.1 Comportamiento de pH en la alimentación y en el interior de caldera. ....	98
Figura 4.2 Comportamiento de conductividad. ....	99
Figura 4.3 Comportamiento de dureza. ....	100
Figura 4.4 Comportamiento de sulfito presente en las aguas. ....	101
Figura 4.5 Comportamiento de orto-fosfato. ....	102
Figura 4.6 Comportamiento de la alcalinidad total OH. ....	104
Figura 4.7 Valores actuales y esperados del dinero que ingresa a la planta por determinados alimentos peletizados. ....	113

## LISTA DE TABLAS

Tabla 3.1 Parámetros de control de las aguas de generación de vapor (Kemmer, Frank, 1988).....	62
Tabla 3.2 Descripción de las variables de la figura 3.5.....	67
Tabla 3.3 Variables requeridas en la ecuación 3.13. ....	82
Tabla 4.1 Agua alimentada a la caldera y vapor generado.....	105
Tabla 4.2 Eficiencia del equipo de generación de vapor.....	105
Tabla 4.3 Cantidad de vapor adicionada al alimento en el acondicionador.	107
Tabla 4.4 Flujos másicos involucrados en el proceso de generación de vapor. .....	108
Tabla 4.5 Calores involucrados en el proceso de generación de vapor.....	108
Tabla 4.6 Calor transferido por el vapor hacia el alimento en el acondicionador.....	109
Tabla 4.7 Vapor mínimo requerido por el alimento en el acondicionador. ...	110
Tabla 4.8 Cantidad de vapor enviado al área de grasa en relación a lo requerido en el acondicionador.....	111
Tabla A.1 Variación de pH en el agua de alimentación e interna de la caldera. .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Tabla A.2 Variación de conductividad en el agua de alimentación e interna de la caldera. ....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Tabla A.3 Variación de dureza en el agua de alimentación e interna de la caldera. ....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Tabla A.4 Alcalinidad del agua de alimentación e interna de la caldera.	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>

Tabla A.5 Variación de sulfito en el agua de alimentación e interna de la caldera. ....**¡Error! Marcador no definido.**

Tabla A.6 Variación de o-fosfato en el agua de alimentación e interna de la caldera. ....**¡Error! Marcador no definido.**

Tabla B.1 Variación en el visor de nivel del tanque de alimentación de agua a la caldera, tiempo de proceso y presiones a la salida de la caldera. .... **¡Error! Marcador no definido.**

Tabla B.2 Variación en el volumen del combustible y tiempo de consumo. ....**¡Error! Marcador no definido.**

Tabla B.3 Humedades de entrada y salida del acondicionador y cantidad de alimento procesado.....**¡Error! Marcador no definido.**

Tabla B.4 Cantidad de condensados recolectados.**¡Error! Marcador no definido.**

Tabla B.5 Flujos máxicos y temperaturas promedio de los condensados. ....**¡Error! Marcador no definido.**

Tabla B.6 Presiones y temperaturas involucradas en el sistema de generación de vapor. ....**¡Error! Marcador no definido.**

Tabla B.7 Entalpías involucradas en el proceso.**¡Error! Marcador no definido.**

Tabla B.8 Humedad del producto final, masa y precio del saco de los diferentes alimentos estudiados.....**¡Error! Marcador no definido.**

Tabla B.9 Valores del dinero actual y esperado por la empresa con determinados alimentos peletizados y la diferencia de ambos. .... **¡Error! Marcador no definido.**

Tabla C.1 Temperaturas del alimento en la entrada y salida del acondicionador.....**¡Error! Marcador no definido.**

Tabla C.2 Calores específicos del agua a la temperatura de entrada y salida del alimento en el acondicionador.....**¡Error! Marcador no definido.**

Tabla C.3 Entalpías del agua en la entrada y salida del alimento en el acondicionador.....**¡Error! Marcador no definido.**

Tabla C.4 Entalpías de entrada y salida del acondicionador en relación a la cantidad de vapor mínima requerida.....**¡Error! Marcador no definido.**

Tabla C.5 Porcentajes de calor requerido y adicionado para los alimentos a estudio. ....**¡Error! Marcador no definido.**

Tabla D.1 Propiedades del agua líquida a diferentes temperaturas ..... **¡Error! Marcador no definido.**

Tabla D.2 Propiedades Misceláneas del agua líquida saturada ..... **¡Error! Marcador no definido.**

Tabla D.3 Propiedades del agua saturada (unidades SI)**¡Error! Marcador no definido.**

# **CAPITULO I**

## **INTRODUCCIÓN**

### **1.1 UBICACIÓN DE LA PLANTA ALIMENTOS SÚPER S C.A.**

Su origen se remonta al año 1963 cuando el grupo agroindustrial Molinos Nacionales C.A. (MONACA), dedicado a la elaboración y distribución de alimentos para consumo humano, decide incursionar en el ramo de alimentos para animales, creando la empresa Súper S C.A, iniciando esta sus operaciones en agosto del año 1985. La planta, está ubicada en la zona industrial Los Montones, parcelas 4-2 y 4-3 en Barcelona Edo. Anzoátegui, esta empresa se centra en la producción de diversos tipos de alimentos balanceados para animales, principalmente para aves, cerdos y ganados.

En esta planta se formulan dietas de acuerdo a los requerimientos de cada animal, los cuales deben asegurar un rápido crecimiento. Esto no se logra con alimentos no balanceados. Es por ello que se debe contar con un buen control en las diferentes etapas del proceso, para así garantizar una buena calidad del producto.

La planta Súper S C.A. Barcelona fabrica alimentos balanceados para animales en forma de harinas, granulados y semigranulados. En la producción de granulados y semigranulados, se emplea una técnica llamada granulación o peletización, que consiste en adicionar vapor a la harina para la compactación de los ingredientes (piensos) y luego hacer pasar esta mezcla húmeda y caliente por un equipo de prensado llamado peletizadora y así formar unos granos de forma cilíndrica llamados pelets.

La elaboración de estos alimentos se realiza con cereales como el maíz, el sorgo y la soya en grandes cantidades, harinas proteicas, vitaminas, melaza y otros. El proceso de fabricación comienza con la reducción del tamaño de las partículas por medio de la molienda, seguido del mezclado y homogeneización de la materia prima incluida en la formulación del alimento. El material logrado hasta este punto, en algunos casos, resulta en el alimento final fabricado. Sin embargo, generalmente, el producto en forma de harina no es adecuado para algunos animales, de manera que se comprime bajo condiciones especiales para formar gránulos, los cuales se presentan como un medio efectivo para suministrar el alimento a los animales.

## **1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

El pelet es un alimento concentrado densificado o aglomerado, llevado a la forma de pequeñas barras cilíndricas, dadas por una operación realizada en un equipo de peletizado. Los pelets poseen beneficios superiores a los presentados por alimentos sin peletizar.

El peletizado es un paso esencial dentro de la fabricación de alimentos concentrado para animales con alto contenido de almidón como lo son alimentos de pollo y cerdos, esta etapa consiste en aplicarle calor al producto por medio de la adición de vapor de agua en la unidad de acondicionamiento para luego ser prensado y formar un pelet, este vapor es absorbido fácilmente por las partículas del alimento incrementando de esta manera su temperatura favoreciendo la cocción, expansión y gelatinización de la mezcla (FEDNA, 2000).

En la empresa se presentan problemas con el proceso de generación de vapor debido a que existen varias fugas y un gran tramo de tubería sin

aislar, originando así que el vapor que se está suministrando en el equipo de peletizado no esté a las condiciones necesarias; es difícil que el vapor húmedo sea absorbido por las partículas del alimento debido a que se forma una capa de agua en la superficie de las partículas individuales causando deslizamientos, produciendo de esta manera pelets frágiles, un aumento en el consumo de energía al momento de homogeneizar la mezcla y un posible daño al equipo de peletización.

Por tales razones la gerencia propuso la evaluación del proceso de generación de vapor de agua en la producción de los pelets ya que el calentamiento con la adición de vapor directo hace que el alimento presente un aumento en el contenido de humedad (entre 15 - 17%) y de la temperatura (80 - 92°C), variables que permiten comprimir el material a la vez que se destruye la flora bacteriana; este proceso permite aumentar la vida útil de los productos.

Para saber las condiciones a las cuales se está suministrando vapor de agua en el acondicionador, se analizó fisicoquímicamente el agua de alimentación e interna de la caldera, verificando de esta forma que las variables de control se encuentren dentro de los parámetros establecidos observando así que tanto el equipo de generación de vapor como las tuberías no se encuentren dañados, se determinó la eficiencia de generación de vapor, utilizando para ello ecuaciones experimentales de igual manera se realizará un balance de masa y energía en el proceso de generación de vapor determinando posibles pérdidas en el recorrido por las tuberías hasta llegar al equipo de acondicionamiento, además es importante determinar la transferencia de calor del vapor de agua hacia determinado alimento en el acondicionador, conociendo de esta manera que tan perjudicial puede ser un mal suministro del mismo, una vez conocidas las condiciones de entrada

del vapor al acondicionador se propusieron opciones técnicas que minimicen las pérdidas de energía en el trayecto que va desde la caldera hasta el acondicionador de la mezcla.

Con el adecuado suministro de vapor en el acondicionamiento se garantiza la calidad del producto, un buen funcionamiento del equipo de peletizado y se ahorrarían una serie de gastos como lo es el consumo en exceso de energía y pérdida de tiempo en el reproceso de salir fuera de especificación el producto.

### **1.3 OBJETIVOS**

#### **1.3.1 Objetivo general**

Evaluar el proceso de generación de vapor utilizado en la línea de peletizado de la planta procesadora de alimentos para animales Súper S C.A.

#### **1.3.2 Objetivos específicos**

1. Caracterizar fisicoquímicamente el agua de alimentación y la interna de la caldera.
2. Calcular la eficiencia de generación de vapor.
3. Realizar el balance de masa y energía del proceso de generación de vapor en el área de acondicionamiento.
4. Determinar la transferencia de calor del vapor de agua hacia determinado alimento en el acondicionador.
5. Proponer opciones técnicas que minimicen las pérdidas de energía en el trayecto que va desde la caldera hasta el acondicionador de la mezcla.

## **CAPITULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1 ANTECEDENTES**

López (2010), realizó una evaluación del sistema de enfriamiento de productos paletizados, donde se retira el exceso de humedad y se reducen las elevadas temperaturas generadas en el proceso de acondicionamiento de la mezcla, en esta evaluación se encontraron fallas como baja velocidad de flujo en el sistema de enfriamiento a la salida del enfriador de 11 m/s, el producto terminado con una temperatura final por encima de la temperatura del aire de enfriamiento; una mala distribución de la cama de alimento en la enfriadora, lo que causa que el retiro de humedad y temperatura no sea uniforme.

Ruiz (2010), elaboró un estudio acerca del agua de alimentación de unas calderas pirotubulares en el cual concluyó que la eficiencia de la regeneración del agua en el suavizador aumenta si se controla adecuadamente el consumo de salmuera con el tiempo de contacto efectivo entre la resina y la salmuera, de igual manera sí se mantienen controlados los parámetros de calidad de las aguas involucradas en el proceso de generación de vapor, se aumenta el tiempo de vida útil de las calderas, en éste estudio se determinó que al aumentar la temperatura de alimentación en 10 °C aproximadamente el consumo de combustible disminuye en un 20%.

CONAE (2007), publicó un anuncio sobre la importancia de la eficiencia en calderas y combustión, debido a que este equipo es uno de los más utilizados por la industria y, junto con los hornos industriales, son los

responsables del mayor porcentaje de consumo de combustible, en éste anuncio se concluyó que mantenerlas operando con una buena eficiencia se utilizará menor cantidad de combustible para satisfacer una cierta demanda de vapor, cabe destacar que en el anuncio se muestran distintas ecuaciones para determinar la eficiencia térmica de generación de vapor .

Avendaño (2006), desarrolló un estudio acerca del efecto que tiene la temperatura y la velocidad en el acondicionador sobre el grado de gelatinización de los almidones de un determinado alimento. En este trabajo se concluyó que a medida que aumentaba la temperatura disminuía el grado de gelatinización del alimento a estudio, mientras que a velocidades altas fueron promovidos por un mezclado más eficiente los altos niveles de gelatinización.

El presente trabajo de investigación se relaciona con los estudios antes mencionados, debido a que, se está realizando una evaluación del vapor producido por una caldera pirotubular de 150 Hp, el cual a su vez es utilizado en un equipo de acondicionamiento para la cocción de determinados alimentos y posteriormente el prensado del mismo.

## **2.2 GENERALIDADES DE LA ALIMENTACIÓN ANIMAL**

La nutrición es una ciencia. La mayoría de las investigaciones que han establecido las necesidades nutritivas cualitativas y cuantitativas del hombre y de los animales se realizaron durante la primera mitad del siglo XX. Los animales han jugado un papel relevante en el hallazgo, aislamiento e identificación de los nutrientes. Su empleo por los científicos en todas las áreas de estudio sobre nutrición, han servido para desarrollar los principios básicos de la misma, las cuales han sido aplicadas tanto al hombre como a

los animales. En una primera etapa se estudiaron sobre todo, las cuestiones relacionadas con la alimentación de aves y cerdos. En la actualidad, investigadores de diferentes países trabajan también para conocer mejor el funcionamiento del aparato digestivo de los rumiantes y el aprovechamiento de los alimentos por los animales.

Durante los primeros veinte años de este siglo el conocimiento de la nutrición avícola se reducía al conocimiento de que los cereales eran los cimientos de la porción de alimentos secos de las gallinas, que éstos cereales deberían suplementarse con sustancias nitrogenadas como leche descremada o harinas de carne y que un buen pasto era definitivamente esencial para el crecimiento satisfactorio, desarrollo y puesta de las gallinas. Entre 1920 y 1950, las necesidades de las aves fueron descubriéndose poco a poco. Luego de aislar e identificar los nutrientes se determinaron las necesidades de cada una de ellas.

### **2.2.1 Materias primas**

Si bien es cierto que los animales heredan ciertas posibilidades genéticas, el grado en que se desarrollan depende del ambiente a que están sometidos y el factor más importante es la alimentación. Por su parte, todos los alimentos derivan en forma directa o indirecta de los vegetales, que almacenan energía para que el animal la gaste. Las pasturas y los forrajes secos bien curados que se producen en suelos fértiles junto con los granos y subproductos alimenticios, que muchas veces no son aptos para el consumo humano, constituyen la base de la producción ganadera prospera. En esta categoría están el heno, las pasturas, ciertos granos, los subproductos de la molienda y otros alimentos que se convierten en carne, huevos, leche y lana.

La industria de concentrados, para la fabricación de sus productos, requiere de una serie de materias primas, que son las encargadas de proveer al producto final los elementos con los cuales se cumplan los requerimientos nutricionales diarios para cada especie. Estas materias primas tienen su origen en el reino vegetal y el reino animal.

#### **2.2.1.1 Materias primas de origen vegetal**

Su composición en sustancias nutritivas es muy variable y con frecuencia desequilibrada, se emplean usando mezclas de unos con otros, para que se complementen entre sí. Su gran aporte es el volumen que dan a la ración. Se conocen entre otras; granos de cereales, las semillas de cereales constituyen la base para la mayoría de concentrados, para las diferentes especies como aves, cerdos y rumiantes. Su composición depende de la especie y variedad, el grado de humedad, la región donde se cultivan y otros muchos factores; sin embargo, los rangos más comunes son los siguientes: agua 10 al 18%; materia seca 90 al 82%, proteína bruta 8 al 12%, hidratos de carbono 60 al 70%, y fibra bruta 2 al 7%.

Los cereales más utilizados en alimentación animal son el maíz y la cebada, seguidos por el trigo, avena, sorgo y arroz y sus respectivos derivados.

Las semillas o granos de leguminosas son uno de los recursos que se tienen para aumentar el contenido proteico de las raciones y hacerlas más equilibradas, estos granos tienen la misma cantidad de materia seca que los granos de cereales, de un 20-26% de proteína bruta, hidratos de carbono de 48-50%, además son más ricos en fósforo y calcio en comparación con los granos cereales.

La soya es la leguminosa más importante a escala mundial en el uso para raciones. Sin embargo esta leguminosa no se da directamente a los animales, antes debe ser sometida a un proceso industrial donde se le extrae la mayor parte del aceite que contiene y el residuo que queda en forma de harina o torta se emplean como alimento para el ganado.

#### **2.2.1.2 Materias de origen animal**

Los alimentos de este grupo son muy ricos en proteínas de alto valor biológico, ya que contienen todos los aminoácidos esenciales y en proporciones adecuadas. Su uso en la alimentación animal tiene como fin complementar otras fuentes de proteínas, como las procedentes de las harinas oleaginosas, aumentar el valor biológico de estas fuentes. Su participación en las raciones debe ser controlada debido a su alto costo, empleándose con más frecuencia en raciones para cerdos y aves. Entre las más importantes se tiene:

- Harina de pescado de alto nivel proteico, su uso es más frecuente en cerdos; su elevado costo no permite abusos en las cantidades.
- Harina de carne es de buen valor proteico, como complemento es utilizado en raciones de cerdos y aves.

#### **2.2.2 Funciones de los alimentos**

El alimento que reciben los animales es utilizado con diversos propósitos y su uso exacto varía según la especie, la edad y la productividad del animal. En todos los casos, cierta parte del alimento sirve para mantener las funciones corporales al margen de cualquier producción útil. Esto se conoce como necesidad de mantenimiento. Los individuos jóvenes en crecimiento necesitan principios nutritivos adecuados para la formación de tejido

muscular y óseo; los animales en terminación requieren el aporte de alimentos energéticos para la acumulación de grasa; las hembras en gestación tienen necesidad de alimentos apropiados para el desarrollo de sus fetos y, después del parto, para la producción de leche, mientras que los animales para trabajo los emplean para obtener la energía que destinan al trabajo o para la producción de huevos y lana.

La necesidad de mantenimiento puede definirse como una ración adecuada para evitar la pérdida o aumento de tejido corporal cuando no hay producción. Los requerimientos para el mantenimiento son las cantidades consideradas de nutrientes, necesarias para adquirir tal estado de equilibrio.

Crecimiento es el aumento de tamaño de los músculos, huesos, órganos internos y otras partes del cuerpo. El crecimiento se debe tanto a la hiperplasia, (aumento del número de células), como a la hipertrofia, (aumento en el tamaño de cada célula).

La terminación consiste en una acumulación de grasa, especialmente en la cavidad abdominal y en los tejidos conectivos situados debajo de la piel y entre los músculos. En la terminación de animales adultos se requiere una cantidad muy pequeña de proteínas, minerales y vitaminas por encima de la necesidad de mantenimiento.

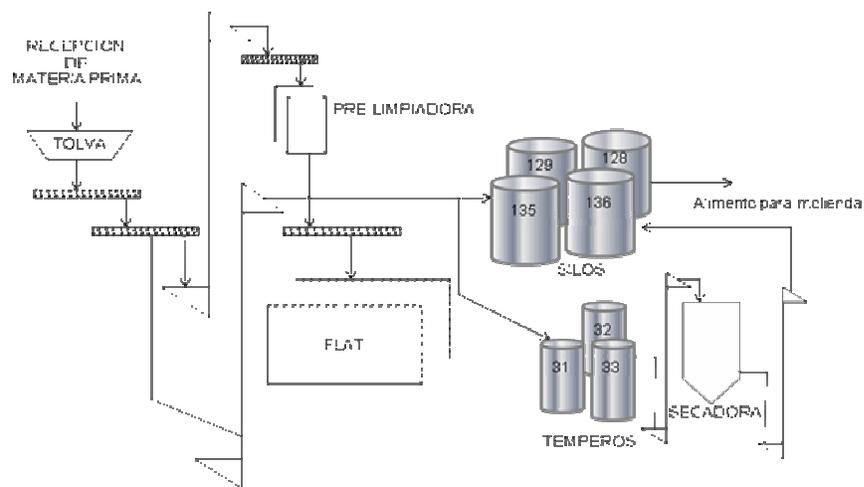
### **2.2.3 Etapas de procesamiento**

La fábrica de alimentos concentrados es el instrumento que permite la obtención de alimentos nutritivos de forma controlada; es decir, se formulan dietas de acuerdo a cada animal, que aseguren su crecimiento rápido, pero el hecho de producir alimentos balanceados no indica que estos sean de buena calidad; para lograr este objetivo es necesario llevar un control del

sistema productivo y este se hace realizando una serie de etapas de procesamiento.

### 2.2.3.1 Almacenamiento

El almacenamiento tiene como fin conservar la materia prima a través de un tiempo, de acuerdo a la durabilidad de la misma, esta es almacenada en compartimientos verticales (silos) para los granos (maíz, sorgo, frijol de soya, etc.) y compartimientos horizontales (flat) para las harinas (Cascaquilla de arroz, afrecho de trigo, afrecho de maíz, etc.) en la figura 2.1 se muestra el proceso de recepción de materia prima de la empresa Alimentos Súper S C.A.



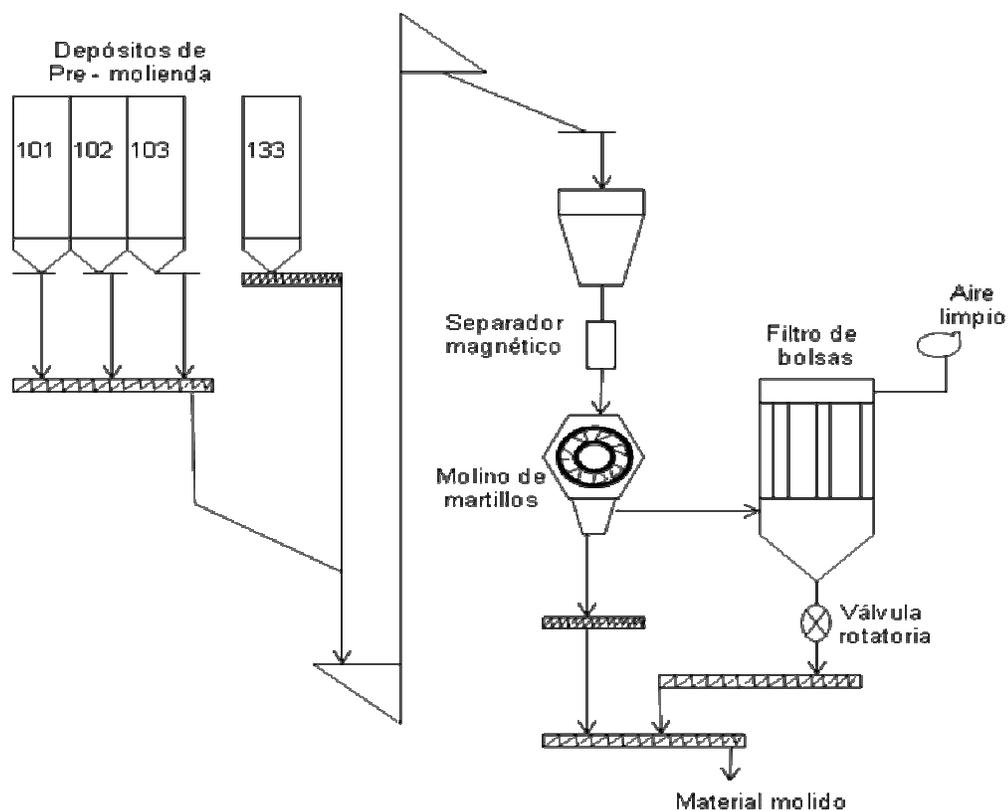
**Figura 2.1 Diagrama de recepción de materia prima [Fuente propia].**

### 2.2.3.2 Secado

El secado es la remoción de humedad hasta el equilibrio, con el aire a temperatura ambiente, con el propósito de disminuir la actividad metabólica de mohos e insectos en el producto. El contenido de humedad de la mayoría de los granos a almacenar es del 12 al 14% en base húmeda.

### 2.2.3.3 Molienda

Se entiende por molienda la reducción de tamaño de la partícula, o lo que es lo mismo, el incremento de superficie en la masa unitaria. El objetivo de la molienda no es solo la reducción de tamaño, sino también la obtención de un producto con diámetro y tamaño definido y con una distribución granulométrica determinada. En la figura 2.2 se muestra el proceso de molienda de la empresa Alimentos Súper S.



**Figura 2.2 Diagrama del proceso de molienda de la planta Alimentos Súper S C.A. [Fuente propia].**

La fineza de la molienda varía de acuerdo a la edad del animal, la digestibilidad del grano por el animal, del efecto del polvo y del producto mismo.

La reducción de tamaño permite aumentar la superficie específica, lo cual es importante, pues al aumentar ésta se facilitan operaciones siguientes del proceso.

La industria de concentrados debe tener en cuenta, además, que el ganado vacuno y los cerdos mastican defectuosamente los granos de cereales y las semillas, por lo cual, buena parte de ellos son difícilmente digeridos.

#### **2.2.3.4 Dosificación**

Consiste en adicionar las materias primas necesarias según la formulación, este procedimiento se realiza por medio de unas tolvas dosificadoras las cuales cuentan con unos sensores encargados de realizar este proceso. Las tolvas tienen un tornillo sinfín de dos velocidades (alta y baja); además, se utilizan tolvas de alivio y básculas.

#### **2.2.3.5 Mezclado**

El objeto de mezclado es lograr una distribución uniforme de dos o más componentes en una masa, mediante un flujo generado por procedimientos manuales o mecánicos, de esta manera se busca lograr una pasta homogénea para evitar el rechazo del alimento por parte de los animales que lo consumen.

En esta etapa también se puede agregar los líquidos (aceites y sebo), a través de tuberías traídas desde la zona de líquidos, dependiendo del producto.

Finalizado el mezclado, el producto va a una tolva de compensación y de aquí tiene tres posibles lugares a pasar: al empaqueteado como harinas sin

melaza, principalmente para productos de avicultura, al proceso de enmelazado, al peletizado sin pasar al enmelazado. A continuación en la figura 2.3, se muestra una mezcladora horizontal.



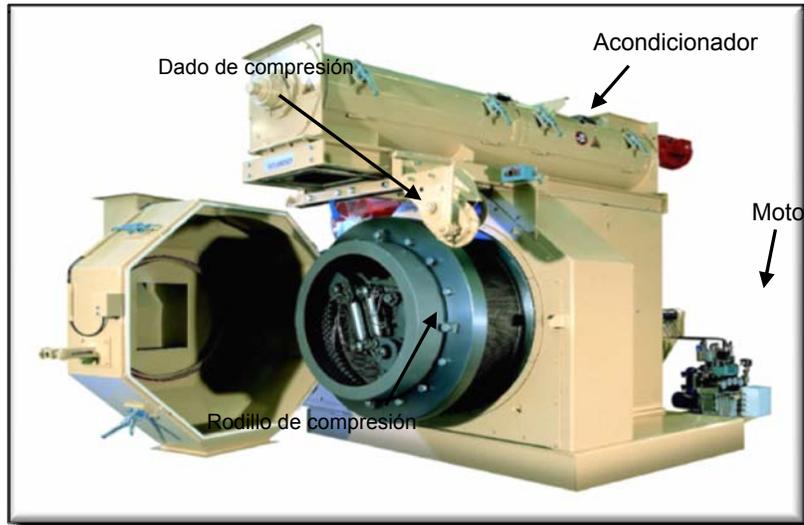
**Figura 2.3 Mezcladora horizontal.**

#### **2.2.3.6 Granulado o peletizado**

Proceso en el cual el alimento concentrado en su estado de harina inicialmente, debido a la acción de procesos anteriores en la planta como mezclado homogéneo de varios ingredientes, etc., es sometido a la acción de humedad y calor para luego ser forzado a pasar por unos orificios formadores del pelets, gracias a la presión ejercida allí por un proceso mecánico para tal fin.

La harina luego de ser acondicionada fluye por gravedad a la cámara de la prensa de los pelets, donde los rodillos ejercen presión sobre la harina ablandada haciéndola pasar a través de orificios donde se forma el grano, hasta salir parte del pelet el cual es cortado por unas cuchillas estacionarias que están externas al rodillo mayor obteniendo así una medida igual.

En la figura 2.4, se muestra un equipo de peletizado con sistema de acondicionamiento.



**Figura 2.4 Peletizadora con sistema de acondicionamiento.**

Los pelets generalmente formados tienen diámetros que van desde 0,4 a 1,9 cm. y la longitud de 0,5 a 3 cm., dependiendo de la especie animal.

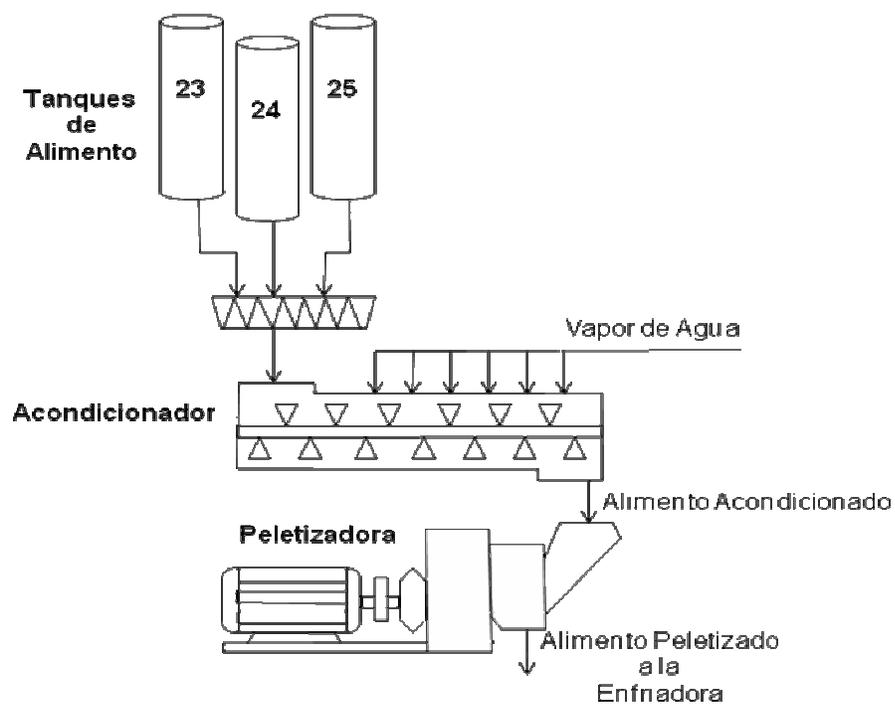
#### Ventajas del peletizado

- Evita el consumo selectivo de ciertos ingredientes por los animales.
- Evita la segregación de las partículas del alimento.
- Uniformiza la densidad del alimento, aun mas si contiene ingredientes fibrosos o voluminosos.
- Facilita el manejo.
- Mejor conversión por el animal del alimento peletizado comparado con el molido.

Es importante mencionar que el equipo utilizado para esta operación es costoso y que para favorecer la granulación se pueden utilizar sustancias aglomerantes, como por ejemplo las melazas.

El tamaño del pelet depende del animal y de la edad de desarrollo del mismo.

La empresa Alimentos Súper S, cuenta con un proceso de peletizado, en el cual se incluyen tres tanques de almacenamiento de alimento seco, un sistema de inyección de vapor en el equipo de acondicionamiento y un equipo encargado de producir los pelets, este proceso se puede observar en la figura 2.5.



**Figura 2.5 Proceso de peletizado de la empresa Súper S C.A. [Fuente propia].**

### **2.2.3.7 Enfriamiento y Crombelizado**

El sistema de enfriamiento consta generalmente de un enfriador vertical a contra flujo, cuya función principal es retirar el calor y el exceso de humedad que gana el producto terminado en la fase de acondicionamiento del peletizado, para que el producto (pelet) salga con una especificación de 12% de humedad.

Después del peletizado y el enfriamiento, es necesario adecuarlo para algunas especies que prefieren el producto más pequeño.

Este proceso consiste en hacer pasar el pelet una vez enfriado por medio de dos rodillos graduables, que trituran las pastillas haciéndolas de menor tamaño.

### **2.2.3.8 Enmelazado**

Es el proceso mediante el cual se adiciona melaza al alimento por medios mecánicos, haciendo pasar la mezcla por tornillos sinfín, del cual dependen paletas con orificios, por los cuales corre la melaza por gravedad, formando una emulsión homogénea. Se realiza con el objeto de aumentar la palatabilidad y el poder de aglomeración y compactación de las partículas en la formación del pelets.

### **2.2.3.9 Empaque**

Inicialmente el producto terminado se hace pasar por tolvas que dirigen el producto hacia el empaque final, que generalmente son sacos de diferentes tamaños de acuerdo a la cantidad establecida de ventas, y posteriormente se cosen los bultos en una cosedora eléctrica (Zartha, 2008).

#### **2.2.4 Acondicionamiento con vapor**

Como es sabido el Peletizar alimentos balanceados para animales requiere de adicionar vapor al alimento por medio de un equipo de acondicionamiento, es necesario tener conocimiento acerca de cómo funciona este equipo y sus condiciones de operación.

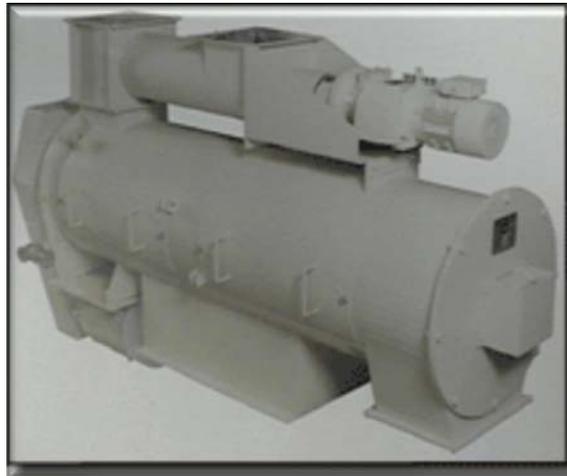
El acondicionamiento con vapor añade dos elementos esenciales a la harina antes de la granulación: calor y humedad. Cuando el vapor y la harina se mezclan, el vapor es absorbido y la harina se calienta, y su contenido original de humedad se eleva. El calor es esencial para un buen acondicionamiento y una buena granulación, mientras que la humedad actúa como lubricante de la harina cuando ésta pasa por los agujeros de la matriz. El contenido natural de humedad de la harina mezclada antes de su acondicionamiento determinará la cantidad de vapor que puede añadirse sin riesgo antes de la granulación.

El acondicionamiento con vapor añade humedad y calor a la harina pero, en el paso final de la harina a través de los agujeros de la matriz se produce un nuevo período de calentamiento. Este calor por fricción se genera al paso de la harina por los agujeros de la matriz, empujada por los cilindros o rodillos giratorios. La cantidad de este calor variará con el grosor del troquel y con la cantidad de harina que pasa a través de él. Las matrices muy gruesas usadas para determinados piensos son, obviamente, capaces de generar más calor y un tiempo más largo de compresión, que ofrece un mejor producto a costa, posiblemente, de una producción más reducida.

A través de la experimentación se sabe que un compuesto alimenticio normal eleva su temperatura de 14 - 19 °C cuando se le ha agregado 1% de vapor, dependiendo de las diferencias en la presión del vapor, ejemplo:

temperatura después de mezclado  $30^{\circ}\text{C}$ , temperatura en el acondicionador  $90^{\circ}\text{C}$ , la resta de éstos dos es igual a 60 lo que nos dice que debe aumentar su humedad en un 4 %. La temperatura ideal del alimento al salir del acondicionador es de  $80^{\circ}\text{C}$  aproximadamente, es decir, que a menudo se agrega de 4 a 5% de vapor (Di Reffo, 2005).

La figura 2.6 es de un equipo de acondicionamiento con vapor para alimentos destinado a peletización



**Figura 2.6 Acondicionador de alimento**

Es muy importante que la inyección de vapor sea constante y regular, a una temperatura posiblemente más alta, y que el vapor sea seco y la presión estable, y ante todo, que el vapor no contenga humedad y no sea condensado. Cuando el vapor contiene mucha agua, la harina es demasiado húmeda para que se pueda obtener una temperatura deseada. Esta etapa solo se aplica calor sensible. El calor sensible es aquel que recibe un cuerpo y hace que aumente su temperatura sin afectar su estructura molecular y por lo tanto su estado, en general, se ha observado experimentalmente que la cantidad de calor necesaria para calentar o enfriar un cuerpo es

directamente proporcional a la masa del cuerpo y el número de grados en que cambia su temperatura. La constante de proporcionalidad recibe el nombre de calor específico (Howel, Buckius, 1990).

#### 2.2.4.1 Efectos del calor sensible

La transferencia de calor a un sistema en el que no existen transiciones de fase, reacciones químicas y ningún cambio en la composición, hace que la temperatura del sistema cambie. La finalidad de esta sección es desarrollar relaciones entre la cantidad de calor transferido al sistema y el cambio de temperatura resultante.

Cuando el sistema es una sustancia homogénea de composición constante, la regla de las fases indica que el estado del sistema queda establecido al fijar los valores de las propiedades intensivas. Por consiguiente, la energía interna molar o específica de una sustancia puede expresarse como una función de otras dos variables de estado. Si se seleccionan de manera arbitraria la temperatura y el volumen molar o específico, entonces puede escribirse

$$U = U(T, V)$$

De donde

$$dU = \left( \frac{\partial U}{\partial T} \right)_V dT + \left( \frac{\partial U}{\partial V} \right)_T dV \quad (\text{Ec. 2.1})$$

Como consecuencia de la ecuación (2.1) la expresión anterior se convierte en

$$dU = C_V dT + \left( \frac{\partial U}{\partial V} \right)_T dV \quad (\text{Ec. 2.2})$$

El término final puede hacerse cero bajo dos circunstancias:

1. Para cualquier proceso a volumen constante.

2. Que la energía interna sea independiente del volumen, sin importar el tipo de proceso, como por ejemplo, para gases ideales y fluidos incompresibles.

En cualquier caso,

$$dU = C_v dT \quad (\text{Ec. 2.3})$$

$$\Delta U = \int_{T_1}^{T_2} C_v dT \quad (\text{Ec. 2.4})$$

Para un proceso a volumen constante mecánicamente reversible,  $Q = \Delta U$ , con lo que la ecuación (2.4) puede escribirse como

$$Q = \Delta U = \int_{T_1}^{T_2} C_v dT \quad (\text{Ec. 2.5})$$

De manera similar, la entalpía específica o molar puede expresarse como una función de la temperatura y la presión:

$$H = H(T, P)$$

De aquí que

$$dH = \left( \frac{\partial H}{\partial T} \right)_P dT + \left( \frac{\partial H}{\partial P} \right)_T dP \quad (\text{Ec. 2.6})$$

De acuerdo con la ecuación (2.6), la expresión anterior se convierte:

$$dH = C_p dT + \left( \frac{\partial H}{\partial P} \right)_T dP \quad (\text{Ec. 2.7})$$

De nuevo, existen dos circunstancias bajo las cuales el último término puede hacerse cero:

1. Para cualquier proceso a presión constante.

2. Que la entalpía de la sustancia sea independiente de la presión, sin importar el tipo de proceso. Lo anterior se cumple para gases ideales y aproximadamente cierto para gases a baja presión, sólidos y líquidos fuera de la región crítica.

En cualquier caso,

$$dH = C_p dT \quad (\text{Ec. 2.8})$$

Y

$$\Delta H = \int_{T_1}^{T_2} C_p dT \quad (\text{Ec. 2.9})$$

Por otra parte,  $Q = n \cdot \Delta H$  para procesos mecánicamente reversibles, a presión constante ecuación (2.9), así como para la transferencia de calor en intercambiadores con flujo continuo, donde  $\Delta E_p$  y  $\Delta E_k$ , son despreciables y  $W_s = 0$ . (Geankoplis, 1998).

En cualquier caso,

$$Q = n \Delta H = n \int_{T_1}^{T_2} C_p dT \quad (\text{Ec. 2.10})$$

## 2.3 BALANCES DE MATERIA Y ENERGÍA

### 2.3.1 Balance de materia

Para efectuar un balance de materia de un proceso, primero hay que especificar en qué consiste el sistema para el cual se hará el balance y establecer sus fronteras. Un sistema se refiere a cualquier porción arbitraria o la totalidad de un proceso establecida específicamente para su análisis. La figura muestra un sistema en el que hay flujo y reacción; se observa en particular que la frontera del sistema se circunscribe formalmente alrededor del proceso mismo a fin de subrayar la importancia de delinear cuidadosamente el sistema para cada uno de los problemas que se intente resolver. Un sistema abierto (o continuo) es aquel en que se transfiere material por la frontera del sistema; esto es, entra en el sistema, sale del sistema o ambas cosas. Un sistema cerrado (o por lotes) es aquel en el que no tiene lugar una transferencia semejante durante el intervalo de tiempo de interés.

Un balance de materia no es más que una contabilización de material.

$$\left\{ \begin{array}{c} \text{acumulación} \\ \text{dentro} \\ \text{del} \\ \text{sistema} \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{c} \text{entrada} \\ \text{por las} \\ \text{fronteras} \\ \text{del sistema} \end{array} \right\} - \left\{ \begin{array}{c} \text{salida} \\ \text{por las} \\ \text{fronteras} \\ \text{del sistema} \end{array} \right\} + \left\{ \begin{array}{c} \text{generación} \\ \text{dentro del} \\ \text{sistema} \end{array} \right\} - \left\{ \begin{array}{c} \text{consumo} \\ \text{dentro} \\ \text{del} \\ \text{sistema} \end{array} \right\} \quad (\text{Ec. 2.11})$$

Como término genérico, el balance de materia se puede referir a un balance en un sistema para

1. La masa total

2. El total de moles
3. La masa de un compuesto químico
4. La masa de una especie atómica
5. Los moles de un compuesto químico
6. Los moles de una especie atómica
7. El volumen (posiblemente)

La ecuación 2.11 se aplica a las primeras seis categorías. Porque la ecuación se basa en la conservación de la masa, y si los materiales que entran en cada término no tienen la misma densidad, o si hay efectos de mezcla, los volúmenes de los materiales no se podrán balancear.

Si no ocurre acumulación en un problema, y no se consideran los términos de generación y consumo, el balance de materia se reduce a una relación muy sencilla para un compuesto o para el total de materiales, misma que puede expresarse en palabras de forma sucinta como: “Lo que entra debe salir”, o sea

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{entrada de masa/moles} \\ \text{por las fronteras} \\ \text{del sistema} \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{l} \text{salida de masa/moles} \\ \text{por las fronteras} \\ \text{del sistema} \end{array} \right\} \quad (\text{Ec. 2.12})$$

### 2.3.2 Balance de energía

La transferencia de calor es uno de los temas más tratados en la termodinámica, el cual se refiere a cómo la energía pasa de un material o de un lugar a cierta temperatura, a otro material o a otro lugar a una temperatura diferente. Para aplicar el principio de conservación de energía, se debe

definir el espacio o el material de interés que contiene esa energía (Bird, Stewart, 1997).

La propiedad es una característica de un material que se puede medir, como presión, volumen o temperatura, o que se puede calcular, si no se mide directamente, como ciertos tipos de energía. Las propiedades de un sistema dependen de su condición en un momento dado y no de lo que haya sucedido al sistema en el pasado.

Una propiedad extensiva es aquella cuyo valor es la suma de los valores para cada uno de los subsistemas que constituyen el sistema completo.

Una propiedad intensiva es aquella cuyo valor no es aditivo y no varía con la cantidad de material que contenga el subsistema

La energía existe en muchas formas distintas las más conocidas o utilizadas son; trabajo, calor, energía cinética, energía, potencial, energía interna y entalpía.

El trabajo es una forma de energía que representa una transferencia entre el sistema y el entorno. No es posible almacenar trabajo. El trabajo es positivo si se hace sobre el sistema. Para que una fuerza mecánica realice un trabajo, la frontera del sistema debe moverse.

El calor ( $Q$ ) comúnmente se define como la parte del flujo total de energía a través de la frontera de un sistema que se debe a una diferencia de temperatura entre el sistema y su entorno. El calor no se almacena ni se crea. El calor es positivo cuando se transfiere al sistema. El calor puede transferirse por conducción, convección o radiación. El calor, al igual que el trabajo, es una función de la trayectoria.

La energía cinética (K) es la energía que un sistema posee en virtud de su velocidad relativa respecto al entorno que se encuentra en reposo. La energía cinética se puede calcular a partir de la relación

$$K = \frac{1}{2}mv^2 \quad (\text{Ec. 2.13})$$

Siendo m la masa y v la velocidad

La energía potencial (P) es la energía que un sistema posee debido a la fuerza que un campo gravitacional o electromagnético ejerce sobre él respecto a una superficie de referencia. En el caso de un campo gravitacional, la energía potencial se puede calcular como:

$$P = mgh \quad (\text{Ec. 2.14})$$

Donde h es la distancia a que se encuentra la superficie de referencia

La energía interna (U) es una medida macroscópica de las energías molecular, atómica y subatómica, todas las cuales obedecen reglas de conservación microscópicas definidas para los sistemas dinámicos. Dado que no existen instrumentos capaces de medir la energía interna directamente en una escala macroscópica, esta energía debe calcularse a partir de ciertas otras variables que sí pueden medirse macroscópicamente, como la presión, el volumen, la temperatura y la composición.

La entalpía se define como la combinación de dos variables que aparecen con mucha frecuencia en el balance de energía:

$$H = U + pV \quad (\text{Ec. 2.15})$$

Donde p es la presión y V es el volumen.

A fin de calcular la entalpía por unidad de masa, aprovechamos la propiedad de que la entalpía también es un diferencial exacto. En el caso de una sustancia pura, la entalpía de una sola fase se expresa en términos de la temperatura y la presión

Funciones punto, como la entalpía específica y energía interna específica así como la temperatura, la presión y la densidad se denominan funciones punto o variables de estado para subrayar que sus valores dependen únicamente del estado del material y no del camino que siguió el material para llegar a ese estado (Himmelblau, 1997).

El concepto de balance de energía macroscópico es similar al del balance de materia macroscópico, a saber,

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{acumulación de} \\ \text{energía dentro} \\ \text{del sistema} \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{l} \text{transferencia de} \\ \text{energía al sistema a} \\ \text{través de su frontera} \end{array} \right\} - \left\{ \begin{array}{l} \text{transferencia de energía} \\ \text{hacia fuera del sistema} \\ \text{a través de su frontera} \end{array} \right\} \quad (\text{Ec. 2.16})$$

$$+ \left\{ \begin{array}{l} \text{generación de energía} \\ \text{dentro del sistema} \end{array} \right\} - \left\{ \begin{array}{l} \text{consumo de} \\ \text{energía dentro} \\ \text{del sistema} \end{array} \right\}$$

Si se usa la notación descrita, la ecuación (2.16) en símbolos se convierte en:

$$\Delta E = E_{t_2} - E_{t_1} = \Delta U + \Delta P + \Delta K = Q + W \quad (\text{Ec. 2.17})$$

Esta ecuación se puede expresar de igual manera en función de la entalpía ( $\Delta H$ )

De manera que de acuerdo con el principio de la conservación de la energía se tiene:

$$\begin{array}{c} \text{Energía} \\ \text{transferida} \\ \text{hacia adentro} \end{array} + \begin{array}{c} \text{Energía} \\ \text{transferida} \\ \text{hacia afuera} \end{array} = 0 \quad (\text{Ec. 2.18})$$

## 2.4 GENERACION DE VAPOR

Los procesos de transmisión de calor acompañados por un cambio de fase son más complejos que el simple intercambio de calor entre fluidos. Un cambio de fase implica la adición o substracción de cantidades considerables de energía calorífica a temperatura constante o casi constante. La velocidad del cambio de fase puede estar regida por la velocidad de transmisión de calor.

Son estos principios bajos los cuales operan las calderas, que no son más que equipos de ingeniería que están diseñados para generar vapor saturado otros las describen como todo aparato a presión en donde el calor procedente de cualquier fuente de energía se transforma en energía utilizable, a través de un medio de transporte en fase líquida o vapor. Las calderas se pueden considerar como un caso particular de intercambiadores de calor. Además por ser recipientes a presión, deben ser construidas en parte con acero laminado a semejanza de muchos contenedores de gas.

Las calderas son muy utilizadas a nivel industrial debido a las aplicaciones que tiene el vapor pudiendo mencionar algunas:

Es normal encontrar calderas en centros hospitalarios, las cuales generan vapor para la esterilización de instrumentos quirúrgicos, también se puede utilizar el vapor en comedores para esterilizar cubiertos.

En la industria del petróleo se requiere el calentamiento de crudo pesado para mejorar su fluidez y el vapor juega un papel importante en este caso.

En las centrales termoeléctricas, las calderas son una de las partes fundamentales.

Es común la confusión entre caldera y generador de vapor, pero su diferencia está en que el generador produce vapor sobrecalentado.

#### **2.4.1 Calderas**

Los generadores de vapor son instalaciones industriales que, aplicando el calor de un combustible sólido, líquido o gaseoso, vaporizan el agua para aplicaciones en la industria. El agua tiene un calor de vaporización alto ya que, para romper los puentes de hidrogeno que enlazan las moléculas, es necesario suministrar mucha energía; también tiene un calor de fusión alto (Smith, Van Ness, 1997).

El vapor o el agua caliente se producen mediante la transferencia de calor del proceso de combustión que ocurre en el interior de la caldera, elevando, de esta manera, su presión y su temperatura. Debido a estas altas presiones y temperaturas se desprende que el recipiente contenedor o recipiente de presión debe diseñarse de forma tal que se logren los límites de diseño deseado, con un factor de seguridad razonable.

Una caldera es un aparato de transferencia térmica que convierte combustible fósil, energía eléctrica o nuclear, a través de un medio de trabajo como agua, o fluidos orgánicos tales como el Dowthem, y así dirige esta energía hacia algún aparato externo de transferencia de calor, como los utilizados para calefacción de edificios o de utilización en procesos. Esta

energía puede también convertirse para producir energía mecánica mediante turbinas de vapor o con turbo-generadores para producir energía eléctrica (Levenspiel, 1993).

El flujo térmico en una caldera puede aceptar la eficiencia de la operación y puede producir problemas de recalentamiento, como cuando se deja o se permite que se acumulen capas de incrustación en los tubos. El flujo de calor puede tener lugar por conducción, convección o radiación y normalmente tiene lugar de los tres modos en el interior de la caldera.

Conducción es la transferencia de calor de una parte del material a otra o a un material con el que está en contacto. El calor se entiende como una actividad molecular o, hablando más claramente, como la vibración de las moléculas de un material. Cuando se calienta una parte de un material, la vibración molecular aumenta. Esto excita el incremento de la actividad en las moléculas adyacentes, y el flujo térmico se establece desde la parte caliente del material a las partes más frías. En las calderas tiene lugar una considerable conductividad superficial entre un fluido y un sólido, por ejemplo entre el agua y un tubo o entre el gas y un tubo.

La convección es la transferencia de calor a o desde un fluido fluyendo hacia o sobre de un cuerpo. Con mayor precisión, se define como libre o forzada. La convección libre es la que produce circulación del fluido de transferencia debido a una diferencia de densidad resultante de los cambios de temperatura.

La convección forzada tiene lugar cuando la circulación del fluido es producida por algún medio mecánico significativo, como una bomba de agua o un ventilador para los gases. La transferencia de por convección está pues

ayudada mecánicamente, en el caso de convección forzada (McCabe, Smith, Harriott, 1991).

El circuito hidráulico de una caldera consta de vías de flujo de agua creado por la diferencia entre las alturas o columnas de agua y de mezcla agua-vapor. El flujo en los tubos y montajes está inducido por la diferencia en la densidad del agua y en las mezclas agua-vapor. El agua más pesada fluirá a la parte inferior mientras que la mezcla agua-vapor asciende en la caldera por las vías agua-vapor. A mayor presión del vapor, mayor densidad adquiere, lo que da como resultado una pérdida de flujo a medida que el vapor se aproxima en densidad a la del agua. Esta es la razón por la que se usan las bombas para promover la circulación en calderas de muy alta presión. El flujo insuficiente crea ineficiencia en la utilización de las superficies de calefacción, pero puede también dar como resultado el recalentamiento de los tubos debido a la falta de circulación de agua.

La radiación es una forma continua de intercambio de energía por medio de ondas electromagnéticas sin cambio en la temperatura del medio interpuesto entre los dos cuerpos. La radiación siempre está presente en todas las calderas. De hecho, todas las calderas utilizan los tres modos de transferencia térmica: conducción convección y radiación.

El mayor número de calderas en uso hoy en día en plantas comerciales y pequeñas plantas industriales son las calderas marinas escocesa (SM). Esta caldera fue usada originalmente para servicio marino porque el hogar forma parte integrante del conjunto de la caldera, permitiendo una construcción más compacta que requiere poco espacio para su capacidad de producción. (Kohan, 2000).

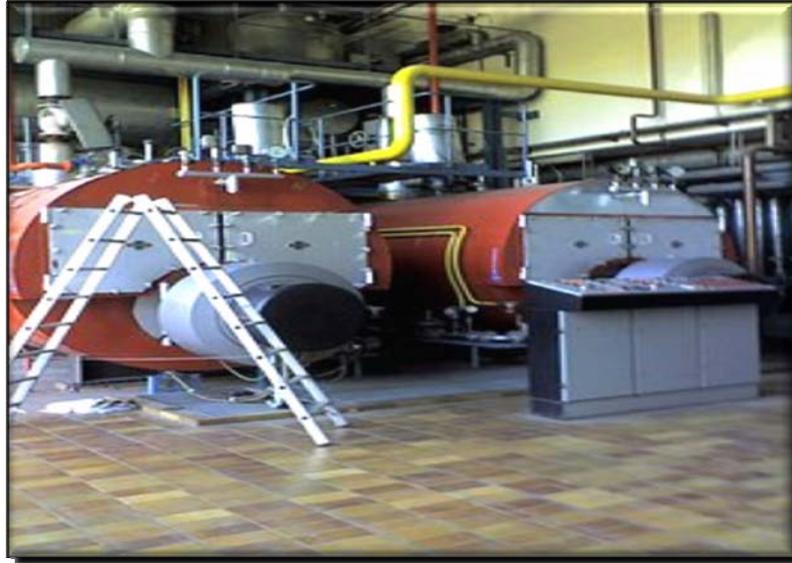
### 2.4.2 Tipos de Calderas

- Acuotubulares: son aquellas en las que el fluido de trabajo se desplaza entre los tubos durante su calentamiento. Son las más utilizadas en las centrales termoeléctricas, ya que permiten altas presiones a su salida, y gran capacidad de generación; se emplean para aumentar la superficie de calefacción, y están inclinadas para que el vapor a mayor temperatura al salir por la parte más alta, provoque un ingreso natural del agua más fría por la parte más baja.

Sus características principales son las siguientes:

- Se componen por uno o más cilindros que almacenan el agua y vapor (colectores) unidos por tubos de pequeño diámetro por cuyo interior circula el agua.
- Estas calderas son apropiadas cuando el requerimiento de vapor, en cantidad y calidad es alto.
- Se construyen para capacidades mayores a 5.000 kg/h de vapor (5 ton/h) con valores máximos en la actualidad de 2.000 ton/h.
- Permiten obtener vapor a temperaturas del orden de 550 °C y presiones de 200 kg/cm<sup>2</sup> o más.

En la figura 2.7 se muestra una sala de generación de vapor con dos calderas acuotubulares



**Figura 2.7 Calderas acuotubulares**

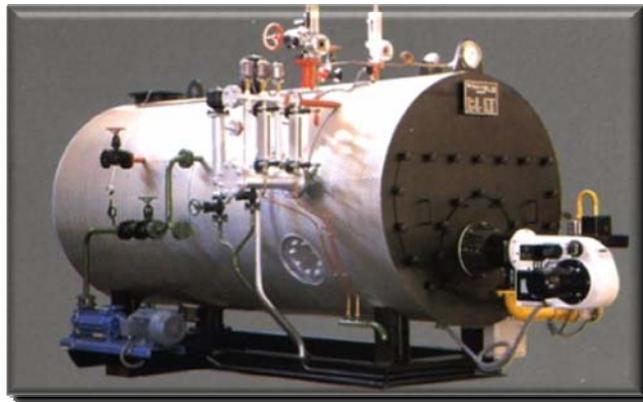
- Piro-tubulares: en este tipo de calderas el fluido en estado líquido se encuentra en un recipiente, y es atravesado por tubos por los cuales circula fuego y gases producto de un proceso de combustión.

Sus principales características son:

- Básicamente son recipientes metálicos, comúnmente de acero, de forma cilíndrica o semicilíndrica, atravesados por grupos de tubos por cuyo interior circulan los gases de combustión.
- Por problemas de resistencia de materiales, su tamaño es limitado. Sus dimensiones alcanzan a 5 m de diámetro y 10 m de largo. Se construyen para Flujos máximos de 20.000 kg/h de vapor y sus presiones de trabajo no superan los 18 kg/cm<sup>2</sup>.
- Pueden producir agua caliente o vapor saturado. En el primer caso se les instala un estanque de expansión que permite absorber las dilataciones de agua.

- En el caso de vapor poseen un nivel de agua a 10 o 20 cm. sobre los tubos superiores.
- Sencillez de construcción.
- Facilidad de inspección, reparación y limpieza.
- Gran peso.
- Lenta puesta en marcha.
- Gran peligro en caso de explosión o ruptura debido al gran volumen de agua almacenada.

En la figura 2.8 se muestra una caldera pirotubular.



**Figura 2.8 Caldera pirotubular**

### **2.4.3 Funcionamiento de las calderas**

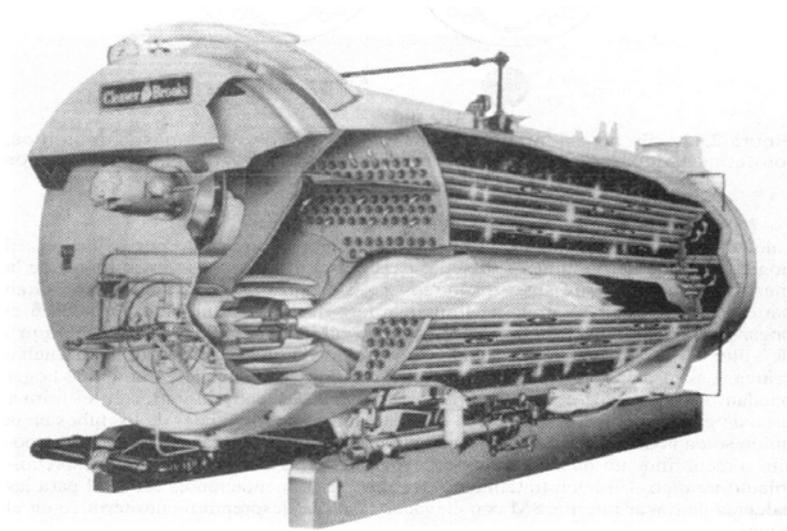
Consiste en aplicar calor al agua cuando se quema un combustible sólido, líquido o gaseoso y ésta se vaporiza para diversas aplicaciones industriales, durante su funcionamiento, la caldera está sometida interiormente a la presión de equilibrio del agua y de su vapor a la temperatura alcanzada.

En toda caldera se distinguen dos zonas importantes:

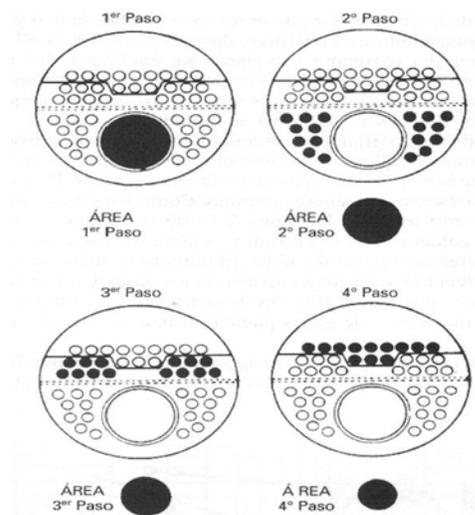
- Zona de liberación de calor o cámara de combustión: es el lugar donde se quema el combustible. Puede ser interior o exterior con respecto al recipiente
  - Interior: la cámara de combustión se encuentra dentro del recipiente metálico o rodeado de paredes refrigeradas por agua.
  - Exterior: cámara de combustión constituida fuera del recipiente metálico. Está parcialmente rodeado o sin paredes refrigeradas por agua.
- Zona de tubos: es la zona donde los productos de la combustión (gases) transfieren calor al agua principalmente por convección (gases-aguas) (Caballanos, 2007).

En calderas de diámetro grande, es práctico utilizar más de un hogar. Dos, tres o incluso cuatro hogares se utilizan en las grandes calderas del tipo marina escocesa; la figura 2.9 es una vista en corte seccional de un modelo de cuatro pasos, esta unidad mantiene una velocidad de gases alta de manera continua, de modo que los gases calientes atraviesan los cuatro pasos, como se ve en la figura 2.10, transfiere calor al agua de la caldera y así se enfrían y ocupan menos volumen a medida que progresan por los diferentes pasos de tubos.

El número de tubos se reduce proporcionalmente para mantener la velocidad elevada de los gases y así mantener la producción lo más constante posible en función de la transferencia térmica (Kohan, 2000).



**Figura 2.9 Caldera de hogar interior SM de cuatro pasos.**



**Figura 2.10 Interior de las calderas de hogar SM de varios pasos de humos.**

#### 2.4.4 Calidad de agua en una caldera

Vapor limpio es agua pura en forma de gas, cuando el vapor se enfría se condensa es agua pura, normalmente conocida como “condensados”. Normalmente estos condensados contienen una gran cantidad de calor que

puede ser empleada. Estos condensados son casi perfectos como “make-up” o alimentación a la caldera una vez que ha sido degasificada para eliminar los gases disueltos como el oxígeno.

Los problemas más frecuentes en lo referente a la calidad del agua y que influyen en la operación de la caldera son:

- Formación de depósitos, la incrustación es indeseable ya que al formar una capa en los tubos y demás componentes del equipo, evitan la transmisión efectiva del calor. Esto conduce a una baja eficiencia en la producción de vapor, disminuyendo la cantidad de vapor producido por unidad de calor generado, y también causa desgaste del tubo y accesorios por fatiga térmica ya que se requiere de mayor temperatura del metal en la parte expuesta a la flama, que cuando no existe incrustación y este desgaste térmico afecta también la vida útil del equipo

Los depósitos se producen por sólidos suspendidos que el agua pueda contener y principalmente por formación de depósitos de sulfatos y carbonatos de calcio y magnesio, en mezclas complejas con otros componentes como sílice, bario, etc.

Para evitar la formación de incrustaciones se deben remover los sólidos coloidales y materia suspendida que el agua contenga y ablandamiento o suavización del agua cruda antes de integrarla a la caldera.

- Corrosión por oxidación del metal, los principales componentes de la caldera son metálicos. Los agentes que atacan el hierro y lo disuelven son los gases corrosivos como oxígeno y bióxido de carbono. También la acidez del agua causa corrosión por lo que el pH debe mantenerse entre 9.0 y 11.5.

El control del oxígeno disuelto es uno de los puntos críticos en la operación de la caldera. Las picaduras o áreas de desgaste localizadas en ciertas partes de los tubos de la caldera ocurre por la acción corrosiva del oxígeno.

En el condensador del sistema, el dióxido de carbono se suma a la acción corrosiva del oxígeno y destruyen en poco tiempo el tanque del condensador si no son removidos estos gases.

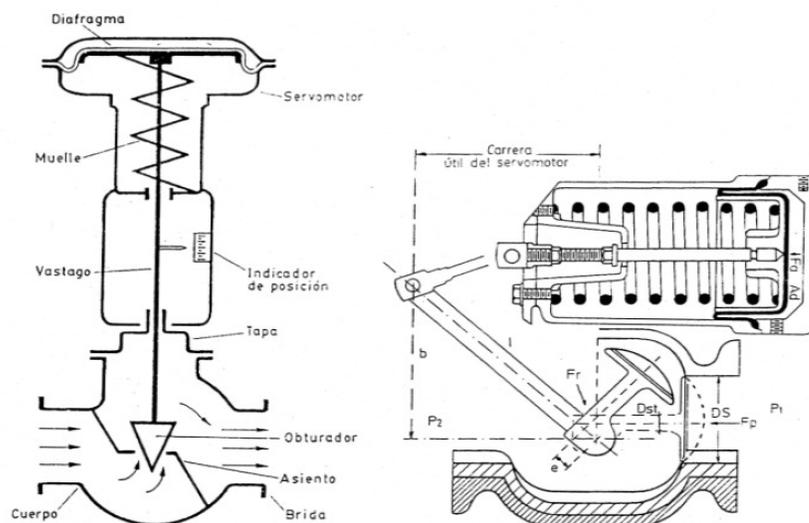
- Fragilización cáustica, si la alcalinidad a la fenolftaleína que es la que se encuentra en forma de carbonatos es muy alta, pueden presentarse problemas de fragilización del metal. Esta pérdida de elasticidad, también puede ocurrir por frecuentes shocks térmicos en la caldera, al complementar sin calentamiento previo el agua de repuesto para compensar por las pérdidas por fugas de vapor o por purgas de la caldera.

- Formación de espumas, esto ocurre cuando hay presencia de materia orgánica o de una gran cantidad de sólidos disueltos en el agua de la caldera. Una espuma estable acompaña al vapor que sale del evaporador dando lugar a un importante arrastre. En casos extremos toda la masa de líquido puede salir con el vapor y perderse. Para evitar la formación de espumas, se purga la caldera cuando en el agua se alcanza un cierto nivel preestablecido de sólidos disueltos. Otra acción preventiva consiste en tener un tratamiento externo del agua de alimentación para evitar la presencia de sólidos suspendidos de naturaleza orgánica, así como de grasas y aceites del equipo de proceso que puedan contaminar el agua (Sisteagua, 2007).

## 2.5 VALVULAS DE CONTROL

En el control automático de los procesos industriales la válvula de control juega un papel muy importante en el bucle de regulación; realiza la función de variar el caudal del fluido de control que modifica a su vez el valor de la variable medida comportándose como un orificio de área continuamente variable, dentro del bucle de control tiene tanta importancia como el elemento primario, el transmisor y el controlador. En la figura 2.11 puede verse una válvula de control típica se compone básicamente del cuerpo y del servomotor.

El cuerpo de la válvula contiene en su interior el obturador y los asiento y está provisto de rosca o de bridas para conectar la válvula a la tubería, el obturador es quien realiza la función de control de paso del fluido y puede actuar en la dirección de su propio eje o bien tener un movimiento rotativo; está unido a un vástago que pasa a través de la tapa del cuerpo y que es accionado por el servomotor.



**Figura 2.11 Válvula de control representativa**

Las válvulas pueden ser de varios tipos según sea el diseño del cuerpo y el movimiento del obturador.

Las válvulas de movimiento lineal en las que el obturador se mueve en la dirección de su propio eje se clasifican en; las válvulas de tres vías pueden ser convergentes o divergentes y, en consecuencia, con ellas se puede separar una corriente en dos o se pueden mezclar dos corrientes en una sola, comúnmente se utilizan para propósito de control; existen algunos otros tipos de válvulas de control con vástago recíproco, la mayoría de ellas se utilizan en servicios especializados, algunas de éstas son la válvula estilo Y, la cual se utiliza comúnmente en servicio de fundición de metales o criogénico; la válvula de apriete o diafragma, que posee alguna parte flexible, por ejemplo, un diafragma que se puede mover junto con, o abrir, o cerrar el área de flujo y comúnmente se utiliza con fluidos altamente corrosivos, suspensiones y líquidos de alta viscosidad, así como en operaciones de procesamiento de alimentos tales como la elaboración de cerveza y vino; la válvula de compuerta es otro tipo de válvula de vástago recíproco que se utiliza principalmente en servicios donde se necesite una abertura o un cierre completo, sin embargo, por regular no se emplean en servicios de estrangulamiento.

Existen varios tipos usuales de válvulas de vástago rotatorio; uno de los más comunes es la válvula de mariposa ellas constan de un disco que gira alrededor de un eje; se requiere mínimo espacio para su instalación, y se tiene alta capacidad de flujo con caída de presión mínima; se utilizan en servicios de baja presión.

Otra válvula común de vástago rotatorio es la válvula de esfera con estas ellas también se logra una alta capacidad de flujo con caída mínima de

presión; se utilizan comúnmente para manejar suspensiones o materiales fibrosos; la tendencia a escurrimiento es baja y su tamaño es pequeño. En el mercado existe un gran número de válvulas para cubrir los requerimientos de servicios especializados, así como de seguridad y de otros tipos de regulaciones.

El cuerpo de la válvula debe resistir la temperatura y la presión del fluido sin pérdidas, tener un tamaño adecuado para el caudal que debe controlar y ser resistente a la erosión o a la corrosión producida por el fluido.

El cuerpo y las conexiones a la tubería (bridadas o rascadas) están normalizados de acuerdo con las presiones y temperaturas de trabajo en las normas DIN y ANSI, entre otras (Smith, Corripio, 1991).

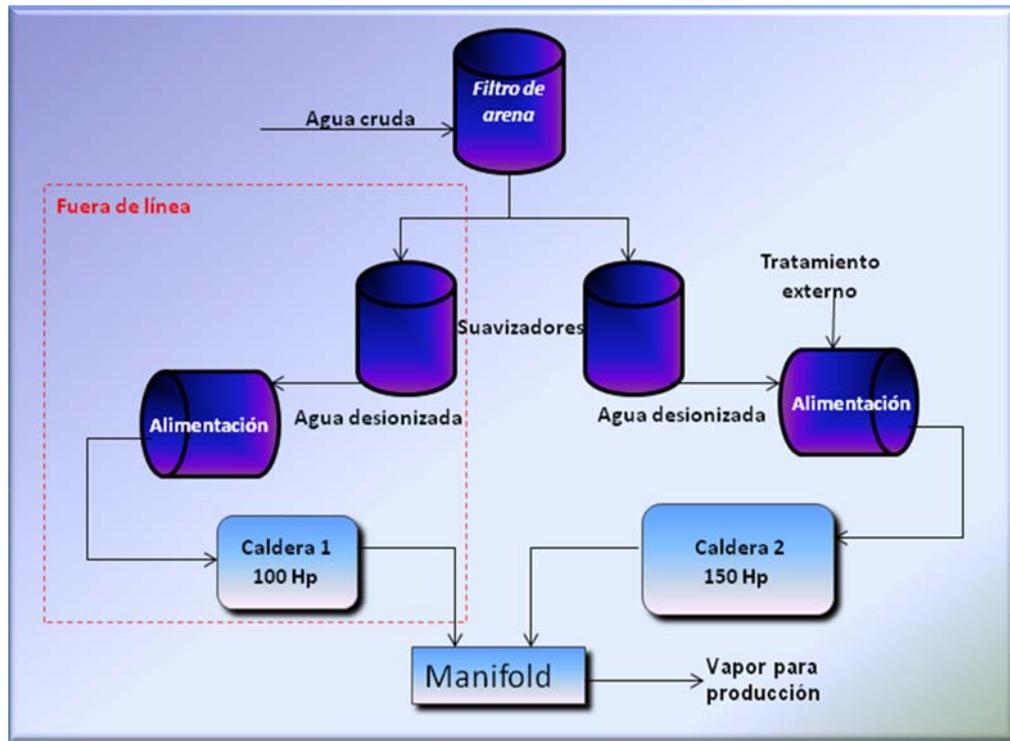
## **CAPÍTULO III**

### **DESARROLLO DEL PROYECTO**

#### **3.1 CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DEL AGUA DE ALIMENTACIÓN E INTERNA DE LA CALDERA.**

Para llevar a cabo la caracterización físicoquímica de las aguas involucradas en el proceso de generación de vapor de la empresa Súper S C.A., primero se procedió a una inspección en la sala de calderas, con el fin de conocer la ubicación de cada uno de los equipos que constituyen este proceso en compañía de los operarios de máquina y un personal encargado del área de planta. Con esta evaluación se encontró que la sala de calderas de la empresa cuenta con dos calderas pirotubulares, una de 100 Hp de marca CONTINENTAL fuera de línea y otra de 150 Hp en funcionamiento de marca SUPERIOR como equipo principal, un filtro de arena, dos equipos de suavizamiento de agua cruda marca CONTINENTAL Modelo 20-0150-M cada uno y dos tanques de alimentación de aproximadamente 5.200 litros de capacidad, uno de los tanques de alimentación cuenta con sistema de adición de químicos por medio de bombas dosificadoras de diafragma para el control de algunos de los parámetros del agua de alimentación para calderas.

En la figura 3.1 se observa una imagen referencial de la distribución de los equipos en la sala de calderas.



**Figura 3.1 Sala de calderas de la planta Súper S C.A. [Fuente propia].**

Una vez observada la ubicación de los equipos en la sala de calderas, fue necesario para la evaluación fisicoquímica, identificar las diferentes salidas donde se tomarían las muestras, cabe destacar que los equipos contaban con los toma muestras.

El agua de alimentación a la caldera es comúnmente almacenada en un tanque, el cual posee un sistema de control de nivel para mantenerlo con agua suficiente y satisfacer la demanda; una bomba de alta presión impulsa el fluido del tanque hacia el interior de la caldera, debido a que generalmente estos equipos operan a presiones mucho más elevadas que las que se encuentran en los tanques de agua.

En la figura 3.2 se refleja el toma muestra del tanque de alimentación de la caldera que se encuentra en funcionamiento



**Figura 3.2 Toma de muestra del tanque de agua de alimentación [Fuente propia].**

En la figura 3.3 se refleja el toma muestra del agua que se encuentra en la parte interna de la caldera



**Figura 3.3 Toma de muestra del agua interna de la caldera [Fuente propia].**

Una vez conocida la ubicación de los toma muestras, se procedió a probarlos y a estudiar las condiciones de operación de la caldera, para que al momento de empezar no se alterara con el funcionamiento de la misma y poder tomar las precauciones necesarias, porque es un equipo que opera a una presión alta. Para tomar las muestras de agua del alimentador, la cual se encuentra a una temperatura de 33 °C, se abre la válvula un poco, al tomar la muestra no se alteraba la entrada de agua a la caldera; mientras que para el caso del agua interna se tomo algunas precauciones, porque en el interior de la caldera existe un equilibrio liquido-vapor y una presión alta, y al abrir la válvula se observaba solo la salida del vapor de agua, por lo que se tenía que abrir esta válvula muy poco e inyectar una corriente de agua fría al condensador, para que saliera agua en estado líquido, todo esto se realizó con el quipo de seguridad adecuado.

Luego de esto, se procedió a tomar las muestras de agua a estudio y realizar los análisis de laboratorio relacionados con la calidad del agua tanto de alimentación como interna del sistema de generación de vapor, los parámetros evaluados fueron dureza, conductividad, pH, fosfato, sulfito, alcalinidad P (fenoltáleinica), alcalinidad M (metílica) y alcalinidad OH ( $\text{CaCO}_3$ ), fueron realizadas en las instalaciones del laboratorio de la empresa Súper S C.A.

La Empresa Súper S cuenta con un manual elaborado por la Empresa NALCO, encargada del tratamiento químico realizado a la caldera, el cual sirvió de guía en la realización de los análisis.

Antes de realizar los análisis, es necesario tener presente los límites dentro de los cuales deberían encontrarse los parámetros de los dos tipos de agua estudiada, estos rangos se muestran en la tabla 3.1.

**Tabla 3.1 Parámetros de control de las aguas de generación de vapor (Kemmer, Frank, 1988).**

Parámetros	Agua de Alimentación	Agua de Caldera
pH	8,5-11	10,5-12
Conductividad a 25 °C $\mu\text{S/cm}$	N/A	<5000
Dureza Total ppm $\text{CaCO}_3$	0-0,5	N/A
Sulfito ppm $\text{SO}_3$	30-50	30-50
Fosfato ppm $\text{PO}_4$	30-60	30-60
Alcalinidad Total (OH) ppm $\text{CaCO}_3$	N/A	150-350

**Leyenda:** N/A: no aplica ppm: partes por millón

### 3.1.1 Procedimiento experimental

*Determinación de pH* en la muestra de agua de alimentación e interna de la caldera.

1- Verter en un beaker (previamente lavado con agua destilada) 100 ml de muestra (la muestra debe estar a temperatura ambiente).

2- Lavar y secar el electrodo del pH meter y sumergirlo en la muestra, esperar estabilización y luego anotar el valor de pH.

*Conductividad del agua:*

1- Añadir en un beaker (previamente lavado con agua destilada) 50 ml de muestra (la muestra debe estar a temperatura ambiente).

2- Enjuagar el electrodo del conductímetro con agua destilada antes de introducirlo en la muestra.

3- Insertar el electrodo del conductímetro en la muestra. Verificar la escala de medición del equipo.

4- Esperar que el equipo se estabilice y de la lectura de conductividad.

*Dureza total:*

1- Añadir 10 ml de muestra en el tubo de ensayo previamente lavado con agua destilada.

2- Añadir 10 gotas de solución HTD-1. Agitar

3- Titular con solución de HTD-3 hasta que una gota del titulante cambie el color de la muestra de rojo a azul intenso (no violeta).

4- El resultado de la cantidad de ppm de  $\text{CaCO}_3$  sería igual a la cantidad de gotas de solución HTD-3

*Alcalinidad:*

1- Añadir 10 ml de muestra enfriada y filtrada en el tubo de ensayo lavado previamente con agua destilada.

2- Añadir 1 gota de indicador P y agitar hasta que la muestra tome un color fucsia, si no se torna este color la alcalinidad P es igual a cero.

3- Si la muestra se torna de color fucsia, titular con solución AKD-1, hasta que desaparezca esa coloración.

4- Multiplicar las gotas de AKD-1 gastadas por 5 y anotar el valor como alcalinidad P.

5- Sin volver a llenar el tubo añadir 3 gotas de indicador M a la solución anterior. La muestra se tornara verde azulado.

6- Continuar la titulación con solución de AKD-1, hasta que se torne un color rosado anaranjado.

7- Multiplicar las gotas de AKD-1 usadas por 5, anotar ese valor como resultado de alcalinidad M.

8- la obtención del valor de la alcalinidad OH en ppm de  $\text{CaCO}_3$  es dos veces la alcalinidad P menos la alcalinidad M.

*Sulfito:*

1- Añadir 10 ml de muestra recién tomada y enfriada a menos de 50 °C en el tubo de ensayo previamente lavado con agua destilada.

2- Añadir 0,1 g de ácido sulfámico.

3- Añadir 10 gotas de la solución SFD-1.

4- Añadir 5 gotas de solución SFD-2.

5- Titular con solución SFD-3, agotando suavemente, hasta que una gota del titulante cambie el color de la muestra de incoloro a azul (el punto final puede ser verde o gris).

6- La cantidad de  $\text{ppmSO}_3$  es la cantidad de gotas gastadas de la solución SFD-3 multiplicadas por 5.

*O-fosfato:*

1- Añadir 5 ml de muestra en cada una de las celdas del comparador agregar 1 ml de solución POC-1, agitar y esperar 5 min.

2- Añadir 3 gotas de solución POC-2, agitar

3- Si hay o-fosfato en la muestra, esta tomará una coloración azul. La concentración de orto-fosfato estará determinada al comparar el blanco y la muestra mediante el disco insertado en el comparado

4- La concentración de ppm  $\text{PO}_4$  sería entonces la numeración que se refleja en el disco multiplicada por 10.

Los resultados de los análisis se muestran en el apéndice A.

### 3.2 CALCULO DE LA EFICIENCIA DE GENERACION DE VAPOR

Para calcular la eficiencia térmica de generación de vapor, es necesario tener la cantidad de vapor producido y la cantidad de combustible utilizado por la caldera. Para obtener la producción de vapor se utilizó un modelo matemático, que relaciona el desplazamiento de agua en el visor del nivel del tanque de alimentación con el volumen de agua alimentada, una vez teniendo este volumen y el tiempo de procesamiento del mismo, se obtuvo la cantidad de vapor producido y conociendo la cantidad de combustible utilizada, se logro calcular la eficiencia térmica de operación del equipo de generación de vapor.

En la figura 3.4 se observa el medidor de nivel del tanque de alimentación.

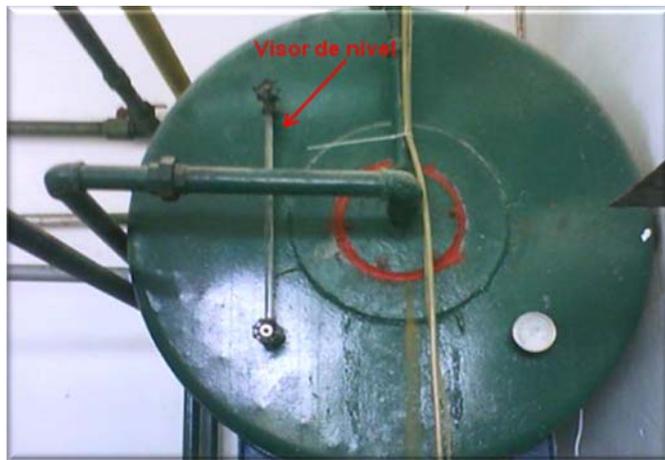


Figura 3.4 Tanque de agua de alimentación [Fuente propia].

### **3.2.1 Procedimiento experimental**

1- Se midió el nivel de agua inicial en el visor de nivel del tanque de alimentación de agua a la caldera, una vez que se activara la bomba que conecta al tanque de alimentación con la caldera, se midió ese tiempo de inyección de agua con un cronometro, luego se midió nuevamente el volumen de agua en el visor de nivel (para hacer las mediciones es necesario que la llave de entrada de agua al tanque de alimentación este totalmente cerrada).

2- Se midió la temperatura del agua alimentada (haciendo uso de un envase para colocar el agua) con un termómetro bimetálico para obtener la entalpia del líquido y se tomo lectura de la presión de generación de vapor para obtener la entalpia de salida del vapor saturado.

3- Se midió con un cronometro el tiempo de inyección de combustible (gas natural) y se observaba en un visor el volumen de combustible consumido.

### **3.3 REALIZACION DEL BALANCE DE MASA Y ENERGÍA DEL PROCESO DE GENERACION DE VAPOR EN EL AREA DE ACONDICIONAMIENTO**

Con la ayuda de operarios y técnicos se logró observar el destino del vapor producido en dos puntos de la empresa siendo estos una línea dirigida hacia el área peletización de alimentos y la otra hacia los tanques de grasa, la línea que va hasta los tanques de grasa no se estudió debido a que no es un punto a tratar, al mismo tiempo que es un área no controlada y las fugas de vapor son constantes y la tubería esta sin aislar.

La figura 3.5 muestra la distribución de las corrientes de vapor, así como también las temperaturas y presiones involucradas en el proceso. En la tabla 3.2 se describen las variables involucradas en el proceso.

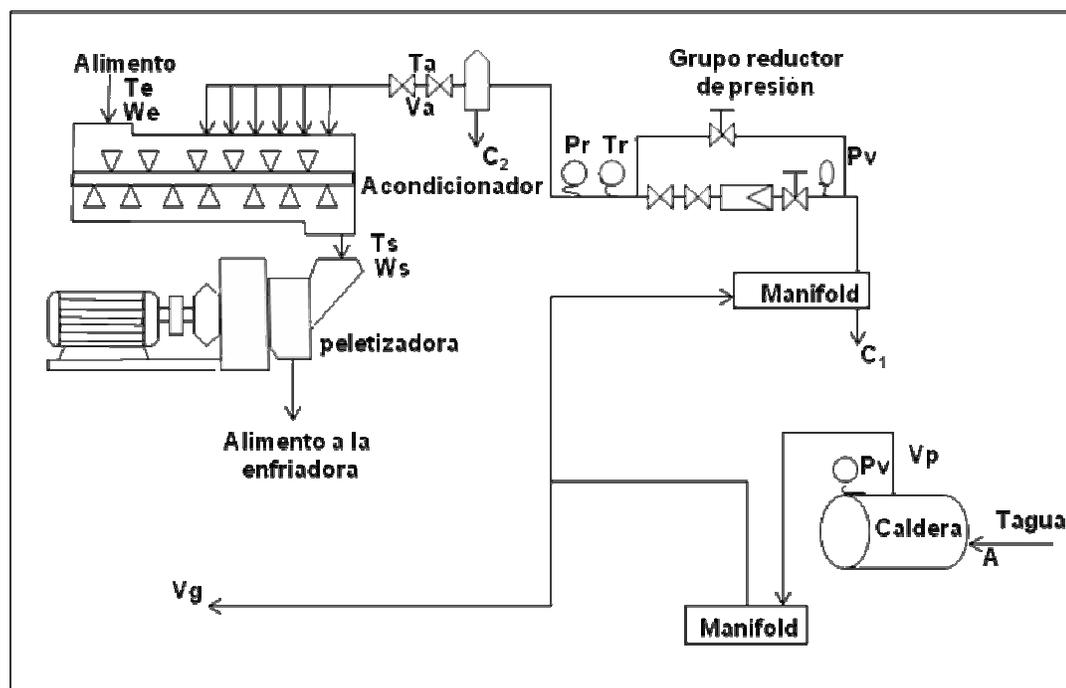


Figura 3.5 Generación de vapor [Fuente propia].

Tabla 3.2 Descripción de las variables de la figura 3.5.

Leyenda	
<b>Te, Ta y Ts</b>	Temperatura de entrada del alimento, temperatura de vapor alimentada al alimento y temperatura de salida del alimento respectivamente.
<b>We y Ws</b>	Humedad de entrada y de salida del alimento.
<b>Pv, Pr y Tr</b>	Presión de vapor generado, presión reducida y temperatura a la presión reducida.
<b>Tagua</b>	Temperatura del agua alimentada a la caldera.
<b>A</b>	Alimentación de agua para la caldera.
<b>Vp, Vg y Va</b>	Vapor producido, vapor destinado a mantener el estado líquido de las grasas y vapor para acondicionar el alimento a peletizar respectivamente.
<b>C<sub>1</sub> y C<sub>2</sub></b>	Masas de condensado de las dos botas existentes.

### 3.3.1 Balance de masa en el proceso de generación de vapor

Una vez las corrientes identificadas, se procedió a tomar las mediciones de agua alimentada (A) y tiempo de procesamiento; para ello se necesitó medir en el visor de nivel del tanque de alimentación de agua a la caldera, la altura inicial y la desplazada, al igual que el tiempo de procesamiento del agua; para luego estimar por medio de relaciones matemáticas, la cantidad de vapor producido ( $V_p$ ). Cabe destacar que siendo los intervalos de tiempo de procesamiento muy pequeños, se asumió que no existía acumulación en el interior de la caldera.

Análogo a esto, se procedió a tomar muestras de determinados alimentos en la entrada y salida del acondicionador, para conocer su respectiva humedad con la ayuda de un equipo llamado termo-balanza, encargado de medir humedad. La cantidad de vapor añadido ( $V_a$ ) a los distintos tipos de alimentos, se determinó por medio de un balance por componente de agua, realizado en el acondicionador.

Es importante mencionar que parte de la corriente principal de vapor, se está condensando fue necesario entonces, conocer esa cantidad de vapor, esto se logró ubicando las botas de condensado y midiendo volumétricamente el condensado en función del tiempo, al igual que la temperatura del agua para determinar su respectiva densidad y determinar la cantidad de vapor que se estaba condensando ( $C_1$  y  $C_2$ ).

Determinando estas corrientes, se procedió a determinar la cantidad de vapor dirigida hacia los tanques de grasa ( $V_g$ ) por medio de un balance global realizado en el proceso.

### 3.3.3 Balance de energía en el proceso de generación de vapor

El sistema de suministro de vapor estuvo integrado por una caldera piro-tubular que opera a cuatro pasos, este equipo suministró vapor a una presión de aproximadamente 100 psi (689,48 kPa). Antes de llegar a él acondicionador el vapor de alta presión se regulo por medio de un grupo de válvulas reductoras de presión hasta aproximadamente 40 psi (275,79 kPa). El vapor luego atravesó un ciclón de vapor, que despojo las fracciones de agua condensada en la corriente ( $C_1$ ), es importante mencionar que antes de ser regulada la presión alta, existe una fracción de condensado que es retornado a el tanque de alimentación de agua a la caldera ( $C_2$ ) como muestra la figura 3.5; una parte de calor aportado por la corriente de vapor también es dirigida hacia los tanques de grasa para mantener a la misma en un estado líquido fue necesario conocer ese calor, se asumió que el vapor en esta línea posee la misma presión con la que sale de la caldera debido a que solo es dividida la tubería.

Se necesitaba conocer las entalpias involucradas en el proceso, para ello se debía conocer las presiones o temperaturas del proceso y la condición del vapor, debido a que en el proceso la energía cinética y potencial son despreciables por estar el proceso en estado estacionario y se desprecio cualquier influencia del trabajo.

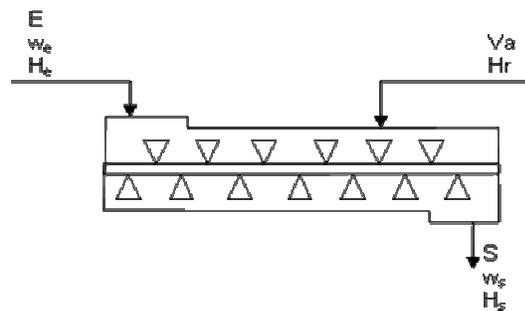
Se utilizaron tablas de vapor de agua saturada, para conocer las entalpias involucradas en el proceso, las medidas de presión y temperaturas se conocían en varios puntos del proceso como muestra la figura 3.5, y las temperaturas de los condensados fueron medidas con un termómetro bimetalico.

### **3.4 DETERMINACION DE LA TRANSFERENCIA DE CALOR DEL VAPOR DE AGUA HACIA DETERMINADO ALIMENTO EN EL ACONDICIONADOR**

El vapor de agua suministrado en el equipo de acondicionamiento es el que proporciona la energía calórica necesaria para lograr la cocción de algunos alimentos y llevar a cabo el proceso de gelatinización de los almidones.

En la naturaleza, el almidón está disponible en una gran cantidad de sustancias sólo por la celulosa. Se encuentra en todas las formas de plantas verdes con hojas, localizado en sus raíces, tallos, semillas o frutos. El almidón sirve a la planta como alimento para suministrar energía durante el período de lactancia y de germinación. Sirve para propósitos similares al hombre y los animales, así como a formas de vida más bajas. El hombre, sin embargo, ha encontrado usos para el almidón que se extiende más allá de su diseño original de recurso de energía biológica. Prácticamente, la mayoría de las industrias existentes, utilizan el almidón o sus derivados en una forma u otra (National Starch and Chemical Company, 2004). Los almidones comerciales se obtiene de las semillas de cereales, particularmente de maíz, trigo, varios tipos de arroz, y de algunas raíces y tubérculos, particularmente papa y yuca (Fennema, 2000).

Se realizó un balance de energía sobre el componente agua, con el fin de encontrar una ecuación que permitió conocer la cantidad de calor transferida durante el proceso. La figura 3.6 muestra el acondicionador de alimentos



**Figura 3.6 Acondicionador de la prensa granuladora [Fuente propia].**

A partir de la ecuación 2.17 y la figura 3.6 para un balance de energía en estado estacionario, se estableció que no existen cambios apreciables en las energías cinéticas y potencial de las corrientes de agua que entran y salen del acondicionador, y se despreció cualquier influencia de trabajo obteniéndose lo siguiente:

$$Q = w_s SH_s - w_e EH_e - V_a H_r \quad (\text{Ec. 3.1})$$

En donde  $H_e$ ,  $H_s$ ,  $H_r$  son las entalpías del agua en las corrientes de entrada, salida del acondicionador y del vapor una vez regulada la presión respectivamente.

Conociendo la cantidad de alimento procesado las corrientes  $E$  y  $S$  son iguales por lo que se les designará alimento procesado ( $A_p$ ) porque al alimento solo se le adiciona vapor de agua, conociendo esto la expresión anterior queda de la siguiente forma:

$$Q = A_p (w_s H_s - w_e H_e) - V_a H_r \quad (\text{Ec. 3.2})$$

Se utilizó la ecuación 2.9 que aplica para cambios entálpicos sin cambio de fase a presión constante, para definir la expresión a continuación:

$$\Delta H = H_s - H_e = \int_{T_e}^{T_s} C_{pe} dT \quad (\text{Ec. 3.3})$$

Siendo  $C_{pe}$  la capacidad calorífica del agua en el rango de temperatura desde  $T_e$  a  $T_s$ . Por otro lado, el calor adicionado por la corriente de vapor que entra al acondicionador se definió como:

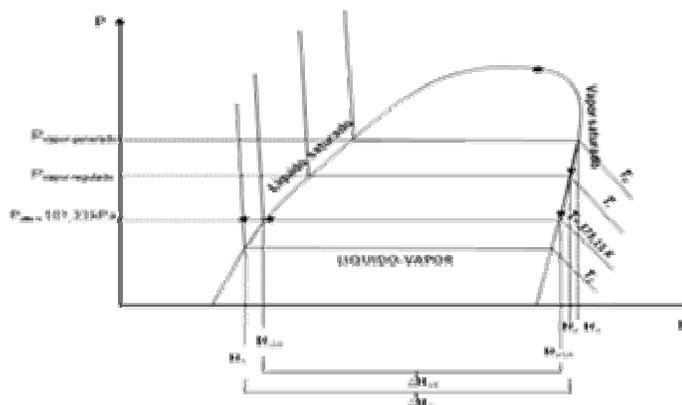
$$\Delta H = H_s - H_r \quad (\text{Ec. 3.4})$$

Esta expresión se evaluó por medio de un recorrido termodinámico sobre un diagrama presión-entalpía (Figura 3.7). En donde:

1-  $\Delta H_{V1}$ : Calor sensible entre la entalpía del vapor que entra en el acondicionador ( $H_r$ ) y la entalpía del vapor saturado a la presión de operación del acondicionador ( $H_{VSA}$ ), o lo que es igual, a la presión atmosférica.

2-  $\Delta H_{V2}$ : Calor latente de vaporización a presión atmosférica.

3-  $\Delta H_{V3}$ : Calor sensible entre la entalpía del agua saturada a  $P_{atm}$  ( $H_{LSA}$ ) y la entalpía del agua en la corriente de mezcla en la salida del acondicionador ( $H_s$ ).



**Figura 3.7 Recorrido termodinámico de la masa de agua que entra en el acondicionador [Fuente propia].**

De manera que, la ecuación 3.4 se expresa como:

$$\Delta H = H_s - H_r = \Delta H_{V1} + \Delta H_{V2} + \Delta H_{V3} \quad (\text{Ec. 3.5})$$

Siendo:

$$\Delta H_{V1} = H_{VSA} - H_r \quad (\text{Ec. 3.6})$$

Y

$$\Delta H_{V3} = \int_{373,15}^{T_s} C_{pS} dT \quad (\text{Ec. 3.7})$$

Sustituyendo las ecuaciones 3.6 y 3.7 en la ecuación 3.5, se obtiene:

$$\Delta H_V = H_s - H_r = (H_{VSA} - H_r) + \Delta H_{V2} + \int_{373,15}^{T_s} C_{pS} dT \quad (\text{Ec. 3.8})$$

De esta manera se obtienen las entalpías necesarias para sustituirlas en la ecuación 3.2 y así poder conocer la cantidad de calor añadido a los alimentos que se estudiaron, los valores de  $w_e$ ,  $w_s$ ,  $T_e$ ,  $T_s$ ,  $A_p$ ,  $V$  y  $H_r$  son conocidos a partir de datos suministrados por el sistema junto con balances de masa y de energía realizados. Los valores de  $C_{pe}$  y  $C_{ps}$  se asumieron constantes para los rangos de temperaturas evaluados, y se calcularon realizando un promedio de las capacidades caloríficas a  $T_e$  y  $T_s$ , para  $C_{pe}$ ; y a  $T=373,15$  K y  $T_s$  para  $C_{ps}$ . Estas capacidades se extrajeron de la tabla de propiedades misceláneas del agua líquida saturada (tabla D.2, apéndice D). La representación  $H_{VSA}$  se leyó de la tabla de propiedades del agua saturada

(tabla D.3), al igual que el término  $\Delta H_{v2}$  que representa la entalpia de vaporización a la presión atmosférica.

### **3.5 PROPUESTAS DE OPCIONES TÉCNICAS QUE MINIMICEN LAS PÉRDIDAS DE ENERGÍA EN EL PROCESO**

Una vez realizados los cálculos correspondientes, se comprobó que había pérdidas de energía y de masa, debido a que la tubería hacia la línea de grasa está sin aislar; además el condensado que se genera en esa línea no se recircula hacia el tanque de alimentación de agua a la caldera, porque el serpentín en el interior del tanque de grasa esta deteriorado y en caso de recircularse el condensado se puede mezclar con una fracción de grasa originando un problema mayor en el proceso de generación de vapor, por tal motivo las botas de condensado permanecen expuestas al ambiente desperdiciándose junto con el condensado parte del vapor; por otra parte, existen fallas en varias uniones soldadas de la tubería originando de igual manera las fugas de vapor; es decir, se está desperdiciando vapor que le sería muy útil al alimento a peletizar, lo que genera que el alimento por no adquirir la humedad necesaria aportada por el vapor no se encuentre en especificación y necesite reproceso; por lo que fue necesario recopilar información de distintas fuentes con el fin de plantear soluciones al problema que se está presentando, se realizaron las siguientes propuestas técnicas aplicables al proceso actual.

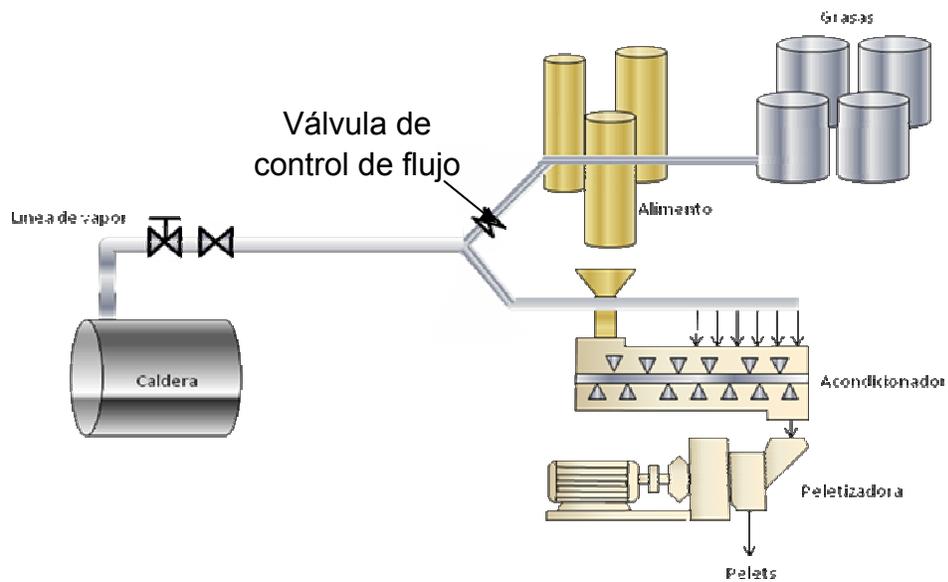
A- Controlar la cantidad de vapor dirigida hacia las grasas, esto se puede lograr colocando una válvula en esa dirección que permita regular el paso del fluido de vapor hacia las grasas, como por ejemplo una válvula de orificio ajustable, que consiste en una camisa de forma cilíndrica que está

perforada con dos orificios, uno de entrada y otro de salida y que gira mediante una palanca exterior accionada manualmente o por medio de un servomotor; el giro del obturador tapa parcial o totalmente las entradas y salidas de la válvula controlando así el caudal. La válvula incorpora además una tajadera cilíndrica que puede deslizarse dentro de la camisa gracias a un macho roscado de accionamiento exterior, la tajadera puede así fijarse manualmente en una posición determinada para limitar el caudal máximo que debe pasar por la línea controlada; la válvula es adecuada en los casos en que es necesario ajustar manualmente el caudal máximo del fluido, también cuando el caudal puede variar entre límites amplios de forma intermitente o continua y cuando no se requiere un cierre estanco. Las válvulas de orificio ajustables son precisas se utiliza para combustibles gaseosos o líquidos, vapor, aire comprimido y líquidos en general (Greene R., 1998).

B- Reemplazar las tuberías en la línea de grasas o corregir las fugas existentes además de aislar las tuberías con el fin de evitar que se pierda energía debido a que como es sabido en una tubería que no es aislada se transfiere una gran cantidad de calor por conducción, convección e incluso radiación térmica hacia el ambiente; es necesario de igual manera colocar una válvula que regule el paso del fluido como por ejemplo una válvula de aguja en donde el cierre se hace entre un disco duro y un asiento suave, el disco en sí es un pieza con el vástago, esta válvula es diseñada para su aplicación en líneas auxiliares de muestreo o medición, opera a presiones que van desde unos pocos  $\text{kg/cm}^2$  hasta más altas, es sumamente compacta y de bajo costo, además es capaz de funcionar satisfactoriamente donde se requiere una regulación de fluido, esto se realizaría para garantizar que el vapor no se exponga a un circuito abierto obligando a fluir el mismo por la tubería con mayor diámetro siendo esta la que es dirigida hacia la línea de

peletizado, lo que contribuiría a utilizar mejor el vapor que entra al acondicionador para que el alimento adquiriera la humedad mínima requerida de 4 %.

Según las dos propuestas planteadas, es necesario colocar una válvula de regulación de flujo de vapor en la tubería dirigida hacia el área de las grasas, solo que en un caso la válvula sería más exigente que en el otro; la válvula mas específica y exigente se colocaría para la primera propuesta como una medida de control de manera más inmediata y para el otro caso sería una válvula no menos importante de control continuo, una vez la tubería este aislada y con la menor cantidad de fugas o ninguna de ser posible; la figura 3.10 muestra el punto donde se ubicaría la válvula de medición de control.



**Figura 3.8 Diagrama general de vapor.**

### 3.6 MUESTRA DE CÁLCULO

#### 3.6.1 Cantidad de vapor generado por la caldera

La cantidad de vapor generada por la caldera se determinó asumiendo que toda el agua alimentada se convertía en vapor; es decir, se consideró que la acumulación de agua en el interior de la caldera era tan pequeña que no se consideraba, en tal sentido se procedió a determinar la cantidad de agua alimentada para estimar así la cantidad de vapor que se estaba produciendo.

Tomando los datos de la tabla B.1 del apéndice B, se procede a determinar la cantidad de agua alimentada haciendo uso de una expresión que relaciona el desplazamiento de la columna de agua con el volumen, debido a que el tanque de alimentación consiste en un cilindro horizontal como se muestra en la figura 3.9 (Meriam, Kraige, 1999).

La ecuación viene expresada por:

$$V_i = L * \left[ \frac{\pi D^2}{4} - \left( \frac{D^2}{4} \cos^{-1} \left( \frac{D-2X}{D} \right) - \left( \frac{D}{2} \right) (\sqrt{D \cdot X - X^2}) \right) \right] \quad (\text{Ec. 3.9})$$

Donde:

$V_i$ : Volumen ( $\text{cm}^3$ ).

$L$ : Longitud del tanque (137 cm).

$D$ : Diámetro del tanque (110 cm).

$X$ : Altura del nivel de agua en el tanque medido desde el tope (cm).

Además;

$$\Delta V = V_0 - V_f \quad (\text{Ec. 3.10})$$

Donde;

$\Delta V$ : Volumen de agua que varió dentro del tanque ( $\text{cm}^3$ ).

$V_0$ : Volumen inicial en el tanque en función de  $x_0$  ( $\text{cm}^3$ ).

$V_f$ : Volumen final en el tanque en función de  $x_f$  ( $\text{cm}^3$ ).

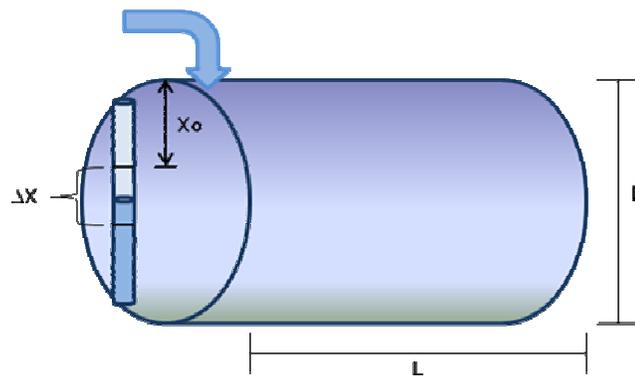
$X_0$ : Altura del nivel de agua inicial cm.

$X_f$ : Altura del nivel de agua final cm.

Por otro lado;

$$X_f = X_0 + \Delta X \quad (\text{Ec. 3.11})$$

$\Delta X$ : Variación de nivel en el medidor de nivel de vidrio del tanque (cm).



**Figura 3.9 Esquema del tanque de alimentación**

Para el primer valor de la tabla B.1 del apéndice B; se procede a calcular  $X_f$  para poder realizar los cálculos de volumen.

$$X_0 = 50 \text{ cm}$$

$$X_f = 50 \text{ cm} + 15 \text{ cm} = 65 \text{ cm}$$

$$V_o = 137 \text{ cm} \times \left[ \frac{\pi \cdot 110 \text{ cm}^2}{4} - \left( \frac{110 \text{ cm}^2}{4} \cos^{-1} \left( \frac{110 \text{ cm} - 2.50 \text{ cm}}{110 \text{ cm}} \right) - \left( \frac{110 \text{ cm}}{2} \right) \left( \sqrt{110 \text{ cm} \cdot 50 \text{ cm} - 50 \text{ cm}^2} \right) \right) \right]$$

$$V_o = 1.101.413,28 \text{ cm}^3$$

$$V_f = 137 \text{ cm} \times \left[ \frac{\pi \cdot 110 \text{ cm}^2}{4} - \left( \frac{110 \text{ cm}^2}{4} \cos^{-1} \left( \frac{110 \text{ cm} - 2.65 \text{ cm}}{110 \text{ cm}} \right) - \left( \frac{110 \text{ cm}}{2} \right) \left( \sqrt{110 \text{ cm} \cdot 65 \text{ cm} - 65 \text{ cm}^2} \right) \right) \right]$$

$$V_f = 982.723,23 \text{ cm}^3$$

$$\Delta V = 1.101.413,28 \text{ cm}^3 - 982.723,23 \text{ cm}^3$$

$$\Delta V = 118.690,05 \text{ cm}^3$$

O lo que sería igual a la alimentación de agua a la caldera

$$A = 118.690,05 \text{ cm}^3$$

El procedimiento se repitió para las demás alimentaciones de agua realizadas por la bomba. De esta manera se puede conocer la cantidad de agua alimentada, ahora bien es necesario tener el tiempo en que se procesa esa cantidad de agua o lo que sería igual al tiempo de operación para poder conocer la cantidad de vapor producido, ese tiempo de operación no es más que el tiempo medido con un cronometro desde que la bomba termina de dosificar el agua al interior de la caldera hasta que se vuelve a activar para reponer el agua convertida en vapor, ese tiempo se muestra en la tabla B.1 del apéndice B

Tomando el tiempo de operación de la tabla B.1 y conociendo la cantidad de agua alimentada se procede a determinar la cantidad de vapor producido por hora, luego el caudal de vapor generado ( $Q_v$ ) viene expresado de la siguiente manera:

$$Q_v = \frac{A}{t_{op}} \quad (\text{Ec. 3.12})$$

$$Q_v = \frac{118.690,05 \text{ cm}^3}{10,54 \text{ min}}$$

Para obtener el caudal en kg/h se debe multiplicar el cociente anterior por el factor de conversión de  $\text{cm}^3$  a  $\text{m}^3$  ( $1\text{m}^3= 1.000.000\text{cm}^3$ ) al igual hay que realizar la conversión de min a h ( $1\text{h}= 60 \text{ min}$ ) y se debe multiplicar por la densidad del agua a  $33 \text{ }^\circ\text{C}$  temperatura a la cual se encuentra la alimentación ( $993,3495 \text{ kg/m}^3$ ), así se tiene:

$$Q_v = \frac{118.690,05 \text{ cm}^3}{10,54 \text{ min}} * \frac{1 \text{ m}^3}{1.000.000 \text{ cm}^3} * 993,3495 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ h}} = 671,16 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

$$Q_v = 671,16 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

O lo que sería igual al vapor producido:

$$V_p = 671,16 \text{ kg/h}$$

Este procedimiento se realiza para las demás alimentaciones de agua por cada alimento acondicionado con vapor, los resultados se muestran en la tabla 4.1. Al final se realiza un promedio de este vapor producido según cada alimento peletizado siendo de  $746,60 \text{ kg/h}$  para el primer alimento de la tabla 4.1.

### 3.6.2 Eficiencia térmica de generación de vapor

El método a utilizar para determinar la eficiencia es el método directo, en el cual se establece que el calor aportado debido a la combustión de un

combustible fósil, es igual a la cantidad de calor que absorbe, en este caso, el agua para transformarse en vapor.

La eficiencia es la relación entre el calor que sale con el vapor producido y el calor suministrado por el combustible multiplicado por 100 (CONTROLES, 2000).

O lo que es igual a un balance energético donde el calor que sale con el vapor producido obedece a la ecuación 2.10;

$$\eta = \frac{V_P \cdot (H_V - H_A) \text{ kJ/h}}{G \cdot H_i} * 100 \quad (\text{Ec. 3.13})$$

Donde:

Caudal teórico de combustible quemado:

G: Gas natural (m<sup>3</sup>N/h).

G: Gasóleo o fuelóleo (kg/h).

Poder calorífico inferior del combustible:

H<sub>i</sub>: Gas natural (kJ/m<sup>3</sup>N).

H<sub>i</sub>: Gasóleo o fuelóleo (kJ/kg).

Q<sub>v</sub>. Caudal de vapor generado (kg/h).

H<sub>v</sub>: Entalpía del vapor generado (kJ/kg).

H<sub>A</sub>: Entalpía del agua de alimentación (kJ/kg).

η: Rendimiento térmico de la caldera.

Utilizando la ecuación 3.13 y sustituyendo de la tabla 3.3:

**Tabla 3.3 Variables requeridas en la ecuación 3.13.**

Datos	
Qv= 699,75 kg/h	H <sub>V @ 708,06 kPa</sub> = 2.782,97 kJ/kg
Hi=33.913 kJ/m <sup>3</sup> N	H <sub>A @ 33°C</sub> = 138,2 kJ/kg
G= ?	

Se procede a calcular el volumen de gas natural consumido en kg/h (G), así pues:

$$G = \frac{v_{gi}}{t_{ci}} \quad (\text{Ec. 3.15})$$

Donde:

$v_{gi}$ : Volumen de gas natural consumido (m<sup>3</sup>N).

$t_{ci}$ : Tiempo de consumo (min).

Calculando y realizando la conversión correspondiente;

$$G = \frac{24,5 \text{ m}^3\text{N}}{18,75 \text{ min}} * \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ h}}$$

$$G = 78,4 \frac{\text{m}^3\text{N}}{\text{h}}$$

Sustituyendo en la ecuación 3.14 los valores correspondientes se tiene;

$$\% \eta = \frac{699,75 \text{ kg/h} * (2.782,97 - 138,2) \text{ kJ/kg}}{78,4 \text{ m}^3\text{N/h} * 33.913 \text{ kJ/m}^3\text{N}} * 100$$

$$\eta = 69,71 \%$$

Este cálculo se repite para los demás valores de consumo de gas natural reflejados en la tabla B.2 y los resultados se muestran en la tabla 4.2.

### 3.6.3 Balances de masa y energía en el proceso de generación de vapor

Se realizaron balances globales de masa y energía en el proceso para conocer los flujos másicos del vapor al igual que los calores que se involucran.

#### 3.6.3.1 Balance de masa en el proceso de generación de vapor

Una vez conocida la cantidad de vapor producido por la caldera, es necesario estimar la cantidad de vapor suministrada al alimento por el equipo de acondicionamiento, esto se logra por medio de un balance de masa realizado en el equipo mostrado en la figura 3.6, teniendo la cantidad de alimento que se procesa en el equipo junto con las humedades de entrada y de salida se pudo estimar la cantidad de vapor destinada al acondicionador por ende la siguiente expresión refleja el balance realizado para conocer dicho valor.

$$Y_e A_p + V_a = Y_s A_p \quad (\text{Ec. 3.16})$$

Donde:

$Y_e$ ,  $Y_s$ : Humedad en base seca de la entrada y la salida respectivamente ( $\text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_{\text{SS}}$ ).

Luego la cantidad de alimento procesado fue medida en Ton/h por lo que era necesario realizar la conversión correspondiente tomando en cuenta que 1 Ton es 907,185 kg por lo que para el primer valor de la tabla B.3 de 7,3 Ton/h la conversión sería de 6.622,45 kg/h.

Las humedades fueron medidas en base húmeda por lo que se llevaron a base seca utilizando la siguiente relación:

$$Y = \frac{W}{1-W} \quad (\text{Ec. 3.17})$$

Así que, para la humedad de entrada reflejada en la tabla B.3 de 0,1164 kg<sub>H2O</sub>/kg<sub>SH</sub> se obtuvo un valor de 0,1396 kg<sub>H2O</sub>/kg<sub>SS</sub> en base seca, de la misma forma se obtuvo el valor de humedad para la salida siendo de 0,1554 kg<sub>H2O</sub>/kg<sub>SS</sub> y así con todos los valores de humedad de la tabla B.3 reflejándose los resultados en la tabla 4.3, de manera que solo resta obtener la cantidad de vapor adicionada en este equipo haciendo uso de la ecuación 3.16 y sustituyendo los valores de la tabla 4.3.

$$V_a = 6.622,45 \frac{\text{kg}_{\text{solido-secos}}}{\text{h}} * (0,1554 - 0,1396) \frac{\text{kg}_{\text{agua}}}{\text{kg}_{\text{solido-secos}}}$$

$$V_a = 104,64 \text{ kg/h}$$

De igual forma se realizaron los cálculos para obtener la cantidad de vapor de las distintas pruebas realizadas, adicionada a los diferentes tipos de alimentos luego se obtuvo un promedio de esta corriente de vapor para cada alimento siendo de 215,13 kg/h para el alimento súper lechera.

Para obtener la cantidad de vapor condensada solo se necesito el volumen, la temperatura y el tiempo, la masa del condensado número uno de la figura 3.5 se obtuvo usando la siguiente expresión:

$$C_1 = \frac{V}{t} * D \quad (\text{Ec. 3.18})$$

Donde:

v: volumen medido (m<sup>3</sup>)

t: tiempo (min.)

D: densidad a la temperatura del agua ( $\text{kg/m}^3$ )

$$C_1 = \frac{0,0045 \text{ m}^3}{27,67 \text{ min}} * 993,15 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$C_1 = 0,1615 \frac{\text{kg}}{\text{min}}$$

Este valor fue llevado a  $\text{kg/h}$  tomando en cuenta que  $1\text{h} = 60\text{min}$  por lo que la masa del condensado uno fue de:

$$C_1 = 9,69 \text{ kg/h}$$

Este resultado es el primero de varias muestras de condensado tomados por lo que se obtuvo un promedio siendo este de  $6,71 \text{ kg/h}$ .

De igual manera se calculo la masa del condensado número dos arrojando este un promedio de  $2,44 \text{ kg/h}$ , estos resultados se muestran en la tabla B.5

Una vez obtenidas las corrientes de vapor generado, vapor agregado al alimento, vapor condensado solo resta obtener el vapor destinado a mantener el estado líquido de las grasas usadas para la elaboración de los alimentos y esto se logro por medio de un balance global realizado en el proceso de la figura 3.5, se tiene la ecuación:

$$V_g = V_p - (V_a + C_1 + C_2) \quad (\text{Ec. 3.19})$$

Utilizando los valores de los promedios de las corrientes calculadas y sustituyendo en la ecuación 3.19 se obtiene la cantidad de vapor destinada para mantener la fluidez de las grasas de la siguiente manera:

$$V_g = 699,75 \frac{\text{kg}}{\text{h}} - (215,13 + 6,71 + 2,44) \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

$$V_g = 475,47 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

De igual forma se realizó el cálculo para los valores de las corrientes reflejadas en la tabla 4.4 de cada alimento estudiado y el resultado se refleja en la tabla 4.4.

### 3.6.3.2 Balance de energía en el proceso de generación de vapor

El balance de energía se llevo a cabo utilizando las entalpías relacionadas con cada corriente en el proceso de generación de vapor, para así conocer la cantidad de calor destinado a cada una de las corrientes involucradas en el proceso, debido a que no existen cambios apreciables en las energías potencial y cinética, y se desprecio cualquier influencia del trabajo; en primera instancia se procede a conocer el calor que sale con el vapor producido, para ello se utiliza la siguiente expresión que obedece a la ecuación 2.10:

$$Q = V_p(H_v - H_A) \quad (\text{Ec. 3. 20})$$

La entalpia de vapor se obtuvo con la presión de operación (tabla 4.2), es importante mencionar que estas presiones son el resultado de un promedio (tabla B.6) a las cuales se les realizó la conversión para obtenerlas en unidades SI; y las tablas de vapor saturado ubicadas en el apéndice D; la entalpia del agua de alimentación se determinó con la temperatura de alimentación y la tabla D.3, esta temperatura de alimentación siempre fue constante de 33 °C por lo que esta entalpia se mantuvo en un valor de 138,2 kJ/kg; sustituyendo la cantidad de vapor producido y las entalpias

correspondientes en la ecuación 3.20 se obtiene el calor en la corriente de vapor:

$$Q = 699,75 \frac{\text{kg}}{\text{h}} * (2.782,97 - 138,2) \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$Q = 1.850.685,52 \frac{\text{kJ}}{\text{h}}$$

El calor dirigido hacia la línea de grasa se determinó por medio de la siguiente ecuación:

$$Q_g = V_g * H_v \quad (\text{Ec.3.21})$$

Donde:

$Q_g$ : Calor destinado a las grasas (kJ/h).

$V_g$ : Flujo másico de vapor destinado a la línea de grasa (kg/h).

Es importante mencionar que la entalpia de vapor utilizada en esta ecuación es igual a la entalpia a la cual se está generando el vapor, porque la entalpia es una propiedad que depende solo de la presión y la temperatura y como se observa en la figura 3.5 solo se divide la corriente no se regula ni presión ni temperatura por lo que la entalpia se mantiene constante siendo esta de 2.782,97 kJ/kg para la primera presión de operación, cabe destacar que las presiones de operación fueron promediadas según la producción de cada alimento que se estudio, sustituyendo entonces en la ecuación 3.21 la masa de vapor dirigida hacia las grasas y la entalpia resulta lo siguiente:

$$Q_g = 475,47 \frac{\text{kg}}{\text{h}} * 2.782,97 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$Q_g = 1.323.219,39 \frac{\text{kJ}}{\text{h}}$$

La cantidad de calor perdida por condensado se obtuvo por medio de la siguiente expresión:

$$Q_c = C_1 * (H_c - H_v) \quad (\text{Ec. 3.22})$$

Siendo

$H_c$ : Entalpía del condensado a la temperatura correspondiente (kJ/kg).

La entalpía del condensado se conoció por medio de las tablas de agua saturada (apéndice D) a la temperatura del condensado (tabla B.5), así pues para el primer flujo másico de la tabla B.5 con las entalpias correspondientes se tiene:

$$Q_c = 6,71 \frac{\text{kg}}{\text{h}} * (157,21 - 2782,97) \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$Q_c = -17.618,85 \frac{\text{kJ}}{\text{h}}$$

Este resultado negativo solo indica que el calor está saliendo del sistema.

Para conocer la cantidad de calor perdida en el condensado 2 se realizo el mismo calculo, solo que con la entalpía del vapor a la presión reducida, tal cual lo muestra la figura 3.5, estos resultados se muestran en la tabla 4.5.

Conociendo todos los calores involucrados en el proceso, solo resta conocer la cantidad de calor dirigido hacia la línea de peletizado por medio de un balance global en la figura 3.5 como se muestra a continuación:

$$Q_a = Q - (Q_g + Q_{c1} + Q_{c2}) \quad (\text{Ec. 3.23})$$

Sustituyendo los valores de la tabla 4.5 en la ecuación 3.23 se tiene:

$$Q_a = 1.850.685,52 \frac{\text{kJ}}{\text{h}} - (1.323.219,39 + 17.618,85 + 6.390,54) \frac{\text{kJ}}{\text{h}}$$

$$Q_a = 503.456,74 \text{ kJ/h}$$

Este y los calores determinados para los alimentos restantes se reflejan en la tabla 4.5.

### 3.6.4 Transferencia de calor del vapor de agua en el acondicionador

La transferencia de calor del vapor de agua se determina utilizando la ecuación 3.2, para ello es necesario conocer los valores de entalpía del agua en las corrientes del alimento de entrada ( $H_e$ ) y salida ( $H_s$ ) del acondicionador, como lo muestra la figura 3.6, puesto que los demás valores que se encuentran en la ecuación ya son conocidos.

Para conocer la entalpía del agua a la salida del acondicionador se utiliza la ecuación 3.8, donde la entalpía del vapor saturado ( $H_{VSA}$ ) y el calor latente de vaporización del agua ( $\Delta H_{V2}$ ) a la presión atmosférica se conocen por medio de la tabla D.3 del apéndice D; cabe destacar que  $\Delta H_{V2}$  se utiliza con un signo negativo, debido a que el proceso involucra una condensación y el valor de  $C_{pS}$  para la integral, no es más que el promedio de  $C_p$  a la temperatura de ebullición del agua con presión atmosférica (100 C) y a la temperatura del alimento en la salida del acondicionador (tabla C.2).

Sustituyendo entonces los valores para la primera temperatura adquirida de 61,87 °C (335,02 K).

$$H_s = 2.878 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} - 2.258,9 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} + \int_{373,15 \text{ K}}^{335,02 \text{ K}} \frac{(4,217 + 4,187) (\text{kJ}/\text{kg} \cdot \text{K})}{2} dT$$

$$H_s = 2.878 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} - 2.258,9 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} + 4,202 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} (335,02 - 373,15) \text{K}$$

$$H_s = 458,86 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

De igual manera se realizó el cálculo para determinar  $H_e$  solo que se utilizó la ecuación 3.3 en los rangos de temperatura de entrada ( $T_e$ ) y salida ( $T_s$ ) del alimento dando como resultado lo siguiente 341,61 kJ/kg los demás resultados de humedades se encuentran en la tabla C.3.

El calor transferido sería el resultado de la ecuación 3.2; el valor de  $A_p$  se encuentra en la tabla B.3 al igual que las humedades de entrada y salida, en la ecuación se introducen los promedios de humedades; la cantidad de vapor destinada al acondicionador ( $V_a$ ) se tomo de la tabla 4.3; la entalpia a la presión reducida ( $H_r$ ) se encuentra en la tabla B.7 y por último las entalpias del agua a la entrada y salida del alimento en el acondicionador se tomaron de la tabla C.3; ahora se procede a sustituir en la ecuación 3.2 para determinar el calor transferido.

$$Q_T = 6.622,45 \frac{\text{kg}}{\text{h}} * \left( 0,1311 \frac{\text{kg}_{\text{vapor}}}{\text{kg}_{\text{sol}}} * 458,86 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} - 0,1164 \frac{\text{kg}_{\text{vapor}}}{\text{kg}_{\text{sol}}} * 341,61 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right) - (215,13 * 2.737,76) \frac{\text{kJ}}{\text{h}}$$

$$Q_T = 453.921,746 \text{ kJ/kg}$$

Este resultado y los referentes a los alimentos restantes se encuentran en la tabla 4.6.

### **3.6.5 Determinación de la mínima cantidad de vapor requerida por el alimento**

Esta cantidad se determinó a partir de la ecuación 3.16, solo que con una diferencia en la sustitución de una de las variables, siendo esta la humedad del alimento a la salida del acondicionador ( $W_s$ ), debido a que para lograr determinar la mínima cantidad requerida de vapor a suministrar es necesario un aumento de 4 % en la humedad de salida con relación a la humedad de entrada, así pues para el primer alimento el resultado fue de 355,37 kg/h de vapor, estos valores se encuentran en la tabla 4.7. Cabe destacar que las humedades para este cálculo fueron utilizadas en base seca; es importante mencionar que una vez obtenida esta cantidad de vapor fue conveniente determinar la cantidad de vapor que se debería ir hacia las grasas por medio de un balance global, utilizando la ecuación 3.23 y el resultado del mismo se encuentra en la tabla 4.8.

### **3.6.6 Determinación de calor mínimo requerido por el alimento**

El calor mínimo requerido se determinó con la ecuación 3.2 solo que algunas variables se sustituyeron según lo requerido; es decir, la entalpia a la salida ( $H_s$ ) se determinó con la ecuación 3.8 y la temperatura de salida necesitada en la ecuación 3.8 fue la establecida en el equipo de peletizado la cual se encuentra en la tabla C.1; la humedad de salida fue de 4 % más en relación a la de entrada según lo mínimo requerido. Una vez obtenida la  $H_s$  se procedió a determinar la  $H_e$  según la ecuación 3.3 ya con estos valores y con la mínima cantidad de vapor requerida por el alimento en el acondicionador; la cantidad de calor necesario se puede conocer por medio de la ecuación 3.2 y las variables que se determinaron en relación a lo mínimo requerido por la empresa para la producción del alimento, las cuales se encuentran en la tabla C.4; así pues el calor requerido para el primer alimento fue de

747.364,43 kJ/h. Todos estos resultados se reflejan en la tabla 4.6; es importante mencionar que tanto de estos calores como de los determinados en el proceso actual de la planta, se obtuvieron porcentajes con relación a lo producido por la caldera y están ubicados en la tabla C.5.

### 3.6.7 Determinación de pérdidas económicas en la empresa para una cantidad determinada de alimento peletizado

Para conocer este valor fue necesario medir las humedades del producto final, debido a que una vez el alimento sale del acondicionador se dirige hacia la enfriadora donde se retira humedad y se reduce temperatura, estas humedades finales se muestran en el apéndice B (tabla B.8), luego se determina el valor actual de dinero adquirido por la empresa para determinado alimento con la siguiente ecuación:

$$\text{costo} = \frac{A_p + \Delta W}{m_s} * P_s \quad (\text{Ec. 3.24})$$

Donde;

Costo: es el dinero adquirido por la empresa para una cantidad específica de alimento procesado (Bs/h).

$\Delta W$ : cantidad de humedad adquirida por el alimento (%).

$m_s$ : masa del saco (kg).

$P_s$ : precio del saco (Bs).

$$\Delta W = (W_{pf} - W_e) * 100 \quad (\text{Ec. 3.25})$$

Siendo;

$W_{pf}$ : humedad del producto final.

$$\Delta W = (0,1183 - 0,1164) \frac{kg_{H_2O}}{kg_{\text{solido húmedo}}} * 100$$

$$\Delta W = 0,19$$

Se procede a determinar el costo, sustituyendo  $A_p$  de la tabla B.3 y  $\Delta W$ ,  $m_s$ ,  $P_s$  de la tabla B.8 en la ecuación 3.24.

$$\text{costo} = \frac{6.622,45 \frac{\text{kg}}{\text{h}} * 0,19}{35 \text{ kg}} * 55,7 \text{ Bs}$$

$$\text{Costo} = 2.002,44 \text{ Bs/h}$$

Este valor se muestra en el anexo B (tabla B.9).

De manera similar se determinó el dinero a percibir por la empresa si el alimento final obtuviera una humedad de 12 % que es lo que máximo que se permite por la empresa, para evitar que el alimento se contamine por un exceso de humedad, para el primer alimento de la tabla B.9 este valor fue de 3.794,09 BsF; los valores actuales y requeridos de las cantidades de dinero a adquirir para cada alimento estudiado se observan en el anexo B (tabla B.9). La diferencia entre los valores actuales y requeridos es la cantidad de dinero que está dejando de ganar la empresa, es decir 1.791,66 Bs/h para el primer alimento estudiado de la tabla B.9.

### 3.7 MATERIALES, EQUIPOS Y SUSTANCIAS UTILIZADOS

#### Materiales

- Beaker de 250 ml.
- Tubos de ensayos (10 ml).
- Goteros.
- Cinta métrica.
- Jarra recolectora.

- Cinta métrica.
- Bolsas plásticas resistentes y pala metálica para colectar muestras.
- 1 jarra recolectora de capacidad 4000 L y un beaker de 250 ml.

## Equipos

- pH meter

Marca: thermo Orión.

Modelo: 420 plus.

Precisión: 0.01.

- Conductímetro

Marca: la motte chemical

Modelo: DA-1

Precisión: 1 microhmios/cm.

Tipo: analógico

Rango: 1000 – 10000  $\mu\text{S/cm}$

- Termómetro bimetalico

Marca: multi-thermo.

Modelo: Orion.

Tipo: digital.

Precisión: 0.01 °C.

Rango: -20 a 173 °C.

- Cronometro

Marca: Oregon scientific.

Modelo: C510.

Tipo: Digital.

Precisión: 0,01 s.

- Balanza térmica

Marca: Ohaus.

Modelo: MB 200.

Capacidad: 200 g.

Precisión: 0,01 g (0,1 % para humedad).

Rango de humedad: 0 – 100 %.

Fuente de calor: Infrarrojo.

## Sustancias

- Agua destilada

Kit de dureza

HTD-1

HTD-3

- Kit de alcalinidad

Indicador P

Indicador M

AKD-1

- Kit de sulfito

Acido sulfamico

SFD-1

SFD-2

SFD-3

- Kit de orto-fosfato

POC 1

POC 2

## CAPITULO IV

### DISCUSIÓN DE RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 4.1 DISCUSIÓN DE RESULTADOS

##### 4.1.1 Caracterización fisicoquímica del agua de alimentación y del agua interna de la caldera

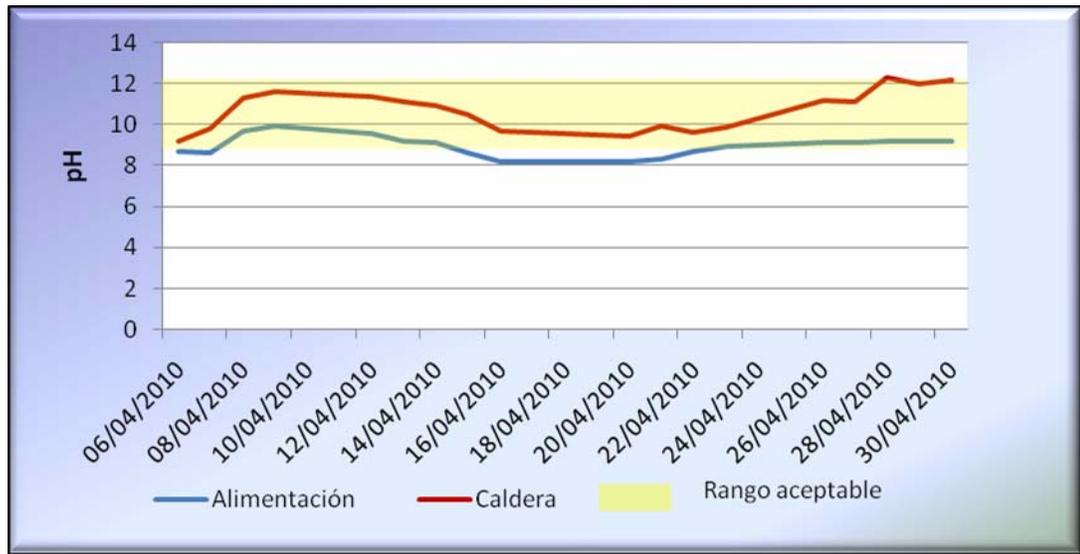
Existen muchas variaciones respecto al tipo de caldera, presión de operación, tamaño y capacidad, entre otros, pero todas las variantes y tipos de ellas padecen los mismos problemas en lo referente a la calidad del agua, lo cual afecta la vida útil y la operación de la caldera.

El propósito de caracterizar el comportamiento de los parámetros fisicoquímicos del agua de alimentación a la caldera y del agua en su interior, se efectuó con el fin de observar que estos parámetros se encontraran dentro del rango establecido para un tipo de agua que se destina a la producción de vapor, debido a que a pesar de poseer tratamiento para el agua, ésta no estaba siendo analizada.

Para tener una mejor apreciación se mencionará cada parámetro en particular.

##### ***pH:***

La figura 4.1 muestra el comportamiento diario del pH tanto en la alimentación como en el interior del agua de la caldera de acuerdo a los análisis realizados.



**Figura 4.1 Comportamiento de pH en la alimentación y en el interior de caldera.**

Se puede observar en la figura 4.1 que los valores de pH se encuentran dentro del rango aceptable, aunque existen algunas elevaciones, estas tienden a no salirse del límite. Esto indica que el tratamiento utilizado actualmente de hidróxido de sodio regula este parámetro, al obtenerse un promedio de pH para el agua de alimentación e interna de la caldera de 8,97 y de 10,71, respectivamente; lo que quiere decir que se está protegiendo la integridad del equipo previniendo la aparición de corrosión, la cual estando presente destruye la película de magnetita, genera hidrogeno y este se puede combinar con oxígeno y producir un vapor húmedo el cual afecta la calidad del alimento, además de originar posibles daños en las líneas de vapor.

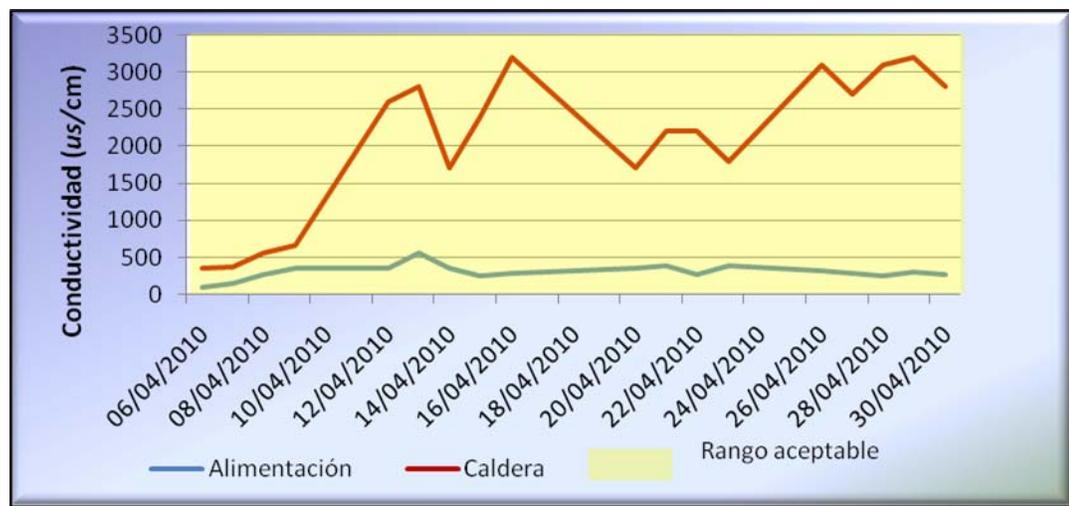
#### **Conductividad:**

La conductividad tiene lugar por los depósitos que se producen por sólidos suspendidos que el agua pueda contener y principalmente por formación de

depósitos de sulfatos y carbonatos de calcio y magnesio, en mezclas complejas con otros componentes como sílice, bario, etc.

Para evitar la formación de incrustaciones se deben remover los sólidos coloidales y materia suspendida que el agua contenga y ablandamiento o suavización del agua cruda antes de integrarla a la caldera.

Observando la figura 4.2, en el caso se la conductividad, los valores se encontraron dentro del rango que se espera, obteniéndose un promedio de 303,89  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y de 2081,11  $\mu\text{S}/\text{cm}$  para el agua de alimentación e interna de la caldera, respectivamente.



**Figura 4.2 Comportamiento de conductividad.**

La conductividad es considerada como una medida que depende de la cantidad de sólidos disueltos en las aguas. Esta propiedad se relaciona con la capacidad de un fluido de transportar energía eléctrica. Es importante mencionar que el agua por sí sola no puede transportar electricidad, esto solo es posible cuando existen partículas capaces de transportar cargas eléctricas permitiendo así la conducción, de manera que si existe un gran

número de partículas, la conducción es mayor a la que se presenta con menor cantidad de partículas. A pesar de que los resultados estuvieron menores a lo máximo permisible de 5000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , los mismos reflejan que la cantidad de lodos presentes en el equipo de generación de vapor están aumentando, indicando que las purgas no se están realizando de manera constante, para promover el arrastre de los lodos.

### **Dureza:**

En el caso de la dureza los valores estuvieron muy por encima de los límites establecidos, como lo muestra la figura 4.3, lo que resulta perjudicial para la caldera, porque este es uno de los principales parámetros a controlar, debido a que es la responsable de causar incrustaciones, las cuales son más difícil de remover en calderas de este tipo.



**Figura 4.3 Comportamiento de dureza.**

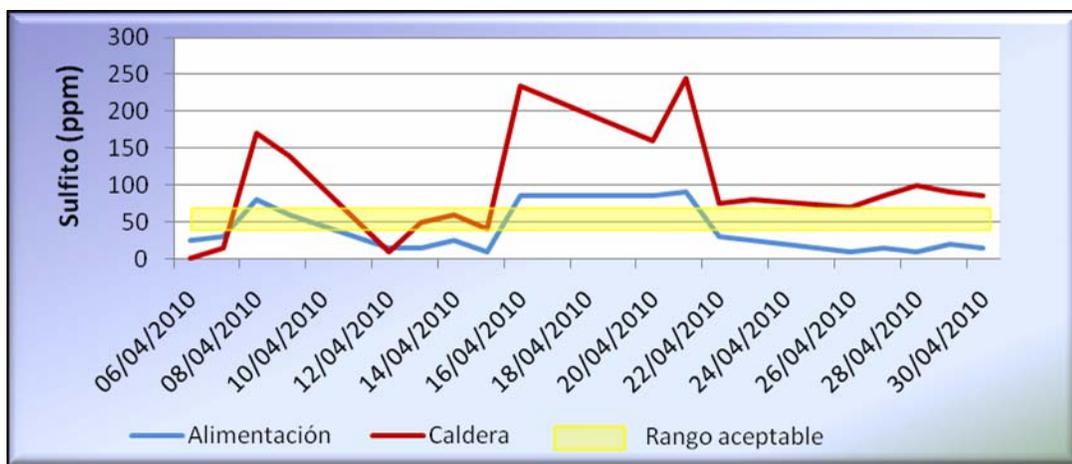
El promedio de dureza del agua de alimentación analizada fue de 10,44 ppm  $\text{CaCO}_3$  y del agua interna fue de 12,61 ppm  $\text{CaCO}_3$ . Estos valores están alejados del rango establecido, lo que indica que en el interior de la caldera

pueden estar presentes incrustaciones de calcio, estos altos valores de dureza pudieron originarse a un mal tratamiento hecho al agua en el suavizador, ya que este es el responsable de eliminar los iones calcio y magnesio presentes en el agua.

Es importante mencionar que las purgas que se realizan en la caldera, también ayudan a disminuir el contenido de dureza en el agua interna, aunque no en gran proporción, debido a que las altas temperaturas de operación en el equipo, hacen que los iones se mantengan incrustados fuertemente, lo que impide que puedan salir por arrastre. Lo más conveniente es realizar las regeneraciones a la resina del equipo suavizador.

#### **Sulfito:**

El tratamiento con bisulfito de sodio ayuda a remover el oxígeno que puede generarse en el proceso de generación de vapor y con ello controlar la corrosión por oxígeno en sistemas de calderas. A continuación, la figura 4.4 muestra los valores obtenidos.

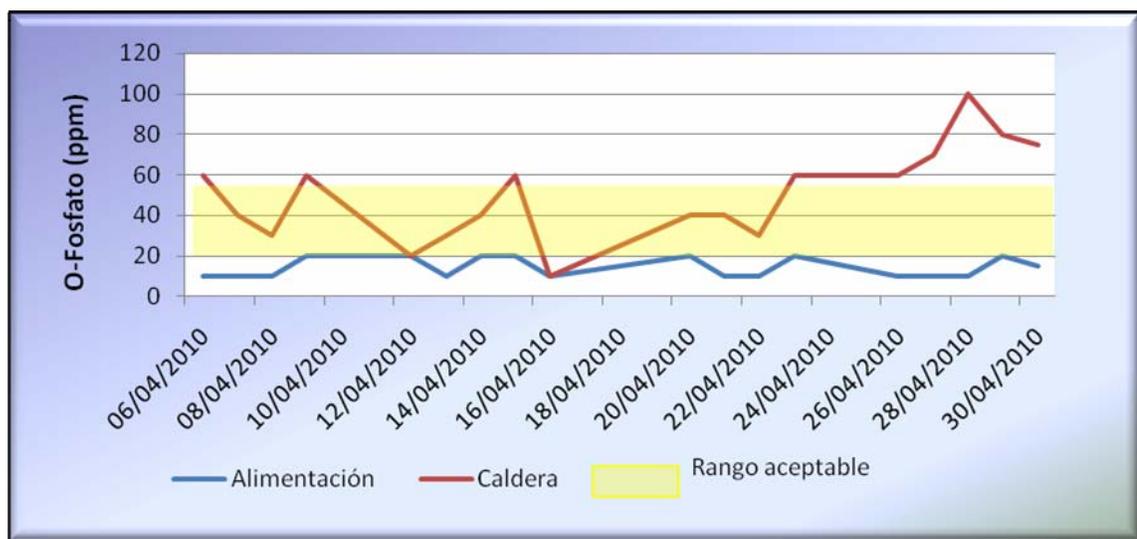


**Figura 4.4 Comportamiento de sulfito presente en las aguas.**

El promedio de sulfito presente en el agua de alimentación fue de 35,83 ppm  $\text{SO}_3$  y de 95 ppm  $\text{SO}_3$  para el agua en el interior de la caldera, el último promedio dio bastante elevado, alejándose de la especificación. Esto pudo ocasionarse por una excesiva dosificación del producto o una acumulación en el interior del equipo, debido a que las purgas no se están realizando de manera constante, es recomendable realizar purgas cada 3 a 4 horas.

### **O-Fosfato:**

El tratamiento con o-fosfato a la alimentación de calderas combina fosfato, antiespumante y un polímero orgánico sintético altamente eficaz en una forma líquida conveniente y económica; el producto funciona química y físicamente para dar un alto grado de limpieza en calderas que utilizan agua de alimentación de alta dureza. Como es el caso de la caldera a estudio, el antiespumante promueve la producción de vapor limpio y seco, minimizando el arrastre inducido por la espuma.



**Figura 4.5 Comportamiento de orto-fosfato.**

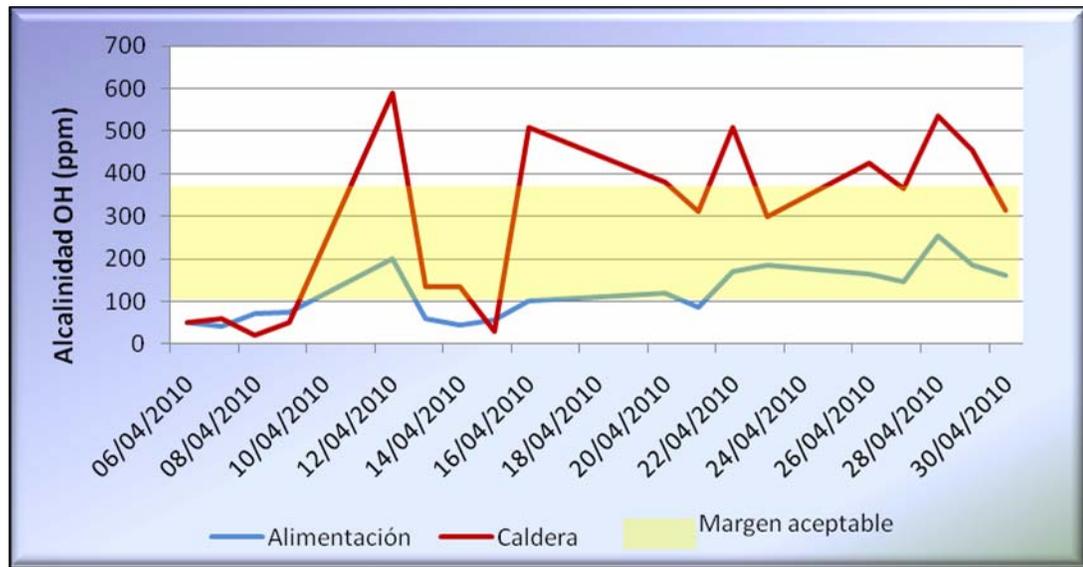
La figura 4.5 muestra el comportamiento de las aguas analizadas, observándose que los valores se encuentran dentro de los límites establecidos, arrojando un promedio de 14,17 ppm  $\text{PO}_4$  y de 50,28 ppm  $\text{PO}_4$  para el agua de alimentación y el agua interna de la caldera respectivamente, esto indica que se está controlando de manera correcta la adición de este químico, lo que ayuda a que la espuma que se forma en el interior de la caldera se minimice evitando que el vapor tenga arrastre de agua. Esto disminuye daños en las líneas de vapor y en las líneas de retorno de condensado.

***Alcalinidad:***

Se obtuvo un promedio de 120,28 ppm  $\text{CaCO}_3$  para el agua de alimentación y de 287,5 ppm  $\text{CaCO}_3$  para el agua interna, a pesar de que en la figura 4.6 se refleja una gran elevación en cuanto al agua interna. En promedio no salió del rango establecido, el cual es de 150 a 350 ppm  $\text{CaCO}_3$ .

Es importante considerar el aumento de alcalinidad en el interior de la caldera, este aumento indica un rompimiento de los bicarbonatos presentes en el agua produciendo carbonatos y liberando dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) libre en el vapor.

Generalmente el dióxido de carbono, produce un vapor altamente corrosivo, el cual puede causar daños en las líneas de vapor por corrosión y en retornos de condensado, esto a su vez contribuye en el aumento del contenido de hierro, aunque este no fue un parámetro a estudio también influye en la corrosión.



**Figura 4.6 Comportamiento de la alcalinidad total OH.**

#### 4.1.2 Cálculo de la eficiencia de generación de vapor

Una vez obtenidos los flujos de vapor producidos por la caldera, se puede apreciar según la tabla 4.1, que la cantidad de vapor producida dependerá del alimento que se esté peletizando, se puede apreciar que para el alimento Iniciador Enerpro, el cual se estudió en dos ocasiones distintas, la producción de vapor fue muy similar; es decir, cuánto más calor requiera el alimento para cocción y gelatinización de almidones, mayor será la producción de vapor.

Es importante mencionar que la capacidad de producción de la caldera es de 3.450 lb/h, lo que indica que no se está operando para producir al 100% de su capacidad, debido a que el valor más alto obtenido en promedio fue de 1.033,22 kg/h (2.277,84 lb/h) para el alimento Crecimiento Enerpro.

**Tabla 4.1 Agua alimentada a la caldera y vapor generado.**

Alimento	X <sub>f</sub>	V <sub>i</sub> (cm <sup>3</sup> )	V <sub>f</sub> (cm <sup>3</sup> )	ΔV (cm <sup>3</sup> )	Q <sub>v</sub> (cm <sup>3</sup> /min)	Vp (Kg/h)
Súper Lechera	70	1.087.401,51	935.216,75	166.196,53	10.813,05	644,47
	69	1.101.413,28	945.087,69	156.325,59	12.668,20	755,04
Promedio						699,75
Iniciador Enerpro	72,5	1.094.471,43	909.669,08	191.744,20	18.261,35	1.088,39
	71	1.090.952,60	925.149,97	176.263,31	13.824,57	823,96
	71	1.087.401,51	925.149,97	176.263,31	15.640,05	932,16
	70,2	1.097.958,24	933.219,25	168.194,03	12.809,90	763,48
	71	1.094.471,43	925.149,97	176.263,31	10.170,99	606,20
	71,5	1.094.471,43	920.041,25	181.372,04	17.834,03	1.062,93
	71	1.101.413,28	925.149,97	176.263,31	17.230,04	1.026,93
Promedio						900,58
Crecimiento Enerpro	71	1.101.413,28	925.149,97	176.263,31	16.350,96	974,53
	72	1.097.958,24	914.881,23	186.532,06	17.664,02	1.052,79
	73	1.094.471,43	904.403,94	197.009,34	17.991,72	1.072,32
Promedio						1.033,22
Iniciador Enerpro	70	1.094.471,43	935.216,75	166.196,53	14.477,05	862,85
	71,5	1.094.471,43	920.041,25	181.372,04	15.909,83	948,24
	71	1.097.958,24	925.149,97	176.263,31	15.300,63	911,93
Promedio						907,67
Alimán	67,5	1.108.229,02	959.539,43	141.873,85	10805,32	644,01
	71	1.087.401,51	925.149,97	176.263,31	12.189,72	726,52
	70,5	1.097.958,24	930.208,21	171.205,07	13.652,72	813,72
Promedio						728,08

La eficiencia térmica de generación de vapor se mantuvo en valores similares, como se puede apreciar en la tabla 4.2, el promedio arrojado fue de 72,30 % resultado que se encuentra dentro de un valor aceptable.

**Tabla 4.2 Eficiencia del equipo de generación de vapor.**

Alimento	P <sub>vabs</sub> (kPa)	H <sub>v</sub> (kJ/kg)	v <sub>g</sub> (m <sup>3</sup> N/h)	Efic (%η)	%η <sub>prom</sub>
Súper Lechera	714,96	2.782,97	78,4	69,61	72,30
Iniciador Enerpro	711,99	2.782,92	95,64	73,43	
Crecimiento Enerpro	698,89	2.782,36	110,87	72,66	
Iniciador Enerpro	698,89	2.782,36	90,95	77,81	
Alimán	712,68	2.782,88	83,5	68,00	

En la caldera se está introduciendo agua a 33 °C, esta baja temperatura puede originar dentro del equipo los llamados choques térmicos y puede traer como consecuencia las torceduras o incluso el rompimiento de las tuberías en el interior, lo que conlleva a gastos para reemplazarlos o soldarlos; también origina que se necesite mayor cantidad de combustible para lograr el proceso de evaporación. Es importante mencionar en este caso, que siendo la dureza tan alta, las incrustaciones de calcio en la tubería interna de la caldera implica una disminución en la transferencia de calor del combustible hacia el agua. De solucionarse los problemas antes mencionados, bien sea que se aumente la temperatura en el agua de alimentación o se remuevan las incrustaciones de  $\text{CaCO}_3$ , se aumentaría la eficiencia térmica.

#### **4.1.3 Balances de masa y energía en el proceso de generación de vapor**

El balance de masa se realizó en cada uno de los puntos en los cuales se distribuía el vapor, incluso en las botas de condensado que existen, con el fin de conocer las cantidades de vapor que se destinaba para el acondicionador y para las grasas como corrientes primarias.

En la tabla 4.3 se muestran las cantidades de vapor destinada al acondicionador y las fracciones de humedad en base seca. Como se puede observar la cantidad de vapor adicionada al alimento fue muy poca en comparación con la cantidad de vapor producida, indicando que en el acondicionador se puede adicionar mayor cantidad de vapor, para aumentar la humedad del alimento en un 4 %, y así garantizar la calidad del producto.

Es importante mencionar que existe una diferencia con el alimento Alimán, el cual resultó diferente a los demás alimentos estudiados, observándose para el mismo una mayor cantidad de vapor en el

acondicionador, producto de una mayor cantidad de humedad adquirida por este alimento

**Tabla 4.3 Cantidad de vapor adicionada al alimento en el acondicionador.**

Alimento	Ye (kg <sub>H2O</sub> /kg <sub>SS</sub> )	Ys (kg <sub>H2O</sub> /kg <sub>SS</sub> )	Va(Kg/h)	Va <sub>prom</sub> (Kg/h)	Vp (kg/h)
Súper Lechera	0,1396	0,1554	104,64	215,13	699,75
	0,1339	0,1551	140,52		
	0,0819	0,1423	400,23		
Iniciador Enerpro	0,1263	0,1383	198,97	249,15	900,58
	0,1216	0,1353	227,06		
	0,1183	0,1378	321,43		
Crecimiento Enerpro	0,1317	0,1608	329,22	335,63	1.033,22
	0,1233	0,1527	333,33		
	0,1265	0,1569	344,33		
Iniciador Enerpro	0,1125	0,1299	225,08	240,24	907,67
	0,1121	0,1325	262,83		
	0,1112	0,1293	232,79		
Aliman	0,1153	0,1629	531,15	519,71	728,08
	0,1128	0,1547	467,45		
	0,1072	0,1574	560,52		

La tabla 4.4 refleja las cantidades de vapor dirigida para las corrientes involucradas en el proceso para cada alimento estudiado.

Como se muestra en la tabla 4.4 se debe considerar recuperar la cantidad de vapor que se pierde en la bota de condensado dos, debido a que este condensado es vertido al desagüe.

**Tabla 4.4 Flujos másicos involucrados en el proceso de generación de vapor.**

Alimento	V (Kg/h)	Va (kg/h)	C <sub>1</sub> (kg/h)	C <sub>2</sub> (kg/h)	Vg (kg/h)
Súper Lechera	699,75	215,13	6,71	2,44	475,47
Iniciador Enerpro	900,58	249,15	3,86	0,3	647,27
Crecimiento Enerpro	1033,22	335,63	3,49	0,55	693,55
Iniciador Enerpro	907,67	240,24	3,6	0,17	663,66
Alimán	728,08	519,71	3,96	0	204,41

Es importante indicar que la mayor cantidad de vapor producido, es destinado hacia la línea de los tanques de grasa, según los resultados observados en la tabla 4.4, situación que es perjudicial para el alimento acondicionado con vapor, porque no se le suministra la cantidad de vapor necesaria para aumentar la humedad en un 4% como mínimo, ocasionando con esto poca calidad del producto final; también origina que el alimento tenga menor densidad y por ende al salir al mercado se vende más producto. Lo que generalmente ocurre en estos casos es que por adicionarle poco vapor al alimento en el acondicionador, se fabrican pelets frágiles o poco compactos y se desboronan más de lo permisible en las etapas subsecuentes, generando consumo de energía, pérdida de tiempo y dinero, en el reproceso del alimento.

**Tabla 4.5 Calores involucrados en el proceso de generación de vapor.**

Alimento	Q (kJ/h)	Qg (kJ/h)	Q <sub>C1</sub> (kJ/h)	Q <sub>C2</sub> (kJ/h)	Qa (kJ/h)
Súper Lechera	1.850.685,52	1.323.219,39	17.618,85	6.390,54	503.456,74
Iniciador Enerpro	2.381.776,84	1.801.260,27	10.136,95	782,98	569.596,64
Crecimiento Enerpro	2.731.984,84	1.929.702,44	9.188,58	1.431,15	791.662,68
Iniciador Enerpro	2.400.029,17	1.846.537,84	9.450,24	445,33	543.595,76
Alimán	1.925.543,06	568.849,337	10.452,82	-	1.346.240,91

Se observa en la tabla 4.5 que la mayor cantidad de calor se destina hacia las grasas. Es importante indicar que la corriente de vapor que es dirigida hacia las grasas, se pierde en gran proporción, porque esta área presenta muchas fugas en las uniones soldadas y no se encuentra aislada, desperdiciándose una gran cantidad de energía calórica y masa de vapor necesaria para la elaboración de pelets.

#### 4.1.4 Transferencia de calor del vapor de agua en el acondicionador

La mezcla del alimento debe recibir vapor seco a una presión uniforme; puesto que el vapor húmedo contiene menos energía que el vapor saturado, bajo las condiciones estudiadas, el vapor suministrado se encontró ligeramente sobrecalentado o saturado, lo que significa que posee las condiciones necesarias para transferir el calor de manera eficiente, pues su entalpía y flujo de calor son elevados.

**Tabla 4.6 Calor transferido por el vapor hacia el alimento en el acondicionador.**

Alimento	Q (kJ/h)	Q <sub>T</sub>	Q <sub>a</sub> (kJ/h)	Q requerido (kJ/h)
Súper Lechera	1.850.685,52	453.921,746	503.456,74	747.364,43
Iniciador Enerpro	2.381.776,84	395.850,245	569.596,64	1.815.992,31
Crecimiento Enerpro	2.731.984,84	632.551,171	791.662,68	1.172.529,06
Iniciador Enerpro	2.400.029,17	396.081,903	543.595,76	1.350.809,66
Alimán	1.925.543,06	1.154.388,91	1.346.240,91	1.189.431,18

La tabla 4.6 muestra según el balance de energía global, que el calor enviado hacia el acondicionador no se está transfiriendo completamente hacia el alimento, esto puede ser origen de posibles fugas internas en el acondicionador; aunque se puede apreciar que tanto el calor transferido como el calor enviado, difieren del calor mínimo requerido, esto se debe a

que la mayor cantidad de calor producido por la caldera, es dirigido hacia la línea de grasas por encontrarse el sistema expuesto al ambiente; se puede observar también en la tabla 4.6 que la caldera produce la cantidad de calor como para satisfacer la demanda mínima exigida por el alimento en el acondicionador.

Observando la tabla 4.6 el alimento que recibió menor transferencia de calor en el proceso de acondicionamiento, fue el alimento Iniciador Enerpro y el que más calor recibió fue el alimento Alimán, este recibió aproximadamente 4 % de humedad, resultando con esto que la transferencia de calor para este alimento es aproximadamente la adecuada, esta situación no ocurrió con ninguno de los otros alimentos a estudio.

#### 4.1.5 Propuestas de opciones técnicas que minimicen las pérdidas de energía en el proceso

Para analizar las propuestas planteadas, es necesario tener conocimiento de la cantidad de vapor que se necesita para aumentar la humedad en un 4 % como mínimo, la tabla 4.7 muestra la cantidad de vapor necesaria, para que los pelets producidos obtengan la calidad requerida, para ello se plantearon opciones que ayuden a controlar el flujo de vapor dirigido hacia las grasas.

**Tabla 4.7 Vapor mínimo requerido por el alimento en el acondicionador.**

Alimento	Ye (kg <sub>H2O</sub> /kg <sub>SS</sub> )	Ys (kg <sub>H2O</sub> /kg <sub>SS</sub> )	Va requerida (kg/h)
Súper Lechera	0,1317	0,1854	355,37
Iniciador Enerpro	0,1246	0,1776	874,62
Crecimiento Enerpro	0,1271	0,1804	603,47
Iniciador Enerpro	0,1119	0,1637	666,81
Aliman	0,1117	0,1635	577,32

Fue necesario encontrar unas válvulas que ayudaran a regular el flujo de vapor dirigido hacia las grasas según las condiciones de operación y con ello direccionarlo hacia el acondicionador. Una válvula de orificio ajustable colocada en la tubería hacia las grasas, ayudaría a controlar este problema, porque ellas se autoregulan para permitir el paso de una cantidad máxima de flujo, lo que indica que una vez se obtenga esa cantidad máxima de flujo no seguirá pasando vapor, dirigiendo el flujo hacia el acondicionador. Cabe destacar que es necesario que para la línea de grasas, se envíe vapor, debido a que el mismo contribuye por medio de la temperatura a transferir un determinado calor y así mantener las líneas de grasa descongestionadas.

Según el vapor requerido por el alimento en el acondicionador, se muestra en la tabla 4.8 la cantidad de vapor que debe ser destinada hacia las grasas en el caso de los alimentos estudiados.

**Tabla 4.8 Cantidad de vapor enviado al área de grasa en relación a lo requerido en el acondicionador.**

Alimento	Va requerida (kg/h)	Vg (kg/h)
Súper Lechera	355,37	335,23
Iniciador Enerpro	874,62	21,80
Crecimiento Enerpro	603,47	425,70
Iniciador Enerpro	667,02	236,89
Alimán	577,32	146,80

Se puede apreciar en la tabla 4.8, que se destinaria una cantidad considerable de vapor hacia las grasas, la cual de igual manera puede contribuir a mantener la fluidez en la línea grasas; es necesario recordar que esta área no fue motivo de estudio, por lo que estos valores se deben estudiar más a fondo, según la cantidad de vapor que se necesite para obtener el calor necesario, que garantice que las líneas de grasa no se

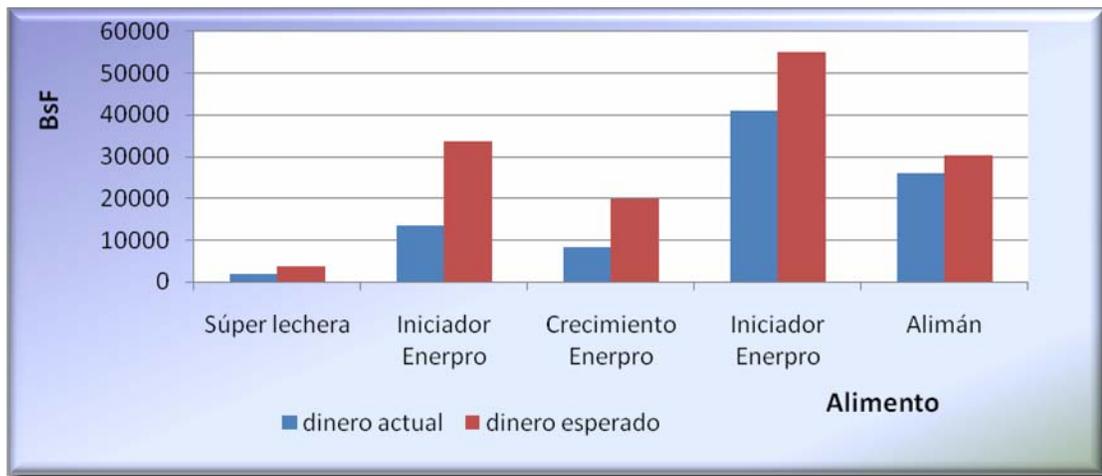
congestionaran, producto de la solidificación de no transferirse el calor requerido.

En relación a la propuesta de colocar una válvula menos exigente, pero igual de necesaria para controlar el flujo de vapor dirigido hacia las grasas, es conveniente que junto con la válvula se corrijan las fugas existentes y se aisle la tubería, con el fin de dirigir al vapor mayormente hacia la línea de acondicionamiento. Una válvula de aguja es recomendable en este caso; ellas son eficientes y de bajo costo. Ambas propuestas garantizarían que el vapor se destine en su mayoría hacia el acondicionador, porque se regularía la entrada de vapor hacia las grasas, para no permitir un paso de vapor mucho mayor a lo reflejado en la tabla 4.8.

#### **4.1.6 Pérdidas económicas en la empresa para una cantidad determinada de alimento peletizado**

En la figura 4.7 se muestra la cantidad de dinero que percibe la empresa actualmente y la cantidad que debería percibir si el alimento estuviera adquiriendo la humedad final que se requiere de 12 %, la empresa deja de ganar hasta aproximadamente 20.000 Bsf por cada 20 Ton de alimento procesado si la humedad del producto final es menor a 12 %.

Las propuestas técnicas realizadas ayudarían a mejorar la cantidad de vapor adicionada al alimento en el acondicionador y con ello se aumentaría considerablemente la humedad en el alimento final, beneficiando de gran manera la productividad de la empresa, además se evitaría un consumo en exceso de energía, al igual que se desperdiciaría menor cantidad de vapor y el equipo de generación de vapor se controlaría de manera más adecuada.



**Figura 4.7 Valores actuales y esperados del dinero que ingresa a la planta por determinados alimentos peletizados.**

## 4.2 CONCLUSIONES

1. Los parámetros fisicoquímicos del agua de alimentación e interna de la caldera se encuentran dentro de los rangos establecidos excepto la dureza.
2. La producción de vapor varía según el alimento que estén peletizando.
3. La mayor producción de vapor fue de 1.033,22 kg/h (2.277,84 lb/h).
4. La eficiencia de la caldera es aproximadamente 72,30%.
5. La mayor cantidad de vapor y calor se dirige hacia los tanques de grasa.
6. De 16 a 25 % es el calor transferido en el acondicionador.
7. De los alimentos estudiados el alimán es el que recibe mayor cantidad de vapor para peletizado.
8. El alimento adquiere menos de 4% de humedad en el acondicionamiento.
9. El alimento alimán es el que recibe una mayor transferencia de calor de 59,95 %.

10. El calor dirigido hacia el acondicionador difiere del calor transferido hacia el alimento hasta en un 10 %.
11. Tanto la válvula de orificio ajustable como la de aguja, ayudarían a regular el vapor dirigido hacia las grasas, aumentando la productividad de la empresa al igual que la calidad del producto.

#### **4.3 RECOMENDACIONES**

- Realizar una adecuada regeneración en el equipo suavizador, para controlar la presencia de sales como calcio y magnesio dentro de la caldera.
- Realizar los análisis fisicoquímicos al agua de alimentación e interna de la caldera por lo menos una vez al día.

## BIBLIOGRAFIÁS

- Avendaño J. **“Influencia de las Condiciones de Operación del Mezclador de la Prensa Granuladora, en el Grado de Gelatinización de los Almidones”** Tesis de grado, Departamento de Ingeniería, Universidad de Oriente, Anzoátegui, Venezuela (2006).
- Bird R., Stewart W., Lightfoot E. **“Fenómenos de Transporte”** 1ª edición, Editorial REVERTÉ, S.A., Barcelona, España (1997).
- Caballanos J. **“Calderas Industriales”** España. Disponible en: [http://www.elprisma.com/apuntes/ingenieria\\_industrial/tiposdecalderasindustriales/](http://www.elprisma.com/apuntes/ingenieria_industrial/tiposdecalderasindustriales/) (2007).
- CONAE **“Eficiencia en Calderas y Combustión”** México. Disponible en: [www.conae.gob.mx](http://www.conae.gob.mx) (2007).
- CONTROLES S.A. **“Control de Calderas”** [Manual], Madrid (2000).
- Di Reffo La MECCANICA s.r.l. **“Vapor para Granulación”** Italia. Disponible en: [http://www.lamec-pellets.com/ver\\_sp/main\\_infotech\\_sp.htm](http://www.lamec-pellets.com/ver_sp/main_infotech_sp.htm) (2005).
- FEDNA **“Gelatinización de Almidón”** España. Disponible en: <http://www.etsia.upm.es/fedna/analisis/ana61x.htm> (2000).
- Geankoplis C. **“Procesos de transporte y operaciones unitarias”** 3 edición, Editorial CONTINENTAL, S.A. de C.V., México (1998).
- Greene R. **“Válvulas Selección, uso y mantenimiento”** 5ª edición, Editorial McGRAW-HILL, México (1998).
- Himmelblau D. **“Principios Básicos y Cálculos en Ingeniería Química”** 6ª edición, Editorial PRENTICE-HALL HISPANOAMERICANA, S.A., México (1997).
- Howel J., Buckius R. **“Principios de Termodinámica para Ingeniería”** 1ª edición, Editorial McGRAW-HILL, México (1990).

- Kemmer, Frank N. **“the Nalco Water Handbook”** 2ª edición, Editorial McGRAW-HILL Book Company, Estados Unidos (1988).
- Kohan A. **“Manual de Caldera”** 1ª edición, Editorial McGRAW-HILL, Madrid (2000).
- Levenspiel O. **“Flujo de Fluidos e Intercambio de Calor”** 1ª edición, Editorial REVERTÉ, S.A., Barcelona, España (1993).
- López R. **“Evaluación del Sistema de Enfriamiento de los Productos Peletizados, de una Empresa Productora de Alimentos para Animales”** Tesis de grado, Departamento de Ingeniería Química, Universidad de Oriente, Anzoátegui, Venezuela (2010).
- McCabe W., Smith J., Harriot P. **“Operaciones Unitarias en Ingeniería Química”** 4ª edición, Editorial McGRAW-HILL, Madrid (1991).
- Meriam J., Kraige L. **“Mecánica para Ingenieros”** 3ª edición, Editorial REVERTÉ S.A. México (1999).
- NALCO Venezuela S.C.A. **“Sistema de generación de vapor”** Venezuela (2009).
- Ruiz F. **“Evaluación del proceso de generación, uso y consumo de vapor en el sistema de calderas de una empresa automotriz”** Tesis de grado, Departamento de Ingeniería Química, Universidad de Oriente, Anzoátegui, Venezuela (2010).
- Sisteagua **“Calidad de Agua para Generadores de Vapor”** México Disponible en:  
[www.econext.com.mx](http://www.econext.com.mx) (2007).
- Smith C., Corripio A., **“Control Automático de Procesos”** 1ª edición, Editorial LIMUSA, S.A., México D.F. (1991).
- Smith J., Van Ness H., Abbott M. **“Introducción a la Termodinámica en Ingeniería Química”** 5ª edición, Editorial McGRAW-HILL, México (1997).
- Zарtha J. **“Tecnología de Alimentos Balanceados para Animales”** Colombia Disponible en:

<http://eav.upb.edu.co/banco/files/Tecnolog%C3%ADa%20de%20Alimentos%20B%20alanceados%20para%20Animales.pdf> **(2008)**.

**METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:**

<b>TÍTULO</b>	“EVALUACIÓN DEL PROCESO DE GENERACIÓN DE VAPOR UTILIZADO EN LA LÍNEA DE PELETIZADO EN UNA PLANTA DE ANIMALES”
<b>SUBTÍTULO</b>	ALIMENTOS SÚPER S, BARCELONA, ESTADO ANZOÁTEGUI

**AUTOR (ES):**

<b>APELLIDOS Y NOMBRES</b>	<b>CÓDIGO CULAC / E MAIL</b>
FARFAN TAYUPO MARYCARMEN MILAGRO	<b>CVLAC:</b> 18.569.051 <b>E MAIL:</b> marycarmen.1987@gmail.com

**PALÁBRAS O FRASES CLAVES:**CalderasParámetros fisicoquímicos del aguaEficiencia térmicaBalances de masa y energíaAcondicionadorPeletizado

**METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:**

ÀREA	SUBÀREA
Ingeniería y Ciencias Aplicadas	
	INGENIERÍA QUÍMICA

**RESUMEN (ABSTRACT):**

Se realizó una evaluación en el proceso de generación de vapor, utilizado en el acondicionamiento del alimento y a su vez este adquiriera una humedad específica, situación que no está sucediendo, porque el alimento sale fuera de especificación, generando como consecuencia, pérdidas económicas en la empresa. Se analizó el agua de alimentación a la caldera y la interna, con el fin de observar los parámetros de control del agua. Se determinó la eficiencia térmica de la caldera y se realizaron balances de masa y energía en todo el proceso. Se determinó la cantidad de calor aportado por el vapor hacia determinados alimentos. Se logró observar que los parámetros del agua están dentro del rango establecido a excepción de la dureza, la eficiencia térmica de la caldera fue de 72,30%, la mayor cantidad de vapor y calor se dirige hacia los tanques de grasa, el alimento adquiere menos de 4% de humedad en el acondicionamiento con vapor, de 16 a 25 % es el calor transferido hacia el alimento. Se realizaron propuestas que puedan ayudar a minimizar las pérdidas de energía, lo que beneficia la economía de la planta, logrando que el alimento peletizado adquiera mayor humedad en el acondicionador.

**METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:****CONTRIBUIDORES:**

APELLIDOS Y NOMBRES	ROL / CÓDIGO CVLAC / E_MAIL				
	ROL	CA	AS X	TU	JU
Moreno, Luis	CVLAC:	8.987.972			
	E_MAIL	morenogranadosluis@gmail.com			
	E_MAIL				
	ROL	CA	AS	TU X	JU
Iturbe, Francisco	CVLAC:	6.513.040			
	E_MAIL	friturbep@gmail.com			
	E_MAIL				
	ROL	CA	AS	TU	JU X
Santamaría, Freddy	CVLAC:	11.420.313			
	E_MAIL				
	E_MAIL				
	ROL	CA	AS	TU	JU X
Cova, Alexis	CVLAC:	11.905.328			
	E_MAIL	alexiscovab@gmail.com			
	E_MAIL				
	ROL	CA	AS	TU	JU X

**FECHA DE DISCUSIÓN Y APROBACIÓN:**

2011	04	01
<b>AÑO</b>	<b>MES</b>	<b>DÍA</b>

**LENGUAJE. SPA**

**METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:****ARCHIVO (S):**

NOMBRE DE ARCHIVO	TIPO MIME
TESIS. Evaluación del proceso de generación de vapor.doc	Application/msword

**CARACTERES EN LOS NOMBRES DE LOS ARCHIVOS:** A B C D E F G H  
I J K L M N O P Q R S T U V W X Y Z. a b c d e f g h i j k l m n o p q r s t u  
v w x y z. 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9.

**ALCANCE**

**ESPACIAL:** \_\_\_\_\_ (OPCIONAL)

**TEMPORAL:** \_\_\_\_\_ (OPCIONAL)

**TÍTULO O GRADO ASOCIADO CON EL TRABAJO:**

Ingeniero Químico

**NIVEL ASOCIADO CON EL TRABAJO:**

Pregrado

**ÁREA DE ESTUDIO:**

Departamento de Ingeniería Química

**INSTITUCIÓN:**

Universidad de Oriente/Núcleo de Anzoátegui

**METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:****DERECHOS:**

De acuerdo al 41 del reglamento de trabajos de grado:

*“Los Trabajos de grado son exclusividad de la Universidad de Oriente y solo podrán ser utilizados a otros fines con el consentimiento del Consejo de Núcleo respectivo, quien lo participará al Consejo Universitario”*

Farfan T., Marycarmen M.

**AUTOR**

Moreno, Luis

**TUTOR**

Santamaría, Freddy

**JURADO**

Cova, Alexis

**JURADO**

Salas, Yraima

**POR LA SUBCOMISION DE TESIS**