

CARACTERIZACIÓN DE UN PROTOTIPO PARA LA DENSIFICACIÓN DEL  
JUGO DE CAÑA DE AZÚCAR

ANDRÉS FELIPE NARANJO GARCÍA  
JAIRO ANDRÉS SÁNCHEZ COLLANTES

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA SECCIONAL BUCARAMANGA  
ESCUELA DE INGENIERÍA  
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA  
BUCARAMANGA

2013

CARACTERIZACIÓN DE UN PROTOTIPO PARA LA DENSIFICACIÓN DEL  
JUGO DE CAÑA DE AZÚCAR

ANDRÉS FELIPE NARANJO GARCÍA  
JAIRO ANDRÉS SÁNCHEZ COLLANTES

Proyecto de grado presentado como requisito para optar al título de ingeniero  
mecánico

Director:

Edwin Jesús Córdoba Tuta  
Ingeniero Mecánico

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA SECCIONAL BUCARAMANGA  
ESCUELA DE INGENIERÍA  
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA  
BUCARAMANGA

2013

Nota de Aceptación

---

---

---

---

---

---

---

Firma del presidente del jurado

---

Firma del jurado

---

Firma del jurado

## **DEDICATORIA**

A mi familia que gracias a su apoyo incondicional hizo que este proyecto se realizara satisfactoriamente, y que siempre están atentos a mis metas y proyectos.

ANDRES FELIPE NARANJO GARCIA

## **DEDICATORIA**

A mi familia que siempre estuvo atenta en mis metas, mis propósitos y mis sueños, siempre con un apoyo incondicional en las buenas y malas decisiones

JAIRO ANDRES SANCHEZ COLLANTES.

## **AGRADECIMIENTOS**

Como primera medida al ingeniero Rene Carreño quien confió en nosotros y nos permitió ser partícipes en la investigación a su cargo, al ingeniero Edwin Córdoba por sus aportes y apoyo durante el proceso; al cuerpo docente de la facultad de ingeniería mecánica por sus recomendaciones.

## CONTENIDO

<b>INTRODUCCION.</b> .....	<b>13</b>
<b>1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.</b> .....	<b>14</b>
<b>2. OBJETIVOS.</b> .....	<b>15</b>
2.1. OBJETIVO GENERAL. ....	15
2.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS. ....	15
<b>3. MARCO TEORICO.</b> .....	<b>16</b>
3.1. Proceso de producción de la panela. ....	16
3.2. Investigaciones realizadas por –cimpa. ....	16
3.3. Resolución 683 de 2012 del ministerio de salud y protección social...	17
3.3.1. Artículo 4°. ....	17
3.3.2. Artículo 5°. ....	17
3.3.3. Artículo 6°. ....	18
<b>4. DEFINICIONES.</b> .....	<b>19</b>
4.1. Hornilla panelera. ....	19
4.2 Cámara de combustión. ....	19
<b>5. CONSTRUCCIÓN DEL MODELO PLANTEADO POR EL GRUPO DE INVESTIGACIÓN GIDeTechMA.</b> .....	<b>21</b>
5.1. Materiales.....	21
5.2. Procedimiento.....	21

5.3. Descripción del funcionamiento del modelo.....	27
<b>6. PRUEBAS REALIZADAS EN TRAPICHE TRADICIONAL.....</b>	<b>28</b>
6.1. Resultado de las pruebas realizadas en trapiche tradicional.....	32
<b>7. CARACTERIZACIÓN DEL MODELO PROPUESTO.....</b>	<b>33</b>
7.1. Consumo energético en la evaporación del agua. ....	33
7.2 Consumo específico del modelo planteado .....	34
7.3 Comportamiento del modelo.....	35
7.4 Comportamiento del modelo con jugo de caña.....	36
<b>8. OBSERVACIONES.....</b>	<b>39</b>
<b>9. CONCLUSIONES.....</b>	<b>40</b>
<b>10. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>41</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>42</b>
<b>ANEXO A: FOTOGRAFÍAS DE PRUEBAS CON JUGO DE CAÑA .....</b>	<b>43</b>

## LISTA DE TABLAS

6.1: Tabla de datos tomados en trapiche tradicional.....	31
7.1.1: Tabla del consumo específico de energía .....	33
7.2.1: Tabla consumo específico .....	34

## LISTA DE FIGURAS

4.2.1: Fotografía del horno.....	20
4.2.2: Fotografía de la chimenea del horno.....	20
5.3: Descripción del funcionamiento del modelo.....	27
5.2.1 Dibujo del tanque del modelo.....	21
5.2.2 Dibujo pared del tanque .....	22
5.2.3 Dibujo salida de fluido del tanque .....	22
5.2.4 Dibujo base del tanque .....	23
5.2.5 Dibujo cono del tanque .....	23
5.2.6 Calentador de agua.....	24
5.2.7 Dibujo soporte de calentador .....	25
5.2.8 Fotografía bomba centrífuga .....	25
5.2.9 Fotografía ficha técnica de la bomba .....	26
5.2.10 Fotografía base del modelo .....	26
6.1: Fotografía dos pailas finales .....	28
6.2: Fotografía Tomando muestra de jugo en proceso .....	29
6.3: Fotografía del recipiente final para bajar la temperatura.....	29
6.4: Fotografía tomando temperatura de la muestra.....	30
6.5: Fotografía tomando peso de la muestra .....	30
6.6: Fotografía panelas en fase final.....	31
6.1.1: grafica de la temperatura contra la densidad.....	32
7.3.1 Grafica rata de temperatura .....	35
7.4.1 Gráfica del comportamiento de la temperatura del jugo en el modelo. ....	37

## **RESUMEN DEL TRABAJO DE GRADO**

**TITULO:** Caracterización de un prototipo para la densificación del jugo de caña de azúcar

**AUTORES:** Andrés Felipe Naranjo García y Jairo Andrés Sánchez Collantes

**DIRECTOR:** Edwin Jesús Córdoba Tuta

**FACULTAD:** Ingeniería Mecánica

### **RESUMEN**

El presente proyecto tuvo como objeto la construcción de un modelo físico para la densificación del jugo de caña de azúcar, propuesto por el grupo de investigación GIDeTechMA, siguiendo las normas de sanidad requeridas para la manipulación de alimentos. Con este modelo se comparó el consumo energético en el proceso de densificación con respecto a un modelo tradicional (paila); cambiando el combustible leña y bagazo utilizado aquí, por el del gas natural. Para ello se adaptó un calentador de agua convencional, se instaló una bomba centrífuga para alimentos viscosos y con sello resistente a altas temperaturas, se usó un variador de frecuencia y se usó el tanque prototipo de acero inoxidable. Donde se realizó una serie de pruebas tanto con agua, como con jugo de caña, las cuales se enfocaron en variables como: densidad, temperatura, consumo energético y tiempo; las cuales fueron tabuladas para la comparación con el modelo tradicional.

#### **Palabras Claves:**

Jugo de caña, densificador de jugo de caña, calentador

**V° B°**

## **SUMMARY OF THE PROJECT GRADUATE**

**TITLE:** Characterization of a prototype for the densification of the juice of sugar cane

**AUTHORS:** Andrés Felipe Naranjo García and Jairo Andrés Sánchez Collantes

**DIRECTOR:** Edwin Jesús Córdoba Tuta

**FACULTY:** Mechanical Engineering

### **ABSTRACT**

This project was aimed at building a physical model for the densification of sugarcane juice, proposed by the research group GIDeTechMA, following the required health standards for food handling. With this model we compared the energy consumption in the densification process with respect to a traditional model (paila), changing the fuel wood and bagasse used here, for natural gas. This is adapted a conventional water heater, installed a centrifugal pump for viscous foods and high temperature resistant seal, we used a frequency and used the stainless steel tank prototype. Where a series of tests performed both with water as cane juice, which focused on variables such as density, temperature, energy consumption and time, which were tabulated for comparison with the traditional model.

### **KEYWORDS:**

Cane Juice, Densifier Cane Juice, Heater

**V ° B °**

## INTRODUCCIÓN

En el presente documento se dará a conocer la posibilidad de aumentar la eficiencia y calidad de los productos derivados de la caña de azúcar, como sabemos son muy pocos los trapiches paneleros en Colombia que cuentan con algo de tecnología y por ello la producción se realiza igual que hace 50 años atrás.

Enfocados en conocimientos de transferencia de calor, materiales y manejo de alimentos se construyó un prototipo base para la definición de un cambio drástico en la cadena de procesamiento de este jugo, tal que satisfaga las medidas de sanidad según el tratado de MERCOSUR y a su vez beneficie de manera económica y ambiental a los productores del país.

Esto dará cabida a optimizar el proceso de producción de la panela en la industria, reduciendo tiempo el tiempo del calentamiento del jugo, disminuyendo el consumo de combustible y automatizando parte del proceso; lo que podrá generar un producto de alta calidad y reducir costos en la industria.

## 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Este proyecto de grado nace considerando la importancia de la actividad panelera en Colombia, por ser la segunda agroindustria rural después del café, generadora de 353.366 empleos directos y soporte de desarrollo en diferentes regiones del país. Pero siendo este sector uno de los más importantes de la industria en Colombia tiene serios problemas, debido a que la tecnología que se usa en la actualidad no se ha desarrollado junto con la tecnología actual, sino que se ha quedado atrasada varios años, haciendo que las ganancias sean muy pocas, uno de los factores que influyen es la baja eficiencia que tiene el proceso. Como parte del compromiso de un ingeniero en ayudar a la comunidad nace la propuesta de desarrollar esa tecnología, pero como el tiempo para el desarrollo de un proyecto de investigación es muy corto para dos estudiantes y el trabajo en hacerlo es mucho si consideramos todos los elementos que tiene en realizar una panela, nos enfocamos en una idea, la cual fue mejorar el proceso de densificación de la misma, por medio de la práctica, demostrar si esta idea puede contribuir o no a la industria, o realizar los respectivos aportes partiendo de nuestra investigación para futuras investigaciones en este campo.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. OBJETIVO GENERAL**

Caracterizar el comportamiento de un prototipo de densificación de jugo de caña cónico para la evaporación del jugo de caña de azúcar, propuesto por el grupo de Investigación GIDeTechMA de la UPB como método alternativo de la evaporación en la cadena de producción de la panela.

### **2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Construir e instrumentar un modelo cónico de densificación, propuesto por el grupo de investigación GIDeTechMA, para su evaluación en el proceso de densificación de los jugos de caña de azúcar. Resultado: modelo densificador construido e instrumentado. Indicador: Modelo densificador que cumple con las normas de la Resolución 683 de 2012 del ministerio de salud y protección social.

Caracterizar el modelo mediante la comparación del consumo energético del proceso de densificación (balance de masa en el tiempo) entre el método tradicional (paila) y el modelo propuesto (cónico) haciendo uso de los instrumentos instalados y los equipos del laboratorio de automatización y control de procesos agroindustriales. Resultado: Comparación energética del proceso propuesto y el proceso tradicional. Indicador: Gráfica de por lo menos diez condiciones distintas de operación en la que relaciona una curva por método de la energía consumida vs la densidad.

Tabular el comportamiento del jugo de caña de azúcar en el prototipo Resultado: gráficas y tablas del comportamiento de variables como temperatura, densidad y tiempo. Indicador: comportamiento del jugo de caña en un modelo de densificación tradicional

### **3. MARCO TEÓRICO**

#### **3.1. PROCESO DE PRODUCCION DE LA PANELA**

Uno de los factores que influyen en la calidad de la panela como producto final, es la eficiencia en cuanto a su producción, partiendo de la evaporación del agua aumentando la concentración de sacarosa en el jugo de la caña [1].

Cuando el jugo adquiere un contenido de sólidos solubles cercanos a los 70° Brix el flujo se convierte en miel, y se inicia la concentración. Esta evaporación del agua se lleva a cabo a una temperatura aproximada de 96°C permitiendo alcanzar concentración en los sólidos, que es apropiada para la consolidación y el moldeo de la panela entre 120 y 125°C [1].

Cuando los jugos se han recogido en el fondo de la paila puntera, se agrega un agente antiadherente y antiespumante (cera de laurel, aceite de coco, aceite vegetal) para homogeneizar la miel y evitar que se quemé la panela [1].

Estas operaciones se llevan a cabo en pailas o fondos dispuestos en línea, que reciben diferentes denominaciones técnicas y regionales [1].

Las sustancias que están prohibidas en el proceso son: hidrosulfito de sodio o blanqueadores (clarol), colorantes (anilinas) o sustancias tóxicas, grasas saturadas de origen animal, Azúcar, mieles del gremio azucarero, jarabe de maíz, panelas devueltas que tengan incidencia sobre la inocuidad y calidad de la panela, y cualquier otra sustancia química que cambie su valor nutricional o afecte la salud [1].

#### **3.2. INVESTIGACIONES REALIZADAS POR CIMPA**

Las investigaciones realizadas por el Centro de Investigación para el Mejoramiento de la Panela -CIMPA permitieron la fabricación de pailas mucho más eficientes. Este proceso dio como resultado una reducción en el tiempo de residencia, aumento en la calidad de las características físicas del producto como: Color y consistencia, incremento de producción y generó mayores ingresos para los cañicultores [1].

Uno de los mayores avances en la optimización de este proceso fue el cambio de combustibles adicionales como lo es la leña por el bagazo, esto tiene como

resultado beneficios ambientales como la conservación de los bosques, una reducción de costos de producción y menor producción de gases de invernadero a la atmósfera [1].

### **3.3. RESOLUCIÓN 683 DE 2012 DEL MINISTERIO DE SALUD Y PROTECCIÓN SOCIAL**

#### **3.3.1. Artículo 4°.**

Clasificación. Teniendo en cuenta los grupos de materiales como objetos, envases y equipamientos, estos se clasifican [2]:

1. Materiales plásticos, incluidos sus aditivos.
2. Elastómeros y cauchos, incluidos sus aditivos.
3. Celulósicos y sus aditivos.
4. Papeles, cartulinas y cartones, incluidos sus aditivos.
5. Vidrios y cerámicas.
6. Metales y aleaciones, incluidos sus revestimientos como barnices, esmaltes y lacas.

Parágrafo. La reglamentación específica para los grupos de materiales, objetos, envases y equipamientos, será establecida por el Ministerio de Salud y Protección Social [2].

#### **3.3.2. Artículo 5°.**

Requisitos de los materiales y objetos activos e inteligentes destinados a entrar en contacto con alimentos o bebidas para consumo humano [2].

Los materiales y objetos activos e inteligentes destinados a entrar en contacto con alimentos para consumo humano deben cumplir con los siguientes requisitos [2]:

1. Las sustancias que modifiquen la composición o las características sensoriales de los alimentos, deben cumplir con la normativa que el Ministerio de Salud y Protección Social expida para aditivos alimentarios.

2. Los componentes que transmitan sustancias a los alimentos envasados o al entorno de estos o que absorban sustancias de alimentos envasados o del entorno de estos, deben cumplir con las disposiciones establecidas en el presente reglamento técnico.
3. Los materiales y objetos activos no deben ocasionar modificaciones de la composición ni de los caracteres sensoriales de los alimentos que puedan inducir a error a los consumidores.
4. Los materiales y objetos inteligentes no deben contener información sobre el estado de los alimentos que pueda inducir a error a los consumidores.
5. Los materiales y objetos activos e inteligentes destinados a entrar en contacto con alimentos deben llevar en el rótulo información que permita al consumidor identificar las partes no comestibles.
6. Los materiales y objetos activos e inteligentes deben indicar en el rótulo que son activos o inteligentes, o ambas cosas.

### **3.3.3. Artículo 6°.**

Prohibiciones. Los materiales que se prohíben para entrar en contacto con alimentos y bebidas son [2]:

1. Costales de fibras naturales o sintéticas, que no sean de primer uso.
2. Envases de madera (guacales) que no sean de primer uso.
3. Tapones y otros objetos de corcho (sellos o guarniciones), que no sean de primer uso.
4. El empleo de materiales recuperados pos consumo o de descarte industrial como materia prima para la fabricación de materiales, objetos, envases y equipamientos destinados a entrar en contacto con alimentos y bebidas que puedan alterar la inocuidad de los mismos.

PARÁGRAFO: Se prohíbe el uso y empleo de recipientes, envases y embalajes que tengan leyendas y marcas correspondientes a otros productos que circulen en el comercio o que hayan servido con anterioridad como recipientes, envases o embalajes de otro tipo de productos que no son propios del fabricante o comerciante que los utiliza [2].

## **4. DEFINICIONES**

Para el objetivo de este proyecto las definiciones estarán enfocadas hacia la demanda del proyecto.

### **4.1. HORNILLA PANELERA**

Lugar donde se lleva a cabo el proceso de conversión de jugo a panela. Aquí se transforma la energía del combustible en energía calórica, para evaporar el agua contenida en los jugos extraídos de la caña. La forma y el tamaño de una hornilla panelera varían mucho entre una región panelera y otra, pero, en general, puede decirse que la hornilla está formada por la cámara de combustión, el área de evaporación (pailas), el ducto de humos y la chimenea [1].

### **4.2. CÁMARA DE COMBUSTIÓN**

Es un recinto en el que llevamos el proceso de quema del bagazo y demás combustibles empleados en la fabricación de panela. Consta de boca para alimentación de combustible, emparrillado y cenicero. Puede construirse en diversos materiales y formas, claro está que los materiales deben cumplir con las exigencias de temperatura y la geometría con la combustión, lo más común son puertas de Forma cuadrada o rectangular construidas en hierro fundido [1].

Figura 4.2.1 Fotografía del horno



Fuente: Autores

Figura 4.2.2 Fotografía de la chimenea del horno



Fuente: Autores

## 5. CONSTRUCCIÓN DEL MODELO PLANTEADO POR EL GRUPO DE INVESTIGACIÓN GIDeTechMA

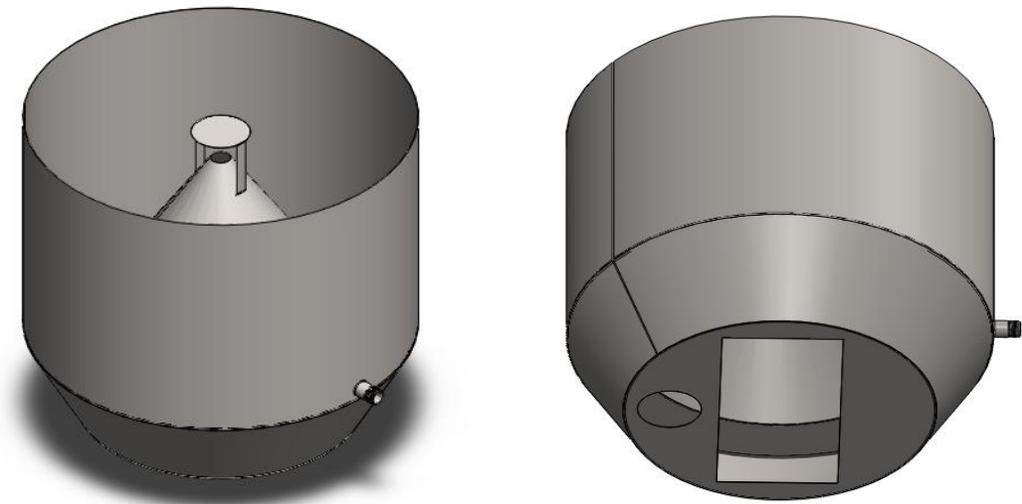
### 5.1. MATERIALES:

- Acero inoxidable
- Cobre
- Acero
- Soldadura de plata al 25%
- Bronce
- Tubo flexible de aluminio

### 5.2. PROCEDIMIENTO:

Se utilizó una lámina de acero inoxidable calibre 20 (0.9 mm de espesor), con la cual se construyó la pared, el cono y la base del tanque; además de eso el soporte del calentador y la parte inferior del tanque donde se direccionan los gases de invernadero. (Ver figura 5.2.1).

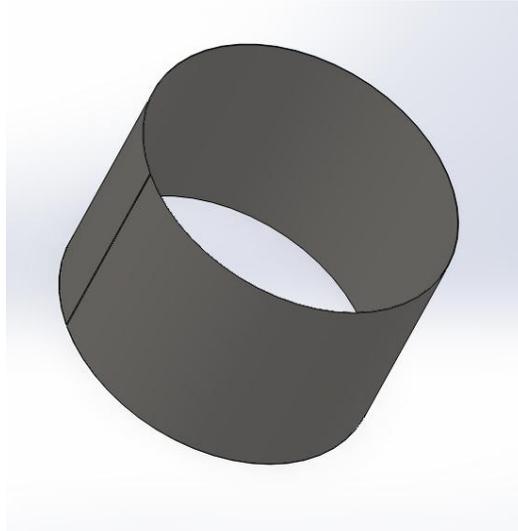
Figura 5.2.1 Dibujo del tanque del modelo



Fuente: Autores

La pared del tanque tiene un diámetro de 60 cm, una altura de 40 cm y un orificio de  $\frac{3}{4}$ " a un costado, todos los cortes a la lámina fueron realizados con plasma. (Ver figura 5.2.2).

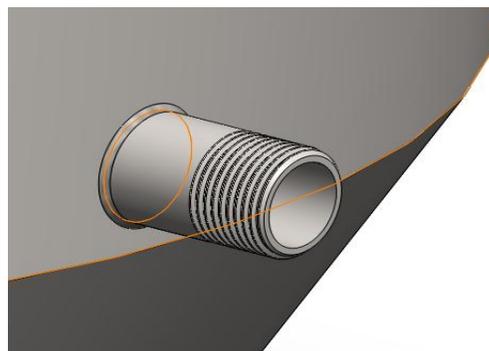
Figura 5.2.2 Dibujo pared del tanque



Fuente: Autores

Se soldó un niple de acero inoxidable de  $\frac{3}{4}$ " en el orificio de la pared del tanque para tener un acceso roscado al desagüe del mismo. (Ver figura 5.2.3).

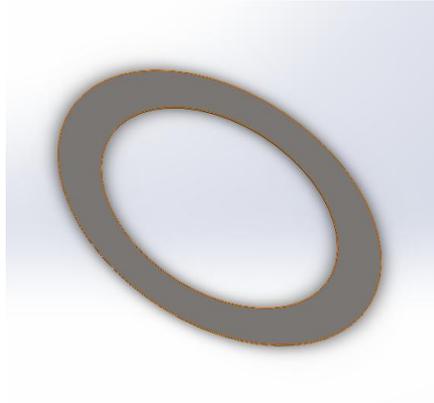
Figura 5.2.3 Dibujo salida de fluido del tanque



Fuente: Autores

La base del tanque es un anillo de diámetro exterior de 60 cm y un diámetro interior de 44 cm. (Ver figura 5.2.4)

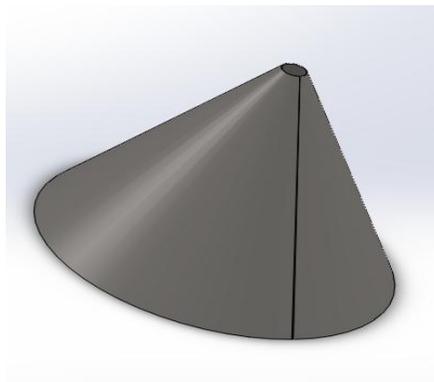
Figura 5.2.4 Dibujo base del tanque



Fuente: Autores

El cono tiene un diámetro inferior de 44 cm, un diámetro superior de 3 cm y una altura de 38 cm. (Ver figura 5.2.5).

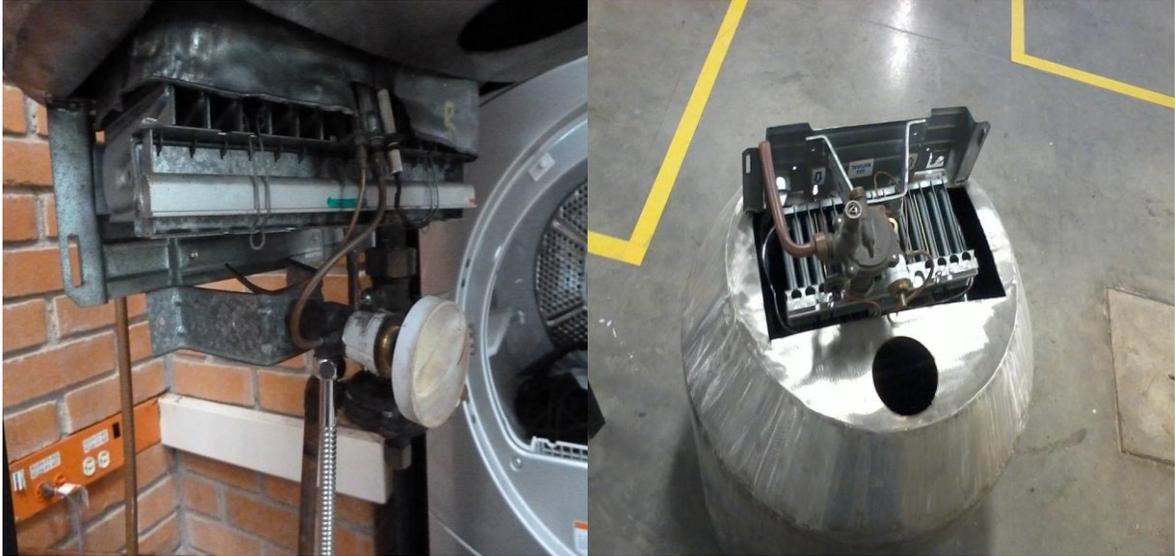
Figura 5.2.5 Dibujo cono del tanque



Fuente: Autores

Un calentador de agua domestico ubicado en la parte inferior del cono que descarga en la parte superior del mismo, es utilizado como fuente transmisora de calor a nuestro fluido, el gas natural aporta el calor por medio de una serie de flautas que tienen flujo de gas de acuerdo al comportamiento del diafragma accionado por el paso del fluido hacia el serpentín. (Ver figura 5.2.6).

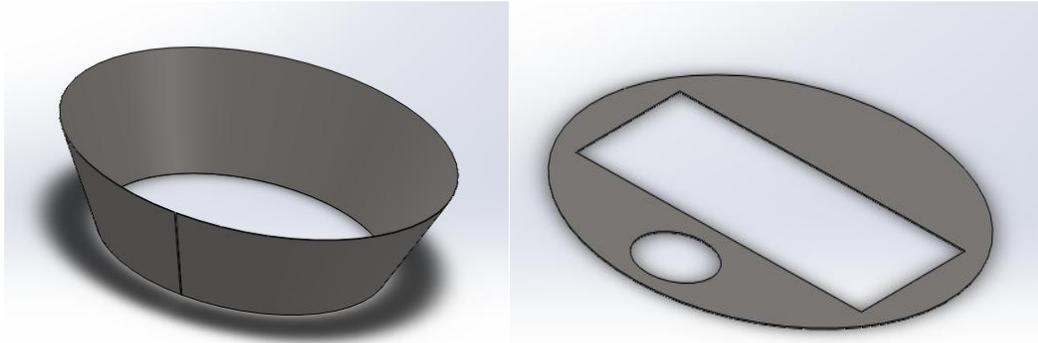
Figura 5.2.6 Calentador de agua



Fuente: Autores

Para el soporte del calentador, estructura que encierra y direcciona los gases de combustión se tiene un semicono de diámetro superior 60 cm, diámetro inferior de 44 cm y una altura de 15 cm; un círculo con un corte rectangular en la mitad y otro circular a un costado componen la base del soporte del calentador. (Ver figura 5.2.7).

Figura 5.2.7 Dibujo soporte de calentador



Fuente: Autores

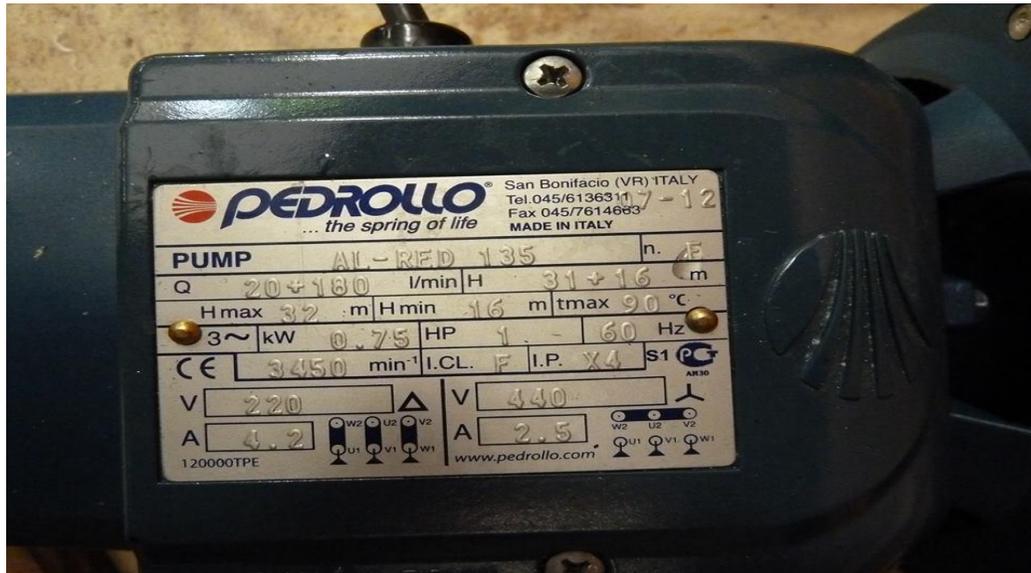
Una motobomba centrífuga en acero inoxidable y con un sello en vitón que garantice el buen funcionamiento a temperaturas cercanas a los 100°C, es ubicada en la parte inferior del tanque, tiene como succión el desagüe del tanque y como descarga la entrada del calentador; la succión se realiza por medio de una tubería de cobre y un racor de bronce conectados al niple; la descarga de igual manera tiene una tubería de cobre conectada al diafragma en la entrada del calentador. (Ver figura 5.2.8).

Figura 5.2.8 Bomba centrífuga



Fuente: Autores

Figura 5.2.9 Ficha tecnica de la bomba



Fuente: Autores

Una cinta de acero rolada y tres ángulos soldados a ella son utilizados como base para mantener el tanque elevado y así garantizar una cabeza positiva en la succión de la bomba y un espacio óptimo para que el aire ingrese de forma natural al calentador. (Ver figura 5.2.10).

Figura 5.2.10 Base del modelo



Fuente: Autores

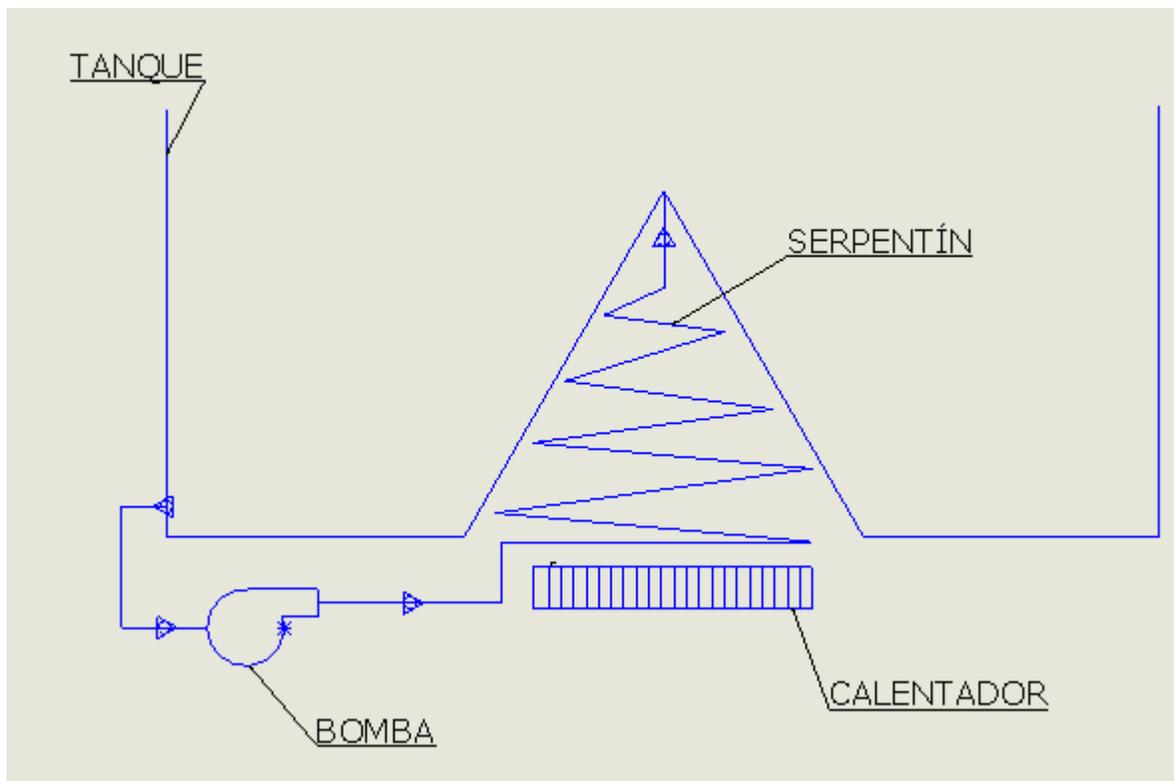
Todos los rolados y cortes fueron realizados en una empresa de Bucaramanga llamada CORPLIEGUES, el proceso de soldadura se realizó en las instalaciones de la universidad.

### 5.3. DESCRIPCIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DEL MODELO

El modelo funciona en un ciclo cerrado, el cual fluye gracias a una bomba centrífuga, este elemento impulsa el fluido hacia el calentador que se encuentra en la parte inferior del cono, dicho calentador le aporta calor y el fluido sale por la parte superior del cono, allí cae al tanque y se almacena aumentando la temperatura del resto de fluido; por el orificio del tanque que está conectado a la succión de la bomba vuelve a entrar a ella y retorna al calentador.

Los gases de combustión del calentador son extraídos de la parte inferior del tanque por medio de una tubería flexible de aluminio de 4" de diámetro

Figura 5.3.1 Descripción del funcionamiento del modelo



Fuente: Autores

## 6. PRUEBAS REALIZADAS EN TRAPICHE TRADICIONAL

Se realizó una toma de datos en las instalaciones de un trapiche tradicional a las afueras de Piedecuesta, vía guatiguara, las cuales tenían como objetivo tabular el comportamiento del jugo de caña a medida que pasa por el proceso de evaporación de agua; las variables que se tuvieron en cuenta fueron: peso y temperatura, y con un volumen fijo de muestra se calculó la densidad.

Las instalaciones cuentan con un horno en forma de túnel que pasa por debajo de las pailas, y al final tiene una chimenea; el horno usa como combustible bagazo, además de esto tiene cuatro pailas, dos iniciales en donde se lleva a cabo la mayor parte de la evaporación de agua y dos finales donde se concentra la miel a una temperatura de aproximadamente 90°C por un tiempo medio de media hora (figura 6.1); las dos primeras pailas (ver figura 6.2), son aproximadamente cuatro veces más grande que las dos finales, ya que el volumen disminuye a medida que se evapora el agua.

Hay un recipiente final el cual se encuentra a temperatura ambiente, y es donde la temperatura del jugo baja lentamente hasta un valor cercano a 40°C (ver figura 6.3), después de eso se reparte en cada una de las formaletas hasta que llegue a la temperatura ambiente (ver figura 6.6).

Figura 6.1 Fotografía dos pailas finales



Fuente: Autores

Figura 6.2 Fotografía Tomando muestra de jugo en proceso



Fuente: Autores

Figura 6.3 Fotografía del recipiente final para bajar la temperatura



Fuente: Autores

Figura 6.4 Fotografía tomando temperatura de la muestra.



Fuente: Autores

Figura 6.5 Fotografía tomando peso de la muestra



Fuente: Autores

Tabla 6.1 Datos tomados en trapiche tradicional.

	TEMPERATURA (°C)	VOLUMEN (m <sup>3</sup> )	PESO (kg)	DENSIDAD (kg/m <sup>3</sup> )
1	68	0,000122746	0,032	260,7015119
2	68	0,000122746	0,0293	238,7048219
3	62	0,000122746	0,0281	228,9285152
4	70	0,000122746	0,0328	267,2190497
5	90	0,000122746	0,0381	310,3977376
6	55	0,000122746	0,0275	224,0403618
7	26	0,000346834	0,5	1441,611837

Fuente: Autores

Prueba de densidad contra temperatura del jugo de caña en el proceso de densificación tradicional.

Las muestras del 1 al 6 fueron tomadas del proceso de densificación del jugo de forma simultánea a la producción de la panela, y la muestra 7 fue tomada de una panela ya terminada (ver figura 6.6), debido a esto de evidencia una gran diferencia en la densidad de la muestra numero 7 a las 6 anteriores.

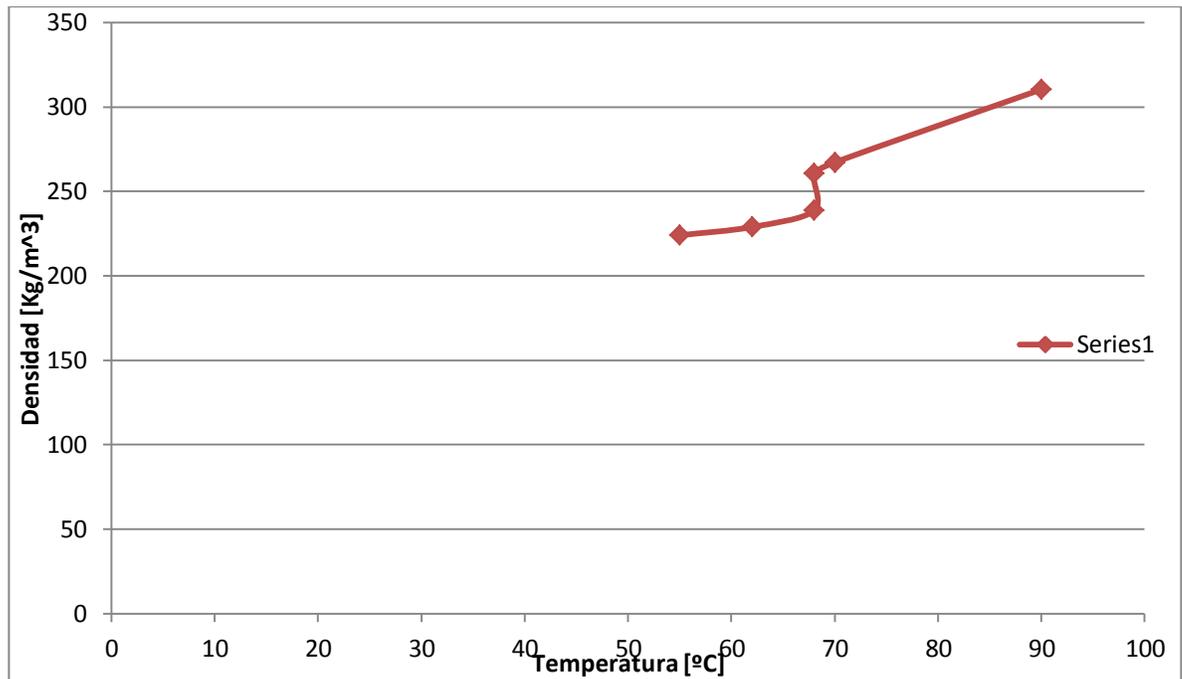
Figura 6.6 Fotografía panelas en fase final



Fuente: Autores

## 6.1. RESULTADO DE LAS PRUEBAS REALIZADAS EN TRAPICHE TRADICIONAL

Figura 6.1.1 Grafica de la temperatura vs la densidad.



Fuente: Autores

En la realización de esta grafica se tomaron los datos de la temperatura y la densidad (ver tabla 6.1). Se observa un cambio de la densidad con respecto al aumento de la temperatura en el proceso de evaporación del agua, alrededor de los 70°C hay un cambio brusco y según las fotografías, en el color y la contextura, un dato interesante a obtener es la viscosidad, pero debido a falta de instrumentos de medición fue imposible calcularlo. El tiempo transcurrido en todo el proceso es aproximadamente hora y media.

Nota: el valor del consumo específico no se pudo obtener debido a que para realizar esta medida, debe ser interrumpido o demorado el proceso de producción de la panela; por tanto se va a comparar el consumo específico del modelo propuesto con el dato teórico del consumo de energía para la evaporación del agua obtenido de la ORGANIZACION DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACION.

## 7. CARACTERIZACIÓN DEL MODELO PROPUESTO

Para el cálculo de la eficiencia del prototipo se va a comparar el consumo específico de energía para la evaporación del agua, con los datos teóricos de la ORGANIZACION DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACION (FAO) (ver tabla 7.1)

### 7.1. CONSUMO ENERGÉTICO EN LA EVAPORACIÓN DEL AGUA

Una secadora convencional, tipo torre, correctamente construida, utilizada y mantenida, tiene un consumo energético de poco más de 1 000 kcal por kg de agua evaporada. Esta cantidad se compone de la siguiente manera (aproximadamente):

Tabla 7.1.1: consumo específico de energía

- Calor necesario para la evaporación de 1 kg de agua	600 kcal
- Pérdida por el calor sensible que se va en el aire usado	300-320 kcal
- Perdidas de calor por conducción, radiación y convección hacia el exterior	30 kcal
- Pérdida por el calor transportado por el grano	80 kcal
Total	1 010-1 030 kcal

Fuente: Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la alimentación.

El valor de 600 kcal/kg de agua no puede ser disminuido de ninguna forma, pues es el calor mínimo que se requiere para evaporar el agua. Las otras pérdidas pueden ser rebajadas en cierta medida por medio de mejoramientos en las secadoras o utilizando algunos sistemas de secado más eficientes, como se demuestra en otros capítulos de esta obra [4].

## 7.2. CONSUMO ESPECIFICO DEL MODELO PLANTEADO

Se realizaron siete pruebas del consumo específico del modelo para tener un parámetro a comparar con el dato teórico; cabe aclarar que en el proceso de evaporación de agua la presión del gas natural era de aproximadamente 5.44 psi, *por lo cual la cantidad de gas que salía por las flautas era demasiada y no todo el gas se quemaba; esto quiere decir que la eficiencia que vamos a hallar a continuación es menor a la real puesto que no tenemos la cantidad de combustible que se pierde.*

Los datos que se necesitan para la comparación del consumo específico y el cálculo de la eficiencia; fueron tomados de la empresa que proporciona el gas a la universidad, de una cromatografía que ellos realizaron.

Tabla 7.2.1 consumo específico

Poder calorífico del gas (BTU/PC)	Consumo de gas (PC)	Tiempo de evaporación(min)	Cantidad evaporada(kg)
1084	7.0628	10	1

Fuente: Autores

El consumo de energía solo con el gas natural para la evaporación de 1 kilogramo de agua es de 7656.0752 BTU equivalentes a 1930.8621 kcal; ahora la bomba centrífuga utilizada para la recirculación del fluido consume 0.34 kW a 1400 rpm (velocidad promedio) equivalentes a 48.756 kcal, por tanto el consumo específico total de energía es de: **1979.6181 kcal/kg**

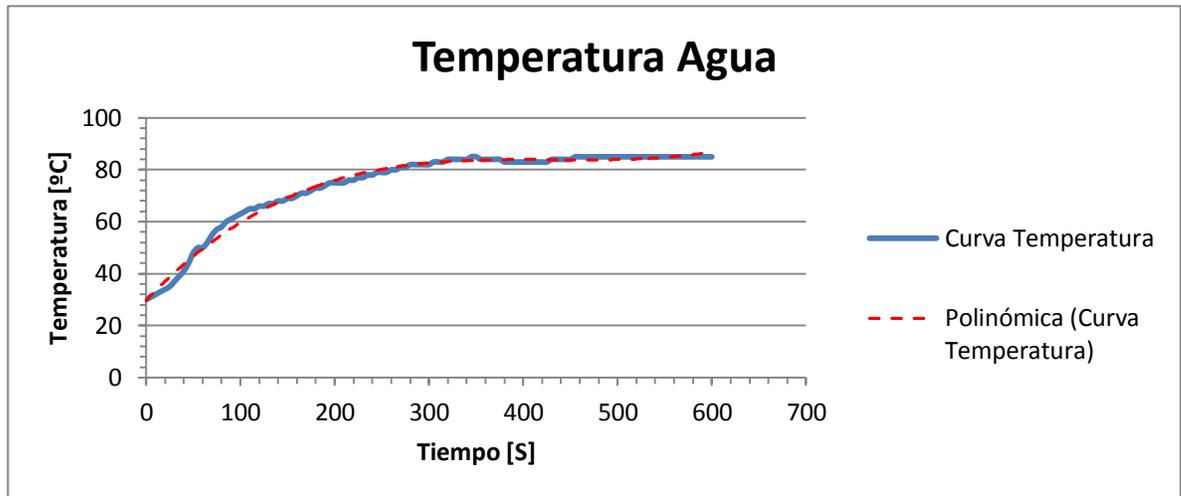
Sabiendo lo anterior *y asumiendo que todo el gas se quema*, la eficiencia aproximada del modelo es:

$$\frac{1000}{1979.6181} = 50.5\%$$

### 7.3. COMPORTAMIENTO DEL MODELO

Se realizaron pruebas para hallar una tasa de temperatura, las cuales se basaron en el tiempo que demoraba el modelo en llegar a su temperatura máxima con un volumen de agua fijo (ver grafica 7.3.1)

Figura 7.3.1 rata de temperatura



Fuente: Autores

En la gráfica anterior observamos el aumento de temperatura (eje y) en °C Contra el tiempo (eje x) en segundos; entre los dos primeros minutos y los tres minutos siguientes un cambio brusco y favorable de temperatura puesto que la finalidad es aumentar esta propiedad en el menor tiempo posible; luego de eso una oscilación pequeña entre 84 y 85 °c.

A continuación imágenes del comportamiento del modelo.

Figura 7.3.2 comportamiento del modelo



Fuente: Autores

Cuando el fluido sale de la punta del cono con mucha velocidad y choca con la platina de arriba se esparce hacia los bordes y no cae por la superficie del cono, esto desfavorece a la ganancia de calor debido a los gases de combustión.

#### 7.4. COMPORTAMIENTO DEL MODELO CON JUGO DE CAÑA

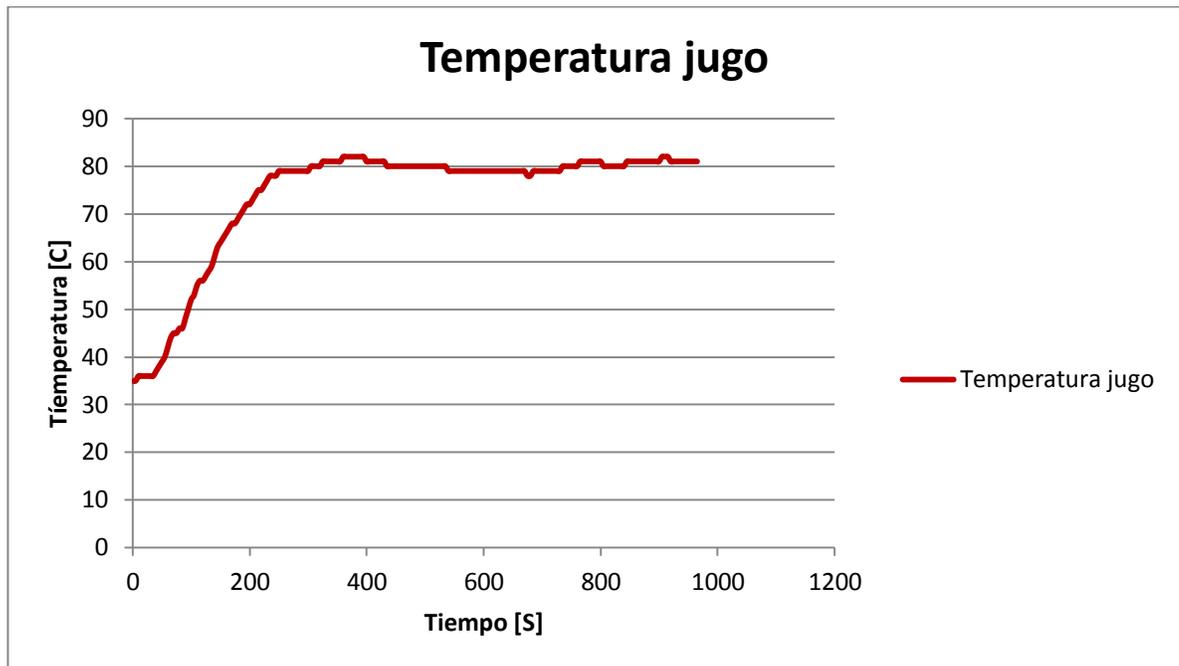
Para esta ocasión el fluido es jugo de caña, un poco más de 5 galones se van a tratar en el modelo y compararemos la densidad con respecto a la temperatura, de igual manera la rata de temperatura.

Características de la prueba:

Tipo de fluido	Temperatura inicial (°C)	peso de fluido (kg)	Consumo de gas (PC)	Tiempo (min)
Jugo de caña	35	23	30.2994	18

A continuación veremos una gráfica que describe el comportamiento de la temperatura en el fluido que se encuentra en el tanque a medida que pasa el jugo por el serpentín a alta temperatura en el transcurso del tiempo (Figura 7.4.1).

Figura 7.4.1 Gráfica del comportamiento de la temperatura del jugo en el modelo.



Fuente: Autores

De igual manera que en la gráfica anterior (7.3.1) se muestra la temperatura (eje vertical) en [°C] contra el tiempo (eje horizontal) en segundos; donde se observa un cambio brusco entre los dos y los cinco primeros minutos de la prueba; después de eso una oscilación pequeña entre los 80 y 81 °C.

## 8. OBSERVACIONES

- En el momento en que la temperatura supera los 70 °C se encierra vapor en el serpentín lo que obliga al líquido a salir por la parte superior, esto hace que el consumo de la bomba baje ya que el vapor ayuda a recircular el líquido y por consiguiente la eficiencia del modelo aumenta.
- Cuando la presión de salida es demasiado alta el líquido se estrella contra la platina superior y cae en dirección hacia el borde del tanque, lo que implica que el calor ganado por los gases de combustión en el interior del cono se pierde en cierta medida con el ambiente y no con el líquido que sería lo ideal.

## 9. CONCLUSIONES

- Los materiales utilizados en el prototipo cumplen con las especificaciones de la norma de la Resolución 683 para el manejo de alimentos.
- Las características propias del modelo determinadas anteriormente como tiempo, temperatura y eficiencia resultan satisfactorias en cuanto a los objetivos planteados inicialmente y un punto exitoso de partida para la investigación.
- El tiempo de transición en el aumento de temperatura hasta que el sistema de vuelve relativamente estable es de aproximadamente 7 minutos, bastante corto y favorable.
- Se justifica construir un modelo más grande a escala planta piloto, debido a que los resultados obtenidos en el modelo son buenos

## 10. RECOMENDACIONES

- Colocar un nivel en la parte exterior del tanque para facilitar la observación de la altura del líquido, ya que cuando el vapor está presente se dificulta la visión.
- Ubicar un filtro en la succión de la bomba, debido a la presencia de impurezas en el jugo de caña este se tapa y restringe el paso aumentando el consumo de energía.
- Ubicar un desagüe en la parte de la succión de la bomba para facilitar mantenimiento al tanque
- Cambiar la tubería de cobre por mangueras de acero inoxidable, esto facilita la ubicación de la bomba y mejora a apariencia del modelo
- Instalar un regulador de gas para controlar la presión y así evitar pérdidas del mismo.

## BIBLIOGRAFÍA

[1] OSORIO, GUILLERMO. Buenas prácticas agrícolas -bpa- y buenas prácticas de manufactura –bpm en la producción de caña y panela. Accedido el 26 de febrero de 2013. [En línea]. Disponible en.  
<<http://www.fao.org.co/manualpanela.pdf>>

[2] LONDOÑO SOTO, BEATRIZ. MINISTERIO DE SALUD Y PROTECCIÓN SOCIAL. Resolución 683. Bogotá, marzo 28 del 2012

[3] INVIMA Y FEDEPAMELA. ABC de la panela. Accedido el 22 de mayo de 2013. [En línea]. Disponible en:  
<[http://www.fedepanela.org.co/sitio/publicaciones/cartillas/abc\\_panela.pdf](http://www.fedepanela.org.co/sitio/publicaciones/cartillas/abc_panela.pdf)>

[4] DE DIOS, CARLOS ALBERTO. Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la alimentación. Oficina regional para América Latina y el caribe. Santiago de Chile, 5 de noviembre de 2011. [En línea]. Disponible en.  
<[http://www.cd3wd.com/data/1005/\\_ag\\_grain\\_dryers\\_es\\_unfao\\_lp\\_108250\\_.pdf](http://www.cd3wd.com/data/1005/_ag_grain_dryers_es_unfao_lp_108250_.pdf)>

**ANEXO A: FOTOGRAFÍAS DE PRUEBAS CON JUGO DE CAÑA**

