



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y  
MECÁNICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**TESIS PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
INGENIERO MECÁNICO**

**TEMA: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE  
CALDERA/COCINA POR COMBUSTIÓN DE BIOMASA PARA  
LA GENERACIÓN DE AGUA CALIENTE SANITARIA Y  
CALEFACCIÓN**

**AUTORES: ARMAS FIGUEROA, ROSA ESTEFANÍA  
ONOF A CUICHAN, ALFONSO EDUARDO**

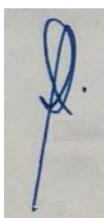
**DIRECTOR: PHD. REINALDO DELGADO  
CODIRECTOR: ING. ROBERTO GUTIERREZ**

**SANGOLQUÍ**

**2015**

## CERTIFICACIÓN DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO

El proyecto “**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE CALDERA/COCINA POR COMBUSTIÓN DE BIOMASA PARA LA GENERACIÓN DE AGUA CALIENTE SANITARIA Y CALEFACCIÓN**” fue realizado en su totalidad por Rosa Estefanía Armas Figueroa y Alfonso Eduardo Onofa Cuichan, como requerimiento parcial para la obtención del título de Ingeniero Mecánico.



---

PhD. Reinaldo Delgado  
DIRECTOR



---

Ing. Roberto Gutiérrez  
CODIRECTOR

Sangolquí, 2015-02-18

## AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, Rosa Estefanía Armas Figueroa  
y Alfonso Eduardo Onofa Cuichan

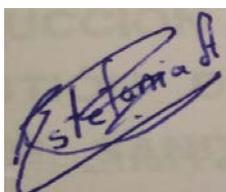
### DECLARAMOS QUE:

El proyecto de grado titulado **DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE CALDERA/COCINA POR COMBUSTIÓN DE BIOMASA PARA LA GENERACIÓN DE AGUA CALIENTE SANITARIA Y CALEFACCIÓN**, ha sido desarrollado en base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros, cuyas citas y fuentes se incorporan en la bibliografía.

Consecuentemente éste trabajo es de nuestra autoría.

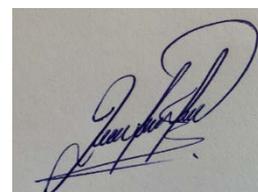
En virtud de esta declaración, nos responsabilizamos del contenido, veracidad y alcance científico del proyecto de grado en mención.

### ELABORADO POR:



---

Rosa Estefanía Armas Figueroa



---

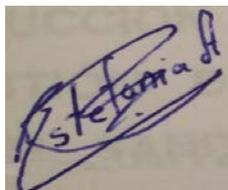
Alfonso Eduardo Onofa Cuichan

Sangolquí, 2015-02-18

## AUTORIZACIÓN

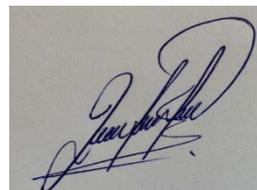
Nosotros, Rosa Estefanía Armas Figueroa  
y Alfonso Eduardo Onofa Cuichan

Autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE la publicación en la biblioteca virtual de la Institución del trabajo **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE CALDERA/COCINA POR COMBUSTIÓN DE BIOMASA PARA LA GENERACIÓN DE AGUA CALIENTE SANITARIA Y CALEFACCIÓN”**, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra exclusiva responsabilidad y autoría.



---

Rosa Estefanía Armas Figueroa



---

Alfonso Eduardo Onofa Cuichan

Sangolquí, 2015-02-18

## DEDICATORIA

La concepción de este proyecto está dedicada a Dios por sus infinitas bendiciones, a mis padres, mi principal inspiración para cumplir mis metas. Sin ellos, jamás hubiese podido conseguir lo que hasta ahora. Su tenacidad y lucha insaciable han hecho de ellos el gran ejemplo a seguir y destacar, no solo para mí, sino para mis hermanos y familia en general.

A mi hermana María José, quien a pesar de la distancia que nos separa siempre nos mantenemos unidas, especialmente a mi abuelito Alonso Armas aunque no esté entre nosotros su ejemplo y amor incondicional siempre se mantendrá en nuestra familia. También dedico este proyecto a Eduardo, compañero inseparable de cada jornada.

A nuestro director, PhD Reinaldo Delgado, por su calidad como profesional y persona, además por la paciencia y gran apoyo que nos brindó en cada momento a lo largo del desarrollo de este proyecto. Al Dr. Luis Velasco por la confianza depositada en nosotros. Al Ing. Roberto Gutiérrez por el apoyo brindado.

A todos ustedes este proyecto, que sin su apoyo no hubiese podido ser.

Estefanía

## DEDICATORIA

Esta tesis va dedicada a mi Dios, por darme salud y vida, por guiarme, cuidarme y no dejarme caer en los momentos difíciles de mi vida. Me siento infinitamente bendecido por Él, ya que sin su ayuda éste proyecto no se hubiese realizado.

También quiero dedicarle ésta tesis a mi papá Eduardo, el mejor amigo que puedo tener en mi vida, y a mi mamá Betty, mis padres que se esfuerzan día a día por darme lo mejor de la vida, por tal motivo ésta tesis va dedicada a ellos, porque el mérito es de ustedes, no mío.

Para mí es muy importante dedicarle de todo corazón éste proyecto a mi tía, Lcda. Nora Cuichan, que a más de ser mi tía es mi amiga, me escucha, me aconseja y siempre sin excepción alguna me ha brindado su apoyo incondicional. Para usted querida tía.

A mis queridos abuelos, Juana y Leopoldo, por haberme criado y guiado durante mi niñez y adolescencia, de igual manera a mis abuelos paternos, Alfonso y María, éste proyecto tan importante va dedicado a ustedes.

Para finalizar, quiero dedicarle ésta tesis de todo corazón a mi Director, PhD. Reinaldo Delgado, por sus cualidades íntegras como persona y profesional, así mismo al Director del Proyecto, PhD. Luis Velasco, éste proyecto es de ustedes y para ustedes. Para mí es un gran honor haber tenido la tutoría de dos personas con un amplio conocimiento y virtudes excepcionales de ser humano.

Eduardo

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a Dios por darme salud y vida para realizar este proyecto. A mi familia, especialmente a mis padres que son los pilares de mi vida, por su ejemplo, sacrificio, esfuerzo, respaldo día a día, siempre con infinito amor y dedicación.

A mi compañero de tesis, por su gran apoyo y aliento a lo largo de la realización de esta tesis, este es un logro que lo conseguimos juntos, recalcando también el apoyo y cariño de sus padres.

A nuestro director de tesis, PhD. Reinaldo Delgado por el apoyo incondicional, paciencia, confianza y sobre todo por impartirnos sus valiosos conocimientos a lo largo del desarrollo de este proyecto, es un gran honor haber contado con su dirección. Al Dr. Luis Velasco por la confianza, apoyo e impulso colocado sobre nosotros al permitirnos realizar este proyecto en el cual está a cargo. A nuestro codirector el Ing. Roberto Gutiérrez por el apoyo y consejos que nos brindó para la realización de este proyecto.

Muchísimas gracias de todo corazón a estas personas, ustedes son la base de este proyecto.

Estefanía

## **AGRADECIMIENTOS**

Le agradezco a Dios por haberme acompañado y guiado a lo largo de mi carrera, por ser mi fortaleza en los momentos de debilidad y por brindarme una vida llena de aprendizajes, experiencias y sobre todo felicidad.

Le doy gracias a mis padres Eduardo y Betty, por los valores inculcados, por darme la oportunidad de educarme en tan prestigiosa Universidad, y sobre todo por ser un ejemplo de vida a seguir. A mi compañera de tesis Estefanía, por el apoyo desinteresado en los buenos y malos momentos a lo largo de toda mi carrera, sobre todo por su paciencia e incondicionalidad.

De igual manera quiero agradecer a mi Director de Tesis, Ph.D Reinaldo Delgado, por su visión crítica de muchos aspectos cotidianos de la vida, por la rectitud en su profesión como docente, por los consejos y conocimientos compartidos en el desarrollo de este proyecto. Así mismo al Director del Proyecto, Dr. Luis Velasco, por la oportunidad y confianza depositada, por su rectitud, buena voluntad, y por transmitir sus conocimientos tan valiosos. De igual manera a mi Codirector Ing. Roberto Gutierrez quién ha compartido su experiencia y conocimientos guiándome en éste proyecto.

Para finalizar, me complace de sobre manera exteriorizar mi más sincero agradecimiento al Ing. Henry Yandún, por abrirme las puertas de la empresa que muy acertadamente dirige como Gerente General de Kubiec – Conduit, de igual manera le agradezco al Ing. Javier López Gerente de Operaciones, por la oportunidad que me dio al confiar en mí, por ser un líder positivo, por los consejos y palabras sinceras durante mi permanencia en la Empresa, así mismo le agradezco al Ing. Christian Villalba Gerente de Conduit del Ecuador S.A., por ser un ejemplo a seguir como ser humano y trabajador. Gracias a todos por permitirme crecer como persona y profesional. De todo corazón gracias Kubiec- Conduit.

Eduardo

## ÍNDICE DE CONTENIDO

<b>CERTIFICADO .....</b>	<b>II</b>
<b>LEGALIZACIÓN DEL PROYECTO .....</b>	<b>III</b>
<b>AUTORIZACIÓN .....</b>	<b>IV</b>
<b>DEDICATORIA .....</b>	<b>II</b>
<b>AGRADECIMIENTOS .....</b>	<b>VII</b>
<b>ÍNDICE GENERAL .....</b>	<b>IX</b>
<b>RESUMEN .....</b>	<b>XXXIV</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>XXXV</b>
<b>CAPÍTULO I</b>	
<b>GENERALIDADES .....</b>	<b>1</b>
1.1      Antecedentes .....	1
1.2      Definición del problema.....	3
1.3      Objetivos .....	4
1.3.1    Objetivo general .....	4
1.3.2    Objetivos específicos .....	4
1.4      Alcance del proyecto.....	5
1.5      Justificación .....	5
<b>CAPÍTULO II</b>	
<b>MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>7</b>
2.1      Generalidades sobre las calderas.....	7
2.1.2    Tipos de calderas.....	7
2.2.     Aplicaciones de las calderas .....	12
2.2.1    Agua caliente sanitaria.....	12

		X
2.2.2	Calefacción .....	16
2.2.3	Cocción .....	17
2.3	Biomasa .....	21
2.3.1	Definiciones y generalidades .....	21
2.3.2	Fuentes de biomasa.....	22
2.3.3	Métodos de transformación de biomasa en energía .....	23
2.3.3.1	Procesos físicos .....	25
2.3.3.2	Procesos termoquímicos.....	25
2.3.3.3	Procesos biológicos .....	27
2.3.3.4	Procesos químicos.....	27
2.3.4	Ventajas y desventajas de la biomasa - energía.....	27
2.4	La combustión.....	29
2.4.1	Definición .....	29
2.4.2	Reacciones químicas del proceso .....	30
2.4.3	Parámetros característicos de la biomasa .....	30
2.4.4	El poder calorífico de la biomasa .....	31
2.4.5	Tipos de combustión .....	32
2.4.5.1	Combustión completa .....	32
2.4.5.2	Combustión incompleta.....	32
2.4.5.3	Combustión estequiométrica o teórica .....	32
2.4.5.4	Combustión con exceso de aire.....	32
2.4.5.5	Combustión con defecto de aire o rica.....	33
2.5	Transferencia de calor por combustión .....	33
2.5.1	Radiación .....	34

2.5.2	Conducción .....	34
2.5.3	Convección .....	35
2.6	Transferencia de calor en superficies extendidas .....	36
2.7	Chimenea.....	36
2.7.1	Efecto chimenea .....	36
2.8	Salida de gases de combustión .....	37
2.9	Salida de cenizas .....	38

### **CAPÍTULO III**

<b>DISEÑO.....</b>		<b>39</b>
3.1	Diseño térmico .....	39
3.1.1	Parámetros de diseño .....	39
3.1.2	Balance de masa (agua) .....	41
3.1.3	Cantidad de biomasa para temperar agua.....	42
3.1.4	Flujo de calor requerido para temperar agua .....	42
3.1.5	Reacción estequiométrica de la combustión del aserrín .....	42
3.1.5.1	Reacción estequiométrica ideal .....	42
3.1.5.2	Relación aire combustible ideal .....	43
3.1.5.3	Reacción estequiométrica real (20% de exceso de aire) .....	43
3.1.5.4	Relación aire combustible real (20% de exceso de aire) .....	44
3.1.6	Entalpía de formación del aserrín .....	44
3.1.7	Temperatura de flama adiabática .....	45
3.1.8	Masa de productos de gases de combustión.....	46
3.2	Dimensionamiento .....	48
3.2.1	Cámara de combustión .....	48

3.2.2	Cámara de convección .....	49
3.2.3	Chimenea.....	50
3.2.4	Entrada de aire a la cámara de combustión.....	52
3.2.5	Cámara de agua .....	52
3.2.6	Cámara de secado.....	55
3.2.7	Aletas .....	56
3.2.8	Entradas y salidas de agua.....	58
3.2.9	Ingreso de biomasa y olla .....	58
3.2.10	Cenicero.....	58
3.3	Análisis de transferencia de calor .....	59
3.3.1	Determinación de áreas de transferencia de calor.....	59
3.3.1.1	Radiación .....	59
3.3.1.2	Conducción .....	60
3.3.1.3	Convección .....	61
3.3.1.4	Aletas .....	63
3.3.1.5	Cámara de secado.....	64
3.3.2	Transferencia de calor .....	64
3.3.2.1	Radiación .....	65
3.3.2.2	Convección .....	68
3.3.2.3	Conducción .....	70
3.3.2.4	Aletas .....	72
3.3.2.5	Cámara de secado.....	74
3.4	Determinación de la cantidad de calor emitido .....	75
3.5	Determinación de pérdidas .....	75

3.6	Eficiencia de la caldera .....	79
-----	--------------------------------	----

#### **CAPÍTULO IV**

<b>CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE.....</b>	<b>80</b>
------------------------------------	-----------

4.1	Materiales e Insumos .....	80
-----	----------------------------	----

4.2	Máquinas, herramientas, instrumentos y equipo de seguridad ...	81
-----	--	----

4.4	Diagrama de flujo .....	84
-----	-------------------------	----

4.5	Planos de construcción .....	87
-----	------------------------------	----

#### **CAPÍTULO V**

<b>MANUAL DE USUARIO Y PRUEBAS DE OPERACIÓN .....</b>	<b>88</b>
---	-----------

5.1	Manual de usuario .....	88
-----	-------------------------	----

5.2	Pruebas de funcionamiento del equipo y toma de datos.....	89
-----	---	----

5.4	Análisis de resultados .....	103
-----	------------------------------	-----

#### **CAPÍTULO VI**

<b>ANÁLISIS ECONÓMICO Y FINANCIERO .....</b>	<b>105</b>
--	------------

6.1	Análisis económico .....	105
-----	--------------------------	-----

6.1.1	Costo directo .....	105
-------	---------------------	-----

6.1.2	Costo indirecto .....	106
-------	-----------------------	-----

6.1.3	Costo total del proyecto .....	107
-------	--------------------------------	-----

6.2	Análisis financiero .....	107
-----	---------------------------	-----

#### **CAPITULO VII**

<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>110</b>
--	------------

7.1	Conclusiones .....	110
-----	--------------------	-----

7.2	Recomendaciones .....	112
-----	-----------------------	-----

**ÍNDICE DE FIGURAS**

<b>FIGURA 1</b>	Caldera de lecho fijo.....	8
<b>FIGURA 2</b>	Caldera de lecho fluidizado .....	8
<b>FIGURA 3</b>	Procesos físico-químicos en la combustión .....	9
<b>FIGURA 4</b>	Caldera de quemador de suspensión.....	10
<b>FIGURA 5</b>	Intercambiadores de contacto directo gas - solido .....	13
<b>FIGURA 6</b>	Intercambiadores de contacto directo fluido - fluido .....	13
<b>FIGURA 7</b>	Intercambiadores de contacto directo aire – agua.....	14
<b>FIGURA 8</b>	Disposición a contracorriente .....	14
<b>FIGURA 9</b>	Disposición paralelo .....	15
<b>FIGURA 10</b>	Intercambiador de calor tubo.....	15
<b>FIGURA 11</b>	Intercambiador de calor de placas .....	15
<b>FIGURA 12</b>	Partes de la estufa Lorena .....	17
<b>FIGURA 13</b>	Esquema básico de una estufa Rocket.....	18
<b>FIGURA 14</b>	Esquema básico de una estufa justa.....	19
<b>FIGURA 15</b>	Esquema básico de estufa de pellets.....	19
<b>FIGURA 16</b>	Métodos de transformación de biomasa en energía .....	24
<b>FIGURA 17</b>	Procesos de conversión energética de la biomasa .....	24
<b>FIGURA 18</b>	Productos de gasificación .....	26
<b>FIGURA 19</b>	Productos de pirolisis .....	26
<b>FIGURA 20</b>	Transferencia de calor por combustión .....	33
<b>FIGURA 21</b>	Distribución de temperatura .....	57
<b>FIGURA 22</b>	Transferencia de calor por radiación .....	65
<b>FIGURA 23</b>	Transferencia de calor por radiación en los tubos.....	67

<b>FIGURA 24</b>	Transferencia de calor por convección.....	68
<b>FIGURA 25</b>	Transferencia de calor por conducción .....	71
<b>FIGURA 26</b>	Transferencia de calor en aletas .....	72
<b>FIGURA 27</b>	Eficiencia de aletas anulares de perfil rectangular .....	73
<b>FIGURA 28</b>	Transferencia de calor por conducción .....	76
<b>FIGURA 29</b>	Pérdida de calor por conducción.....	76
<b>FIGURA 30</b>	Flama adiabática .....	89
<b>FIGURA 31</b>	Gases de combustión.....	90
<b>FIGURA 32</b>	Flama adiabática .....	91
<b>FIGURA 33</b>	Gases de combustión.....	92
<b>FIGURA 34</b>	Temperatura en las paredes exteriores de la caldera .....	93
<b>FIGURA 35</b>	Flama adiabática de madera seca y húmeda.....	94
<b>FIGURA 36</b>	Temperatura de agua vs Tiempo .....	96
<b>FIGURA 37</b>	Temperatura cámara de secado vs Tiempo.....	98
<b>FIGURA 38</b>	Cantidad de biomasa requerida para calentar agua.....	99
<b>FIGURA 39</b>	Tiempo empleado en temperar el agua.....	99
<b>FIGURA 40</b>	Eficiencia térmica WBT .....	101
<b>FIGURA 41</b>	Tiempo de ebullición WBT .....	101
<b>FIGURA 42</b>	Tasa de incineración WBT .....	102
<b>FIGURA 43</b>	Consumo de combustible WBT .....	102
<b>FIGURA 44</b>	Consumo específico de combustible.....	103
<b>FIGURA 45</b>	Costo de operación de la caldera y equipos tradicionales ..	108
<b>FIGURA 46</b>	Costo de fabricación de la caldera y equipos utilizados .....	109

**ÍNDICE DE TABLAS**

<b>TABLA 1</b>	Contenido energético de biomasa residual seca .....	32
<b>TABLA 2</b>	Emisiones contaminantes ligadas a Francia 2002 .....	37
<b>TABLA 3</b>	Entalpía de formación del aserrín .....	44
<b>TABLA 4</b>	Masa de los gases de combustión.....	47
<b>TABLA 5</b>	Distribución de temperatura en la aleta .....	57
<b>TABLA 6</b>	Lista de materiales e insumos .....	80
<b>TABLA 7</b>	Temperatura de flama adiabática .....	89
<b>TABLA 8</b>	Temperatura de gases de combustión.....	90
<b>TABLA 9</b>	Temperatura de flama adiabática .....	91
<b>TABLA 10</b>	Temperatura de gases de combustión.....	92
<b>TABLA 11</b>	Temperatura en las paredes exteriores de la caldera.....	93
<b>TABLA 12</b>	Temperatura de flama adiabática .....	94
<b>TABLA 13</b>	Temperatura de agua vs Tiempo .....	95
<b>TABLA 14</b>	Temperatura de cámara secado vs Tiempo .....	97
<b>TABLA 15</b>	Cantidad de combustible en función del poder calorífico.....	99
<b>TABLA 16</b>	Test de ebullición de agua (WBT).....	101
<b>TABLA 17</b>	Test de Cocción Controlada (CCT).....	102
<b>TABLA 18</b>	Costo de funcionamiento de la caldera/cocina .....	108
<b>TABLA 19</b>	Costo de funcionamiento de equipos tradicionales.....	108
<b>TABLA 20</b>	Costo de fabricación de la caldera y equipos utilizados.....	109

**ÍNDICE DE CUADROS**

<b>CUADRO 1</b>	Máquinas utilizadas.....	81
<b>CUADRO 2</b>	Herramientas utilizadas.....	81
<b>CUADRO 3</b>	Instrumentos utilizados.....	82
<b>CUADRO 4</b>	Equipo de protección personal utilizado.....	82
<b>CUADRO 5</b>	Diagrama de flujo de montaje mecánico de la caldera.....	84
<b>CUADRO 6</b>	Materia prima directa.....	105
<b>CUADRO 7</b>	Mano de obra directa .....	105
<b>CUADRO 8</b>	Materia prima indirecta.....	106
<b>CUADRO 9</b>	Mano de obra indirecta.....	107
<b>CUADRO 10</b>	Costo total del proyecto.....	107

**ÍNDICE DE ECUACIONES**

Ec. 1	Balance de energía.....	41
Ec. 2	Cantidad de masa requerida.....	42
Ec. 3	Flujo de calor requerido .....	42
Ec. 4	Relación aire combustible ideal .....	43
Ec. 5	Relación aire combustible real .....	44
Ec. 6	Entalpía de reacción de combustión .....	44
Ec. 7	Poder calorífico inferior .....	45
Ec. 8	Entalpía de reacción del aserrín .....	45
Ec. 9	Temperatura de flama adiabática.....	45
Ec. 10	Masa total de gases de combustión.....	48
Ec. 11	Volumen de aire.....	48
Ec. 12	Caudal de aire.....	48
Ec. 13	Volumen de aserrín.....	49
Ec. 14	Volumen total cámara de combusti.....	49
Ec. 15	Altura de cámara de combustión .....	49
Ec. 16	Volumen de gases de combustión .....	50
Ec. 17	Caudal de gases de combustión.....	50
Ec. 18	Altura de cámara de convección.....	50
Ec. 19	Área de sección transversal de chimenea .....	50
Ec. 20	Diámetro de chimenea.....	51
Ec. 21	Ecuación de Bernoulli.....	51
Ec. 22	Área de sección transversal de ingreso de aire .....	52
Ec. 23	Longitud lateral de ingreso de aire.....	52

Ec. 24	Volumen de cámara de combustión y convección .....	53
Ec. 25	Volumen de la entrada de biomasa .....	53
Ec. 26	Volumen de la entrada de olla .....	53
Ec. 27	Área de sección transversal de chimenea .....	54
Ec. 28	Volumen de la chimenea sumergida en agua .....	54
Ec. 29	Volumen de la entrada de aire .....	54
Ec. 30	Volumen interno total de cámara de agua .....	54
Ec. 31	Volumen interno de tubos .....	54
Ec. 32	Volumen interno de conducto rectangular.....	55
Ec. 33	Volumen total de la cámara de agua.....	55
Ec. 34	Altura de la cámara de agua.....	55
Ec. 35	Volumen de la cámara de secado.....	56
Ec. 36	Temperatura de aleta.....	56
Ec. 37	Área de radiación en paredes de cámara de combustión.....	59
Ec. 38	Área de radiación en puerta de entrada de biomasa .....	59
Ec. 39	Área total de radiación en las paredes de cámara de combustión.....	60
Ec. 40	Área de radiación en tubos superiores.....	60
Ec. 41	Área de radiación total en tubos superiores.....	60
Ec. 42	Área de conducción en tubos inferiores .....	60
Ec. 43	Área de convección en paredes de cámara de cocción.....	61
Ec. 44	Área de convección en pared superior de cámara de cocción....	61
Ec. 45	Área de orificio de chimenea.....	61
Ec. 46	Área de convección total en cámara de cocción.....	62

Ec. 47	Área de convección en puerta de entrada de olla.....	62
Ec. 48	Área de convección en chimenea .....	62
Ec. 49	Área total de convección en cámara de cocción.....	62
Ec. 50	Área de convección de paredes externas en contacto con agua	62
Ec. 51	Área de convección total.....	63
Ec. 52	Área de sección transversal de aleta .....	63
Ec. 53	Área superficial de aleta.....	63
Ec. 54	Área superficial total de aleta.....	64
Ec. 55	Área de sección transversal de entrada de aire cámara secado	64
Ec. 56	Transferencia de calor por radiación.....	64
Ec. 57	Transferencia de calor por convección .....	64
Ec. 58	Transferencia de calor por conducción .....	64
Ec. 59	Área de radiación total .....	65
Ec. 60	Área de radiación total en paredes.....	65
Ec. 61	Área de radiación en tubos superiores.....	65
Ec. 62	Área de radiación en entrada de biomasa.....	65
Ec. 63	Temperatura exterior de pared en cámara de combustión .....	66
Ec. 64	Temperatura de agua en cámara de combustión .....	66
Ec. 65	Temperatura interior de pared de cámara de agua.....	66
Ec. 66	Temperatura exterior de pared de cámara de agua.....	67
Ec. 67	Temperatura exterior de tubos superiores .....	68
Ec. 68	Temperatura de agua en tubos superiores .....	68
Ec. 69	Temperatura interior de pared de cámara de convección .....	69
Ec. 70	Temperatura exterior de pared de cámara de convección.....	69

Ec. 71	Temperatura de agua en cámara de convección.....	69
Ec. 72	Temperatura interior de pared de cámara de agua.....	70
Ec. 73	Temperatura exterior de pared de cámara de agua.....	70
Ec. 74	Temperatura de pared interior de tubos inferiores... ..	71
Ec. 75	Temperatura de agua de tubos inferiores.....	72
Ec. 76	Transferencia de calor con aletas.. ..	73
Ec. 77	Transferencia de calor sin aletas .....	73
Ec. 78	Diferencial de transferencia de calor.....	74
Ec. 79	Caudal de entrada de aire.....	74
Ec. 80	Volumen de cámara de secado .....	74
Ec. 81	Masa de cámara de secado.....	74
Ec. 82	Calor para secar biomasa.....	75
Ec. 83	Radiación emitida por la puerta de ingreso de biomasa .....	75
Ec. 84	Calor emitido por la puerta de ingreso de olla.....	75
Ec. 85	Calor emitido por las paredes exteriores de cámara de agua.....	75
Ec. 86	Calor total emitido por la caldera.....	75
Ec. 87	Pérdida de calor en entrada de biomasa .....	76
Ec. 88	Pérdida de calor en entrada de olla .....	76
Ec. 89	Pérdida de calor por el piso.....	77
Ec. 90	Calor total perdido.....	77
Ec. 91	Flujo de calor total requerido recalculado .....	77
Ec. 92	Calor total requerido.....	77
Ec. 93	Masa real requerida recalculada .....	77
Ec. 94	Volumen externo de cámara de mezclado.....	78

Ec. 95	Volumen interno de cámara de mezclado.....	78
Ec. 96	Volumen de agua caliente cámara de mezclado .....	78
Ec. 97	Balance de flujo másico .....	78
Ec. 98	Balance de flujo de energía.....	78
Ec. 99	Relación agua caliente y fría.....	79
Ec. 100	Volumen de agua fría cámara de mezclado.....	79
Ec. 101	Eficiencia de caldera .....	79

### NOMENCLATURA UTILIZADA

Variable	Descripción
$T_1$	Temperatura inicial del agua
$h_1$	Entalpía del agua a 10°C
$T_2$	Temperatura final del agua (requerida)
$h_1$	Entalpía del agua a 40°C
$PCI_{aserrín}$	Poder calorífico
$V_{agua}$	Volumen de agua
$m_{agua}$	Masa de agua
$E_{ent}$	Energía de entrada
$E_{sal}$	Energía de salida
$Q$	Calor
$m_{agua}$	Masa de agua
$m_{aserrín}$	Masa de aserrín
$t$	Tiempo
$\dot{Q}_{agua}$	Flujo de calor requerido para temperar agua
$PM_{aserrín}$	Peso molecular del aserrín
$PM_{aire}$	Peso molecular del aserrín
$KG_{aserrín}$	Peso molecular del aserrín en kg/mol
$KG_{aire}$	Peso molecular del aire en kg/mol
$AC_{ideal}$	Relación aire combustible ideal
$KG_{aire\_real}$	Peso molecular del aire real en kg/mol
$AC_{real}$	Relación aire combustible real
$H_R$	Entalpia de reacción

$N_P$	Número de productos
$hf_P$	Entalpia de formación de productos
$N_R$	Numero de reactivos
$H_f$	Entalpia de formación
$h$	Entalpia
$h_{283}$	Entalpia a 283 K
$hf_{C_6H_{10}O_5}$	Entalpia de formación del aserrín
$(hf_R)_{C_6H_{10}O_5}$	Entalpia de formación de reactivos de combustión aserrín
$h_{CO_2}$	Entalpia del dióxido de carbono
$TCO_2$	Temperatura de flama adiabática del dióxido de carbono
$h_{H_2O}$	Entalpia del agua
$TH_2O$	Temperatura de la flama adiabática del agua
$h_{CO}$	Entalpia del monóxido de carbono
$TCO$	Temperatura flama adiabática de monóxido de carbono
$h_{O_2}$	Entalpia del oxígeno libre
$TO_2$	Temperatura de la flama adiabática del oxígeno libre
$h_{N_2}$	Entalpia del nitrógeno libre
$TN_2$	Temperatura de la flama adiabática del nitrógeno libre
$PM_{CO_2}$	Peso molecular dióxido de carbono
$PM_{H_2O}$	Peso molecular agua
$PM_{CO}$	Peso molecular monóxido de carbono
$PM_{O_2}$	Peso molecular oxigeno libre
$PM_{N_2}$	Peso molecular nitrógeno libre
$PM_{C_6H_{10}O_5}$	Peso molecular del aserrín

$m_{gcps}$	Masa de gases de combustión por segundo
$m_{gases}$	Masa de gases de combustión
$m_{aire}$	Masa de aire
$V_{aire}$	Volumen de aire
$C_{aire}$	Caudal de aire
$V_{aserrín}$	Volumen del aserrín
$V_{TOTAL}$	Volumen total
$L_1$	Lado 1 de la cámara de combustión
$L_2$	Lado 2 de la cámara de combustión
$H$	Altura de cámara de combustión
$\rho_{gases}$	Densidad de gases de combustión
$V_{gases}$	Volumen de gases de combustión
$C_{gases}$	Caudal de gases de combustión
$L_{c1}$	Lado 1 de la cámara de convección
$L_{c2}$	Lado 2 de la cámara de convección
$H_c$	Altura de la cámara de convección
$v_{gases}$	Velocidad de gases de combustión
$A_{gases}$	Área de sección transversal de chimenea
$\emptyset_{chimenea}$	Diámetro de la chimenea
$\rho_1$	Densidad 1 de aire de entrada
$g$	Gravedad
$h_1$	Altura 1 de aire de entrada
$\rho_2$	Densidad 2 de aire de salida

$h_2$	Altura 2 de aire de salida
$Z_A$	Altura de entrada
$v_B$	Velocidad de salida
$A_{aire}$	Área de entrada de aire
$L_a$	Lado de entrada de aire
$L_c$	Lado de la cámara de combustión y convección
$A_c$	Ancho de la cámara de combustión y convección
$H_c$	Altura de la cámara de combustión y convección
$V_{cc}$	Volumen de la cámara de combustión y convección
$L_{eb}$	Lado de entrada de biomasa
$A_{eb}$	Ancho de entrada de biomasa
$H_{eb}$	Altura de entrada de biomasa
$V_{eb}$	Volumen de entrada de biomasa
$L_{eo}$	Lado de la entrada de olla
$A_{eo}$	Ancho de la entrada de olla
$H_{eo}$	Altura de la entrada de olla
$V_{eo}$	Volumen de la entrada de olla
$H_{ch}$	Altura de chimenea sumergida en agua
$\emptyset_{ch}$	Diámetro de chimenea sumergida en agua
$A_b$	Área de la base de chimenea sumergida en agua
$V_{ech}$	Volumen de chimenea sumergida en agua
$L_{ea1}$	Lado de entrada de aire 1
$A_{ea1}$	Ancho de entrada de aire 1
$H_{ea1}$	Altura de entrada de aire 1

$V_{\text{interno}}$	Volumen interno total
$\emptyset_t$	Diámetro interno de tubos acuotubulares
$L_{ta}$	Longitud de tubos acuotubulares
$V_{\text{tagua}}$	Volumen interno de tubos acuotubulares
$L_{cr}$	Longitud de conducto rectangular
$A_{cr}$	Ancho de conducto rectangular
$H_{cr}$	Altura de conducto rectangular
$V_{cr}$	Volumen interno de conducto rectangular
$V_{\text{cagua}}$	Volumen interno total de la cámara de agua
$L_{ca}$	Largo de la cámara de agua
$A_{ca}$	Ancho de la cámara de agua
$H$	Altura de la cámara de agua
$L_{cs}$	Largo de la cámara de secado
$A_{cs}$	Ancho de la cámara de secado
$H_{\text{csr}}$	Altura de la cámara de secado
$V_{cs}$	Volumen de la cámara de secado
$\theta$	Diferencial de temperatura
$\theta_b$	Diferencial de temperatura en ala aleta
$e$	Numero de Euler
$-m$	Longitud de aleta
$X$	Constante
$T$	Temperatura de aleta
$T_{\infty}$	Temperatura de los alrededores
$L_{r1}$	Altura de cámara de combustión

$L_{r2}$	Ancho de cámara de combustión
$A_{rp}$	Área total de cámara de combustión
$L_{e1}$	Ancho de la puerta de entrada de biomasa
$L_{e2}$	Alto de la puerta de entrada de biomasa
$A_{reb}$	Área de la puerta de entrada de biomasa
$A_{rtp}$	Área total de radiación en la cámara de combustión
$L_t$	Longitud de tubo acuotubular
$\emptyset_{rt}$	Diámetro exterior de tubo acuotubular
$A_{rt}$	Área total de radiación en tubos superiores
$A_{RT}$	Área de radiación total
$A_{ct}$	Área de conducción en los tubos inferiores
$L_{cv1}$	Ancho de cámara de convección
$L_{cv2}$	Alto de cámara de convección
$A_{cv}$	Área de la cámara de convección
$L_{cvt1}$	Ancho de cámara de convección (tapa superior)
$L_{cvt2}$	Alto de cámara de convección (tapa superior)
$A_{cvt}$	Área de la cámara de convección (tapa superior)
$\emptyset_h$	Diámetro del orificio de chimenea
$A_h$	Área del orificio de chimenea
$A_{cvT}$	Área total de la cámara de convección
$L_{eo1}$	Ancho de la puerta de entrada de olla
$L_{eo2}$	Alto de la puerta de entrada de olla
$A_{ceo}$	Área de la puerta de entrada de olla
$\emptyset_{ch1}$	Diámetro interno de chimenea

$L_{ch}$	Longitud de chimenea sumergida en el agua
$A_{ch}$	Área de chimenea sumergida en el agua
$A_{tcv}$	Área total de convección en la cámara de cocción
$L_{ca1}$	Ancho de la cámara de agua
$L_{ca2}$	Alto de la cámara de agua
$A_{cvt}$	Área convección paredes externas contacto con agua
$A_{cta}$	Área convección total paredes externas contacto agua
$r_{1st}$	Radio 1 de sección transversal de aleta
$r_{2st}$	Radio 2 de sección transversal de aleta
$l_{1.2}$	Lado de sección transversal
$t_a$	Espesor de aleta
$w$	Largo de aleta
$H_{ch}$	Altura de chimenea
$N$	Numero de aletas
$r_{2c}$	Radio 2 corregido
$A_c$	Área de sección transversal de aleta
$A_f$	Área superficial
$A_{st}$	Área superficial total
$\emptyset_{eacs}$	Diámetro de entrada de aire cámara de secado
$n_{oeacs}$	Numero de orificios entrada de aire cámara de secado
$l_{reacs}$	Longitud de ranura entrada de aire de cámara de secado
$a_{reacs}$	Área de ranura de entrada de aire de cámara de secado
$A_{steacs}$	Área sección transversal ranura entrada aire c. secado
$q_{radiación}$	Transferencia de calor por radiación

$q_{\text{convección}}$	Transferencia de calor por convección
$q_{\text{conducción}}$	Transferencia de calor por conducción
$A_{\text{rtp}}$	Área de radiación en las paredes
$A_{\text{reb}}$	Área de radiación entrada biomasa
$A_{\text{rt}}$	Área de radiación en tubos
$A_{\text{RT}}$	Área de radiación total
$T_{s,1}$	Temperatura superficial pared externa contacto con aire
$L$	Espesor de la pared
$k$	Coefficiente de conductividad térmica del acero
$q_{\text{rp}}$	Transferencia de calor por radiación en paredes
$T_{s,2}$	Temperatura superficial pared interna
$h_{\text{agua}}$	Coefficiente de convección del agua
$T_{\infty,1}$	Temperatura de agua en la cámara
$T_{s,3}$	Temperatura superficial pared interna contacto con agua
$T_{s,4}$	Temperatura superficial pared externa contacto fuego
$r_{\text{ext}}$	Radio exterior de tubos de agua
$r_{\text{int}}$	Radio interior de tubos de agua
$l$	Largo de tubos de agua
$T_{r1}$	Temperatura exterior superficial tubos contacto llama
$q_{\text{rt}}$	Transferencia de calor por radiación en los tubos
$T_{r2}$	Temperatura interior superficial tubos contacto agua
$T_{\infty}$	Temperatura agua en tubos
$T_{\infty,c1}$	Temperatura de gases de combustión
$h_{\infty,c1}$	Coefficiente de convección de gases de combustión

$q_{\text{convección}}$	Transferencia de calor por convección.
$T_{c,1}$	Temperatura exterior superficial contacto gases
$T_{c,2}$	Temperatura interior superficial en contacto el agua
$T_{\infty,c2}$	Temperatura de agua en cámara de cocción
$T_{c,3}$	Temperatura interior cámara superficial contacto agua
$T_{c,2}$	Temperatura exterior cámara superficial contacto aire
$T_{R1}$	Temperatura exterior tubos inferiores contacto fuego
$T_{R2}$	Temperatura interior tubos inferiores contacto agua
$T_{\infty}$	Temperatura de agua en tubos interiores
$h_a$	Coefficiente de convección en la cámara de secado
$k_a$	Coefficiente de conductividad térmica aleta
$l_c$	Largo corregida de aleta
$A_p$	Área transversal de aleta
$N_f$	Eficiencia de aleta
$q_t$	Transferencia de calor con aletas
$q_{wo}$	Transferencia de calor sin aletas
$\Delta q$	Diferencia de calor
$v_{ea}$	Velocidad de entrada de aire
$\rho_{aecs}$	Densidad de aire entrada cámara secado
$t_{cs}$	Tiempo de secado
$T_{eacs}$	Temperatura aire entrada cámara secado
$h_{eacs}$	Entalpía del aire entrada cámara secado
$T_{sacs}$	Temperatura aire salida cámara secado
$h_{sacs}$	Entalpía del aire salida cámara secado

$Q_{ea}$	Caudal de aire en la entrada cámara secado
$V_{acs}$	Volumen de aire en la cámara de secado
$m_{acs}$	Masa de aire en la cámara de secado
$Q_{secado}$	Calor generado
$h_r$	Coefficiente de convección en la vivienda
$T_{sup1}$	Temperatura superficial de puerta entrada biomasa
$T_{alr}$	Temperatura de los alrededores de una vivienda
$q_{rad1h}$	Transferencia calor radiación puerta entrada biomasa
$T_{sup2}$	Temperatura superficial de puerta ingreso de olla
$q_{rad2h}$	Transferencia calor radiación puerta ingreso de olla
$T_{sup3}$	Temperatura superficial paredes de caldera
$q_{rad3h}$	Transferencia calor por radiación en paredes exteriores
$q_{real\ total}$	Transferencia de calor por radiación total de la caldera
$q_{ebiomasa}$	Pérdida en la entrada de biomasa
$q_{eolla}$	Pérdida en la entrada de olla
$q_{piso}$	Pérdida en el piso
$q_{pedidas}$	Calor perdido
$Q_{TOTAL}$	Calor total requerido
$Q_{real}$	Calor real
$m_{real\ aserrin}$	Masa real
$V_{camara\_ext}$	Volumen exterior cámara mezclado
$V_{camara\_int}$	Volumen interior cámara mezclado
$V_{agua\_caliente}$	Volumen de agua caliente en la cámara de mezclado

$V_{\text{agua\_fría}}$	Volumen de agua fría en la cámara de mezclado
$\dot{m}_{\text{entrada}}$	Flujo másico de entrada
$\dot{m}_{\text{salida}}$	Flujo másico de salida
$\dot{m}_1$	Flujo másico de agua caliente
$\dot{m}_2$	Flujo másico de agua fría
$\dot{m}_3$	Flujo másico de agua caliente sanitaria (40 °C)
$\dot{E}_{\text{ent}}$	Flujo de energía
$\dot{E}_{\text{sal}}$	Flujo de salida
$y$	Relación agua caliente y fría
$h_{f1}$	Entalpía del agua (80 °C)
$h_{f2}$	Entalpía del agua (10 °C)
$h_{f3}$	Entalpía del agua (40 °C)
$E_{\text{entrada}}$	Energía de entrada
$E_{\text{perdidas}}$	Energía perdida
$P_{\text{entrada}}$	Porcentaje de energía ingresada
$P_{\text{perdidas}}$	Porcentaje de energía perdida
$n$	Eficiencia

## RESUMEN

El presente proyecto de tesis esta guiado para zonas de páramo, a una altura aproximada, entre los 2800 y 3600 m.s.n.m., y temperaturas que oscilan entre los 0 y 10°C, donde recursos como: energía eléctrica, agua, GLP, etc., son escasos o nulos, mucho más para personas que generalmente cuentan con bajos recursos económicos y requieren adquirir equipos que satisfagan sus necesidades diarias como la cocción de alimentos, calefacción, obtención de agua caliente sanitaria, etc. Además tomando en cuenta que al vivir en zonas muy altas, están rodeados de biocombustibles como la madera, residuos forestales, pajonal, etc., no siempre se utilizara el mismo biocombustible, ya que este puede cambiar dependiendo de la facilidad que tengan los usuarios en obtenerlos. Analizando todos estos aspectos se diseñó una caldera/cocina que realiza múltiples funciones con el mínimo de energía, evitando desperdicios. Primero se tendrá una cámara de combustión pequeña, con una capacidad máxima de 10 lb, que caliente agua para una familia promedio. Los gases de combustión ayudaran a la cocción de alimentos, formándose un tipo de horno, aprovechando toda la energía. Después estos mismos gases pasaran por una tercera cámara, la de secado, a través de la chimenea se forma una especie de resistencia, ya que esta es aleteada exteriormente aumentando la temperatura y mejorando la transferencia de calor para secar aproximadamente 24 lb de biomasa. Por ultimo no posee ningún tipo de aislamiento, ya que la energía que irradia convierte todo el equipo en una resistencia que brinda calefacción al hogar.

## PALABRAS CLAVE

- **BIOCOMBUSTIBLES**
- **ENERGÍA**
- **TRANSFERENCIA DE CALOR**
- **CALDERA/COCINA**

## **ABSTRACT**

This thesis project is guided to areas of wasteland at a height approximately, between 2800 and 3600 meters, and temperatures ranging between 0 and 10 ° C, where resources such as electricity, water, LPG, etc., are few, if any, more for people who generally have low economic resources and require purchase equipment that meet their daily needs such as cooking, heating, obtaining hot water, etc. Also considering that living at high altitudes, they are surrounded by biofuels such as wood, forest residues, straw, etc., not always the same biofuel is used, as this can change depending on the facility having users get them. Analyzing all these aspects was designed boiler / stove that performs multiple functions with minimum energy, avoiding waste. First we will have a small combustion chamber, with a maximum capacity of 10 lb which hot water for the average family. The combustion gases help cooking food, forming a type of furnace, drawing all power. After these same gases go through a third chamber, the drying, through the chimney a sort of resistance is formed, as this is finned externally increasing the temperature and improving the heat transfer to dry approximately 24 lb biomass. Finally it doesn't have any type of insulation, since the energy radiating whole team becomes a resistance that provides home heating.

### **KEYWORDS:**

- **BIOFUELS**
- **ENERGY**
- **TRANSFER HEAT**
- **BOILER/KITCHEN**

## **CAPÍTULO I**

### **GENERALIDADES**

#### **1.1 Antecedentes**

A lo largo de la historia, la biomasa se convirtió en el primer combustible utilizado por el hombre primitivo para cocinar y generar calefacción en su hogar de la forma más empírica, en un inicio con el pasar de los años las aplicaciones y tratamiento de dicho biocombustible se fueron ampliando especialmente en el uso de máquinas generadoras de vapor (calderas). Dionisio Papin fue el creador de la primera caldera en el año de 1769, de baja eficiencia porque generaba vapor a baja temperatura. Por tal motivo James Watt en 1776 fue quién desarrolló por completo la caldera para ser utilizada a nivel industrial.

A mediados del siglo XX el hombre transformó los hidrocarburos en combustibles fósiles de alto poder calorífico y eficiencia, remplazando a los biocombustibles. Es así, que actualmente son los más utilizados a nivel industrial y en parte a nivel de hogar.

El uso y abuso de estos combustibles fósiles ha causado un nivel de contaminación alarmante en el mundo, debido a que en la combustión de los mismos, se produce óxidos de carbono en forma de monóxido y dióxido, que se elevan a la atmosfera y contribuyen a acelerar el efecto invernadero. Por lo cual se plantea una problemática que nos obliga a buscar nuevas fuentes de energía, muchísimo más limpias que brinden la mayor cantidad de energía en el menor espacio posible, es decir con una eficiencia que pueda ser comparada con la que se obtiene con los combustibles fósiles.

Si nos enfocamos específicamente en los combustibles que se utiliza en los hogares para cocinar y brindar calefacción, podremos decir que en la mayoría de casos son combustibles fósiles, que se encuentran con facilidad en las grandes ciudades, pero a un costo que si no es subsidiado por el estado es muy representativo para la economía de una familia, volviéndose

un recurso muy escaso en áreas rurales donde la economía de una familia tiene muchas más limitaciones, y la distribución de estos es más complicada, lo que nos lleva a pensar cuales son los recursos que puede utilizar una familia sobre todo en estas condiciones para satisfacer sus requerimientos de energía.

Alrededor del mundo, dos mil millones de personas utilizan biocombustibles, para satisfacer sus necesidades, generando en la mayor parte de los casos contaminación en el interior del domicilio, como consecuencia de la forma en la que se utilizan estos combustibles. En una casa el fuego abierto genera humo, lo cual provoca enfermedades en los habitantes de la vivienda tales como: infecciones respiratorias, asma, bronquitis, inclusive la tasa de mortalidad en infantes ha aumentado al producirse asfixia por inhalación del humo, o en su defecto quemaduras en el cuerpo. A raíz de esto los últimos 30 años han sido dedicados al estudio del costo ambiental y social que implica el uso de combustibles tradicionales y estufas.

Es así que se desarrollaron las primeras estufas para tratar de aprovechar la mayor cantidad de energía liberada en la combustión de estos biocombustibles. Los doctores Grant Ballard Tremeer y Kirk Smith fueron los primeros científicos en descubrir que el fuego de tres piedras podía ser más eficiente y limpio.

Décadas de investigación han contribuido al desarrollo de las estufas mejoradas a leña, en 1970 la primera que se diseñó fue denominada Lorena, cuyo nombre proviene de las palabras lodo y arena, que son los materiales más usados, tanto Evans fue quien colaboró en el desarrollo de esta primera estufa, y es en 1976 que el mismo autor desarrolla la estufa Rocket junto con Leslie Jackson. Años más tarde se crea la Eco – Estufa “Justa” la cual fue desarrollada por el Dr. Larry Winiarski.

No obstante a pesar de dichos descubrimientos y mejoras en los diferentes tipos de estufas que se han desarrollado en los últimos años, no siempre representan la mejor opción de diseño aplicando la ingeniería actual, ya que existen un sin número de variables como: la situación geográfica en la que se encuentran, recursos abundantes, limitados, necesidades principales a satisfacerse, replicabilidad, costo, etc., que deben ser tomadas en cuenta para realmente aprovechar por completo la energía brindada por los biocombustibles y conducir dicha energía a las diferentes necesidades que se requieran que no solamente se limitan a la cocción de alimentos.

## **1.2 Definición del problema**

Conociendo de antemano que los combustibles fósiles como el GLP, y la energía eléctrica son recursos muy limitados en zonas rurales por varios aspectos como son el traslado, distribución, instalación, costo, volviéndose de difícil acceso y poco uso en estas zonas. Por esta razón la biomasa forestal es la principal fuente de combustible en las comunidades rurales de nuestro país, por su fácil acceso y bajo costo ya que es obtenida directamente de la naturaleza sin ningún tipo de proceso o tratamiento, además es un recurso renovable, con todas estas ventajas se debe tomar en cuenta que la biomasa no es aprovechada totalmente de forma eficiente, debido a que por desconocimiento, generalmente es utilizada a fuego abierto o con estufas caseras empíricas, que no aprovechan en su totalidad la energía liberada por la combustión obteniendo una eficiencia muy baja, este es un factor determinante en zonas como Ozogoché en el cual, el recurso de biomasa como la madera es muy escaso pero otros tipos de biomasa como el pajonal son mucho más accesibles, para cubrir necesidades como: obtener agua caliente sanitaria, calefacción y principalmente la cocción de alimentos, por lo que es de suma importancia optimizar y mejorar significativamente la eficiencia tanto en la combustión así como el aprovechamiento de la energía liberada, más aun en estos momentos de crisis y de cambio de la matriz energética.

El propósito de la siguiente investigación obedece a la necesidad de optimización en la utilización y combustión de biomasa forestal, es decir utilizar cualquier tipo de biomasa en la menor cantidad posible que permita una mejor y más racional utilización del combustible para obtener energía suficiente, para cubrir completamente las necesidades principales que se tienen dentro de un hogar. Esto implica el diseño y construcción de una caldera/cocina que genere agua caliente sanitaria, calefacción, cocción y además sea capaz de secar su combustible, con la mínima cantidad de biomasa, alta eficiencia, fácil replicabilidad y bajo costo, esto se requiere porque al ser un equipo que será diseñado para zonas rurales debe ser capaz de reproducirse por cualquier persona en un taller mecánico con herramientas básicas y costo moderado, de esta manera podrá ser obtenido por cualquier familia reduciendo el tiempo, trabajo e impacto que producen los gases de combustión para las personas que utilizan a diario este tipo de sistemas.

### **1.3 Objetivos**

#### **1.3.1 Objetivo general**

Generar documentación técnica, para fabricar un prototipo de caldera/cocina de baja temperatura, bajo costo y alta eficiencia para la generación de agua caliente sanitaria y calefacción que sea fácilmente replicable.

#### **1.3.2 Objetivos específicos**

- Diseñar y construir un prototipo de caldera/cocina de baja temperatura, bajo costo y alta eficiencia para la generación de agua caliente sanitaria y calefacción que sea fácilmente replicable.
- Realizar pruebas de funcionamiento del equipo terminado.
- Realizar pruebas de liberación del equipo terminado.
- Analizar los resultados obtenidos
- Crear un manual de usuario

#### **1.4 Alcance del proyecto**

Diseñar, construir y realizar pruebas de funcionamiento de una caldera/cocina de baja temperatura, bajo costo y alta eficiencia para la generación de agua caliente sanitaria y calefacción, que sea fácilmente replicable para que se extienda su uso en zonas rurales.

#### **1.5 Justificación**

Al estar enfocado este proyecto a comunidades rurales donde casi siempre los recursos son muy limitados como: electricidad, agua, GLP, etc. Además la biomasa forestal que generalmente se utiliza como la madera es muy escasa pero al estar ubicados en cerros, bosques, laderas, los pobladores no necesariamente se ven limitados a uno solo tipo de biomasa, por ejemplo en los páramos encontramos gran cantidad de pajonal, es decir la caldera debe adaptarse a cualquier biomasa forestal para transformarla en energía útil, por lo que la investigación y desarrollo de este proyecto es de gran importancia ya que considera todos los aspectos en el que va a desarrollar.

Las grandes ventajas que posee este proyecto están dirigidas a facilitar las necesidades que se presentan diariamente en la comunidad, como la obtención de agua caliente sanitaria para el aseo, la calefacción de la vivienda siendo éste un aspecto importante, ya que al estar ubicados en zonas muy altas donde las temperaturas oscilan generalmente entre los 0 a 10 °C especialmente por las noches. Por otro lado también se tiene la cocción de alimentos, que es una necesidad básica para alimentarse. Para cubrir todos estos requerimientos la caldera/cocina planteada utiliza recursos que generalmente son desechos forestales en estas zonas rurales, y los transforma en energía eficiente, ahorrando tiempo ya que la cocción y calentamiento de agua se realiza en un lapso de 20 a 30 minutos, porque es de fácil operación y costo ya que realiza más de un trabajo por cada combustión, es decir se calienta el agua a la vez que se cocinan los alimentos y brinda calefacción en forma de resistencia, además tendrá una

cámara independiente para secar su propio combustible, aspecto muy importante ya que por ejemplo, el pajonal se encuentra aproximadamente con una humedad del 25% en el medio ambiente, y al introducirlo en esta cámara la humedad se reduce al 2%, ayudando enormemente a mejorar la combustión, es decir se optimizan los procesos, además se reduce casi en su totalidad el impacto que produce en las personas que utilizan este tipo de recursos los gases de combustión.

La construcción y replicabilidad de esta caldera es muy sencilla por lo cual se puede reproducir en cualquier lugar sin necesidad de equipos, materiales y herramientas especiales.

Las aplicaciones que tiene esta investigación no solo se limitan a zonas rurales, sino a microempresas e incluso a cualquier hogar ya que el costo-beneficio es muy grande, considerando el cambio de la matriz energética y la eliminación del subsidio al GLP, por lo que se considera que es muy importante el desarrollo del proyecto ya que es innovador y una alternativa para futuras generaciones.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1 Generalidades sobre las calderas**

##### **2.1.1 Definición de caldera**

Caldera es una máquina o dispositivo que transforma agua líquida en vapor, mediante transferencia de calor, siempre y cuando esto sea requerido, de lo contrario solo calentará el agua sin llegar al punto de ebullición.

##### **2.1.2 Tipos de calderas**

Las calderas poseen varias calificaciones, si se tiene en cuenta que el diseño de esta caldera se basa solamente en el calentamiento de agua las más relevantes son las siguientes:

#### **Según la circulación de fluidos**

##### **Calderas acuotubulares**

En este tipo de calderas el agua circula por el interior de los tubos, mientras que los gases de combustión son los que calientan el agua. El intercambio de calor se produce por radiación desde la flama hacia los tubos.

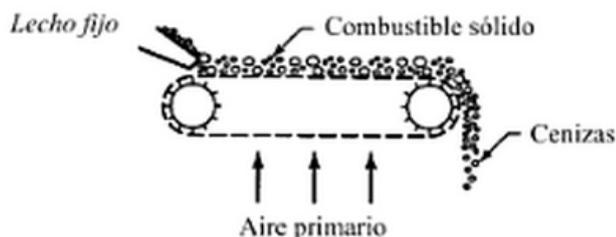
##### **Calderas pirotubulares**

En este tipo de calderas los gases calientes de combustión son los que viajan por el interior de los tubos, calentando así el agua que los rodea.

La circulación de fluidos en esta caldera/cocina es de tipo acuotubular por que se necesita que el fuego y gases de combustión calienten los tubos que contienen agua.

## Según la forma de combustión

### Calderas de lecho fijo o parrillas móviles

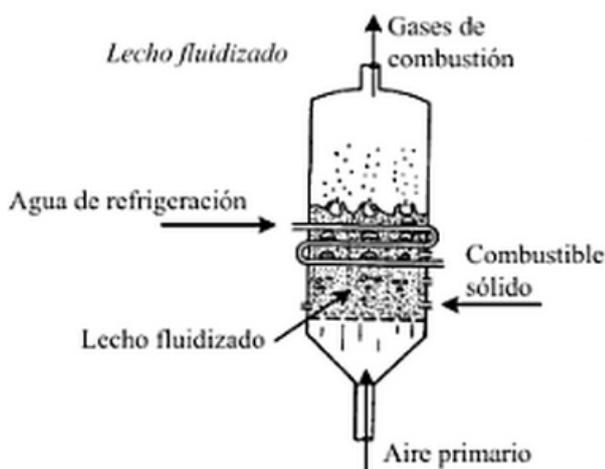


**Figura 1. Caldera de lecho fijo**

Fuente: (Requena, 2012)

En este tipo de calderas el combustible se encuentra sobre una parrilla. Una parte de la combustión se realiza sobre la parrilla al introducir aire por la parte inferior de la misma, la otra parte se realiza muy por encima de la parrilla por donde ingresa el aire secundario. Es decir, en la parrilla primero se seca y luego se quema el combustible (biomasa), y por encima de la parrilla se queman los restos volátiles.

### Calderas de lecho fluidizado



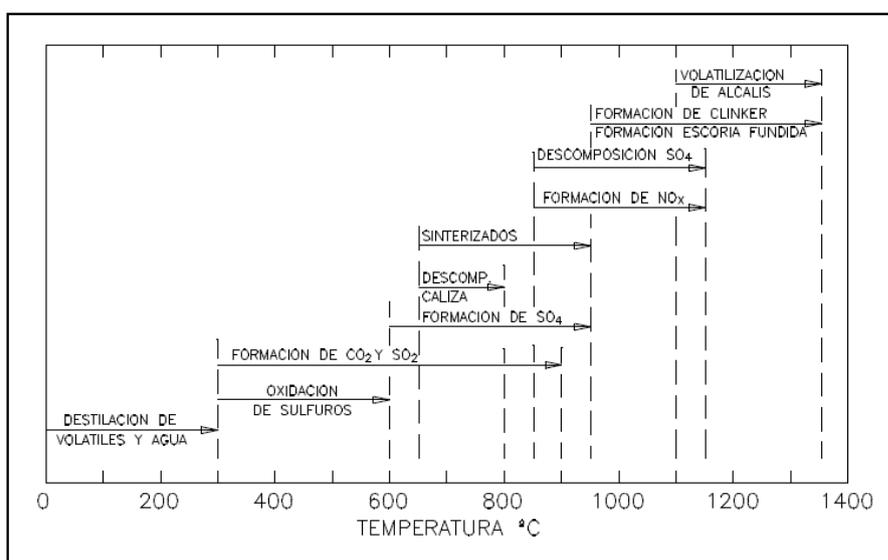
**Figura 2. Caldera de lecho fluidizado**

Fuente: (Thomson, 1960)

La fluidización va desde la parte inferior de la cámara de combustión hasta la parte superior de la misma, el aire primario es originado por un ventilador o por el efecto chimenea.

Existen dos tipos de lechos, el primero es el lecho fluidizado circulante que se da cuando la combustión se realiza a la presión atmosférica, y el segundo es el lecho fluidizado presurizado, que ocurre cuando la presión es superior a la atmosférica.

A continuación se muestra los procesos que existen en la combustión utilizando lecho fluidizado.



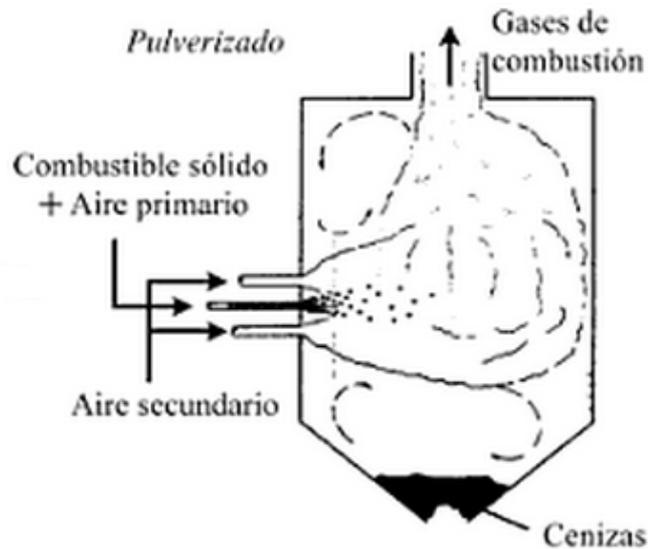
**Figura 3. Procesos físico-químicos en la combustión**  
Fuente: (Montes, 1952)

La forma de combustión en esta caldera/cocina es de tipo lecho fluidizado circundante ya que la circulación de aire se dará desde la parte inferior hasta la parte superior de la cámara de combustión, recalcando que el tiro no será forzado, sino natural, es decir no se utilizará ningún tipo de ventilador por la limitación que se posee de corriente eléctrica.

### **Calderas de quemador de suspensión**

El quemador de suspensión quema las partículas finas de madera como polvos y serrines, que están en suspensión gracias al aire forzado de la combustión. Para que la combustión sea buena, estas partículas no deben

superar los 6 mm de tamaño, obteniendo así una eficiencia en la combustión del 75%.



**Figura 4. Caldera de quemador de suspensión**  
Fuente: (Industriales, 2001)

### Según la presión de trabajo

#### Caldera de baja presión

Esta caldera es usada para calentar agua o para generar vapor, con una presión de trabajo inferior a 15 [psi].

#### Caldera de media presión

Esta caldera es usada en todo tipo de industria para generar vapor, y trabajan entre 30 y 150 [psi].

#### Caldera de alta presión

Esta caldera está asociada a ciclos de potencia, y trabajan con presiones superiores a 150 [psi].

#### Caldera supercrítica

Ésta caldera trabaja por encima de la presión crítica absoluta 3206,2 [psi] y son utilizadas para generar energía eléctrica en Estados Unidos, Japón y algunos países de Europa.

Se determinó que la caldera/cocina debe estar a baja presión de trabajo, en este caso a presión atmosférica, ya que será utilizada para calentar agua y no generar vapor.

## **Según el combustible utilizado**

### **Combustible líquido**

Los combustibles líquidos más utilizados en las calderas son el diésel y el búnker, por su bajo costo, sin embargo al ser derivados del petróleo su combustión genera gases tóxicos.

### **Combustible gaseoso**

Existen varios combustibles gaseosos como son: el gas natural, GLP, aire propano o gas obtenido en gasificadores.

### **Combustible sólido**

El principal ejemplo es la leña, sin embargo a través de desechos de producción se obtiene pellets de madera, aserrín, bagazo de caña de azúcar, cascarilla de arroz, etc.

El tipo de combustible en esta caldera/cocina es sólido ya que se utilizara biomasa forestal para la combustión.

## **Según la circulación del agua**

### **Circulación natural**

Éste tipo de circulación del agua se da por la diferencia de densidades que existe entre el agua fría y caliente. El agua fría es más densa y por lo tanto desciende, mientras que el agua caliente es menos densa y por ello el agua asciende produciéndose una circulación natural del agua gracias a  $\rho_0$ .

### **Circulación asistida**

La circulación asistida requiere bombas de agua para permitir el paso del fluido en el interior de los tubos, ya que la diferencia de densidades entre el

fluido frío y caliente no es grande, en este tipo de circulación se considera que la caldera es un sistema cerrado.

### **Circulación forzada**

Aquí la caldera es considerada como un sistema abierto, de igual manera se utiliza una bomba de agua la cual envía el fluido a un primer intercambiador en el cual el agua se precalienta, luego pasa a un segundo intercambiador donde se vaporiza y finalmente llega a un tercer intercambiador donde se sobrecalienta. Un paro de la bomba implica un paro de la caldera.

La circulación de agua en esta caldera/cocina es de tipo natural debido a que no se puede utilizar bombas y demás por la limitación que se posee de corriente eléctrica.

## **2.2. Aplicaciones de las calderas**

Existen varias aplicaciones de las calderas dependiendo del uso y rama en la que se encuentren, por lo que hay que tomar en cuenta que para este diseño de caldera/cocina se necesitan las siguientes aplicaciones que se describen a continuación.

### **2.2.1 Agua caliente sanitaria**

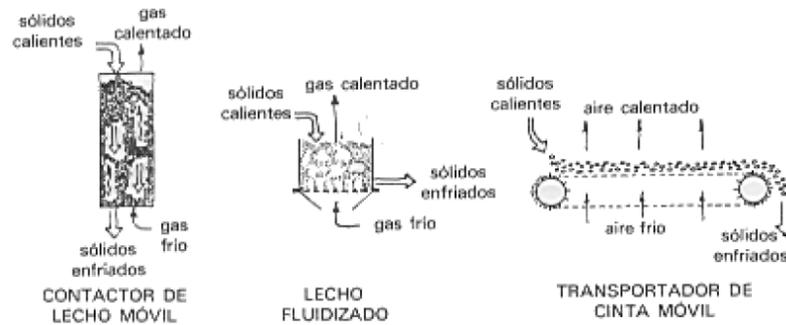
Una de las aplicaciones más comunes es la obtención de agua caliente sanitaria por medio de un intercambiador de calor

## **Intercambiadores de calor**

### **Intercambiadores de calor de contacto directo**

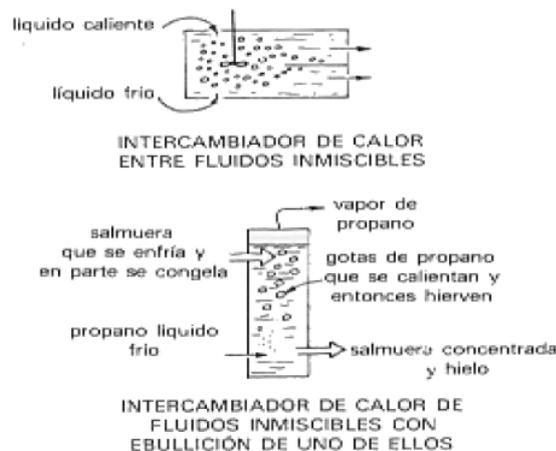
Los intercambiadores de contacto directo son sistemas en los cuales los fluidos están en una mezcla física completa, estos no poseen almacenamiento de energía, haciendo que se transfiera calor desde la fase más caliente directamente hacia la más fría, se lo utiliza generalmente para fases que son insolubles mutuamente, estos son de tres tipos:

El intercambiador de contacto directo gas - solido sin almacenamiento de calor. En la figura 5 se presentan varios tipos



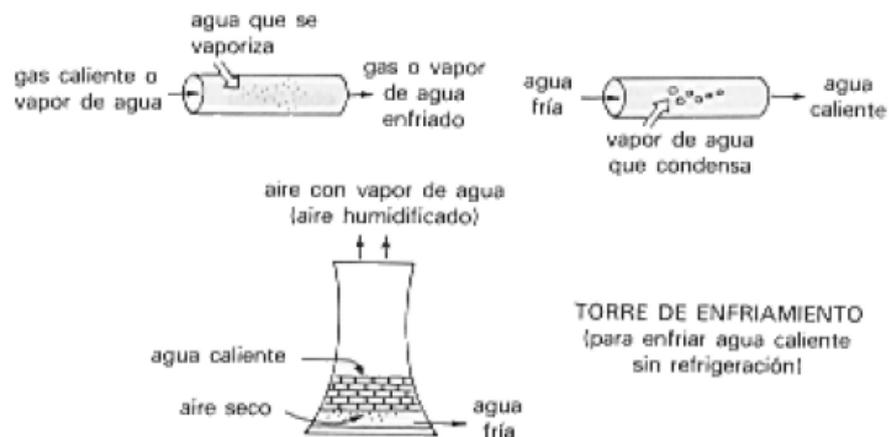
**Figura 5. Intercambiadores de contacto directo gas - solido**  
Fuente: (IM, Blogger, 2013)

Intercambiadores de contacto directo fluido - fluido utilizado para fluidos que se encuentren mezclándose inmiscibles. En la figura 6 se muestra algunos esquemas.



**Figura 6. Intercambiadores de contacto directo fluido - fluido**  
Fuente: (IM, Blogger, 2013)

Intercambiadores de contacto directo aire – agua sin almacenamiento de calor utilizado para fluidos que no son insolubles, es decir uno se disuelve en el otro, son los que generalmente se utiliza en la industria. En la figura 7 se muestra un ejemplo

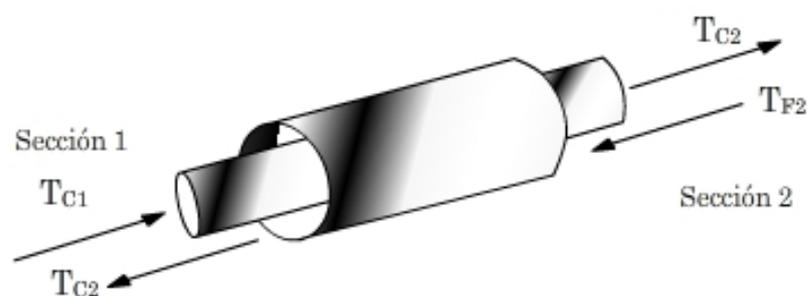


**Figura 7. Intercambiadores de contacto directo aire – agua**  
Fuente: (IM, Blogger, 2013)

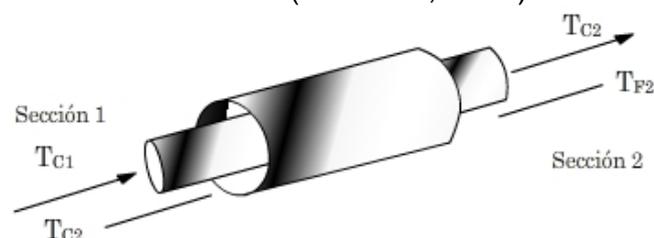
### Intercambiadores de calor de contacto indirecto

#### Tubos concéntricos o doble tubo

Son los intercambiadores más sencillos, están diseñados por dos tubos concéntricos, como lo dice su nombre por el tubo de menor diámetro fluye un fluido y por la sección entre el tubo más grande y el más pequeño otro fluido, la circulación de estos fluidos pueden estar a contracorriente o flujo paralelo estos pueden ser aleteados o lisos dependiendo del coeficiente de transferencia de calor. En la figura 8 y 9 se muestran las configuraciones



**Figura 8. Disposición a contracorriente**  
Fuente: (Cataluña, 2000)



### Figura 9. Disposición paralelo

Fuente: (Cataluña U. P., 2000)

### Coraza y Tubo

El intercambiador de coraza y tubo es el más utilizado a nivel industrial, estos se dividen dependiendo el número de veces que cruza el fluido por los tubos y el número de veces que pasa el fluido por la coraza. En la figura 10 se muestra un ejemplo

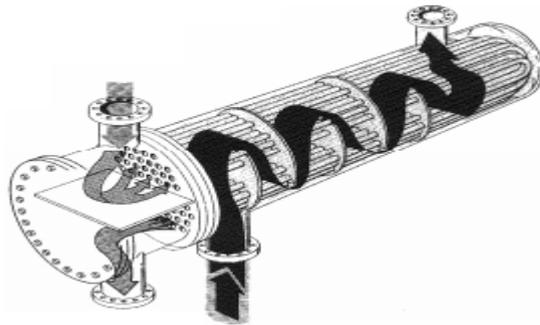


Figura 10. Intercambiador de calor tubo

Fuente: (Térmica, 2009)

### Placas

Los intercambiadores de placas son utilizados para fluidos que tienen una viscosidad relativamente baja y no poseen partículas, están diseñados por finas placas acanaladas montadas, entre las placas hay dos medios un caliente y un frío, estos circulan por cada lado en contracorriente, en la figura 11 se muestra un ejemplo.

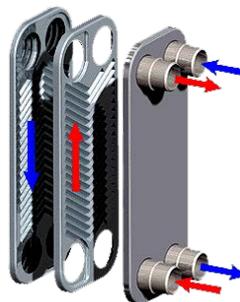


Figura 11. Intercambiador de calor de placas

Fuente: (FUNKE, 2009)

Los intercambiadores de calor que se utilizarán para la obtención de agua caliente sanitaria serán por contacto indirecto, ya que el fluido es calentado por las paredes de la cámara de combustión, los tubos que

reciben fuego directo y por placas ya que las paredes de dicha cámara se comportan como una placa de un intercambiador de calor.

### **2.2.2 Calefacción**

#### **Teoría de calefacción**

El ser humano, cuyo cuerpo no tiene protección de pelo o pluma, necesita en temperaturas bajas de sistemas de calefacción, que pueden ir desde el más básico como uso de vestidos (abrigo) o aprovechando el fuego, hasta más modernos como calefactores eléctricos o de gas, estos dependerán de las condiciones y posibilidades de quienes utilicen estos sistemas.

#### **Tipos de calefactores**

Existen diferentes tipos de calefactores que se diferencia entre sí por el suministro de energía que requieren, los más representativos son: calefacción eléctrica, la cual tiene en su interior una resistencia eléctrica por donde fluye la corriente. La calefacción radiante es otro tipo de calefactor, en este caso se produce transferencia de calor por radiación a través de las ondas infrarrojas que emite el calefactor a toda la habitación, estas ondas son independientes de las corrientes de aire existentes y calientan todo lo que esté a su alrededor. Así mismo existe la calefacción con gas, el cual es utilizado como combustible en las calderas para generar calefacción. Para finalizar existe la calefacción por bombas de calor, éstas adicionan o quitan calor a una casa o edificio, trabajan de manera similar a un aparato de aire acondicionado.

La calefacción se obtiene por medio de la caldera/estufa imitando a una resistencia, ya que las paredes de este equipo irradiaran calor hacia la vivienda, además, la cámara de secado juega un papel importante en la calefacción ya que esta tiene oricios de entra y salida de aire, lo cual permite al aire frio entrar por dichos orificios y salir como aire caliente para sacar la humedad de la biomasa que se deposite en esta.

### 2.2.3 Cocción

#### Teoría de estufas

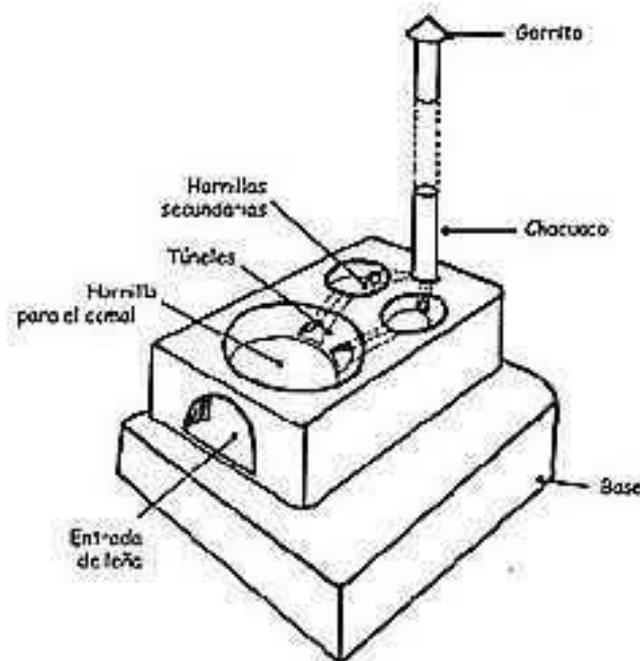
La cocción es la operación de elevar la temperatura de un alimento para que sea más rico, apetecible, comestible y digerible, favoreciendo también su conservación.

La mayoría de las frutas y muchas verduras pueden comerse crudas, así como en determinados casos la carne, el pescado y los huevos, sin embargo la mayoría de los productos se cocinan, es una necesidad básica para poder alimentarse y obtener agua caliente sanitaria.

#### Tipos de estufas

##### Estufa Lorena

La estufa Lorena es de las primeras estufas empíricas utilizadas, su nombre está dado por que se construye de lodo y arena (Lorena) esta multiplica el calor generado por la madera que se combustiona, esta disminuye un 80% el uso de leña en la figura 12 se describen sus partes.



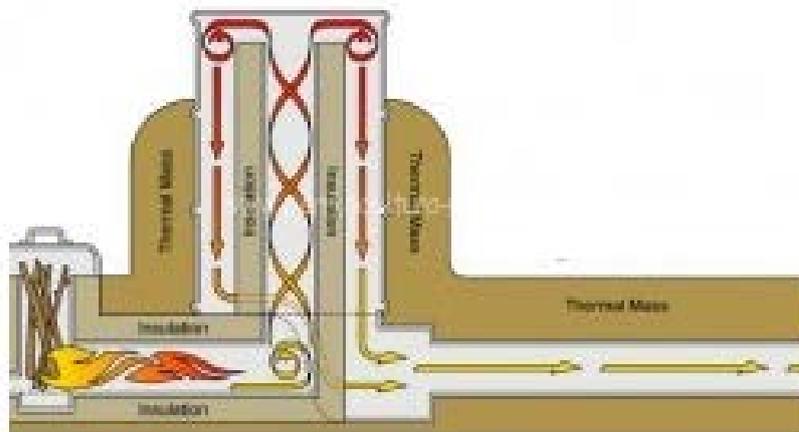
**Figura 2. Partes de la estufa Lorena**  
Fuente: (INTECH, 1950)

### Estufa Rocket

La estufa Rocket es una estufa experimental que se ha sido mejorada con el tiempo. Estas son ideales para casas con alto nivel de aislamiento porque que tienen una buena irradiación de calor que puede desperdiciarse en el ambiente, reducen el consumo de leña.

Con tiro natural por diferencia de densidades se debe tener mucho cuidado en la emisión de gases de combustión que pueden ser perjudiciales para la salud.

Esta estufa puede ser complementada para calefacción con el principio de masa térmica, que consiste en almacenar la energía liberada por la combustión poco a poco durante un largo tiempo, en la figura 13 se muestra un esquema básico.

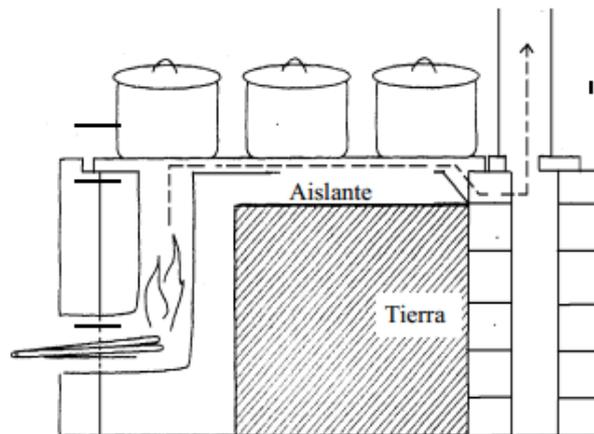


**Figura 13. Esquema básico de una estufa Rocket**

**Fuente:** (Charl, 2012)

### Estufa Justa

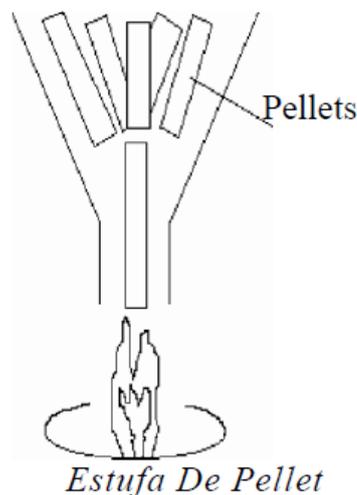
Esta fue diseñada con la necesidad de ser adaptada en cualquier lugar y satisfacer cualquier necesidad de cocción particular, en la figura 14 se muestra un esquema básico de la estufa justa.



**Figura 34. Esquema básico de una estufa justa**  
**Fuente:** (Rocket, 1970)

### Estufas de pellets

Las estufas de pellets casi no emiten gases de combustión, ya que se ayuda a la combustión con un ventilador que precalienta el aire asegurando una buena mezcla de gases, aire y llama, estas estufas no restringen el aire que llega al fuego, la cantidad de calor emitido es controlado mediante la cantidad de combustible, en la figura 15 se muestra un esquema básico.



**Figura 45. Esquema básico de estufa de pellets**  
**Fuente:** (Rosati, 2003)

Mejorar la eficiencia en la combustión, es decir una quema limpia dará como resultado la disminución de gases de combustión que afectan de

forma drástica la salud de las personas que utilizan este tipo de estufas, además mejorando la transferencia de calor de la estufa se reducirá la cantidad de combustible que se emplea normalmente, siempre se debe añadir una chimenea en cualquier estufa que queme biomasa, ya que captan y eliminan casi por completo los gases de combustión.

La cocción se obtiene por medio de la caldera/estufa gracias a la cámara de cocción ubicada en la parte superior de la cámara de combustión, es decir, en ésta cámara hay espacio suficiente para colocar una olla de 0.30 m x 0.30 m x 0.30 m. Los gases de combustión envuelven a la olla, mejorando así la cocción de alimentos. Cabe recalcar que para aumentar la eficiencia en la cocción es sumamente importante tapar siempre la olla, para evitar que el calor que se encuentra en el interior se desperdicie por la chimenea.

### **Secado de madera**

El secado consiste en eliminar el exceso de agua contenido en la madera para facilitar su procesamiento posterior. El secado de madera es uno de los procesos más exigentes en la preparación de la madera, tanto para usos industriales como domésticos. En las aplicaciones industriales, del secado depende que la madera ofrezca buenos resultados durante y después del proceso de transformación. Así mismo, al utilizar la madera como combustible, es aconsejable que esté seca, caso contrario, para evaporar el agua contenida en la madera se necesita cierta cantidad de calor, y con esto se ve afectada la combustión.

No existe un valor exacto que permita determinar si la madera está completamente seca o húmeda, esto viene estrechamente relacionado con el uso que se le va a dar a la madera. Se dice que la madera está seca si contiene un 23% de humedad para fabricar cajones para embalajes, en cambio, para fabricar muebles se considera que la madera está seca si contiene un 15% de humedad.

## **Factores fundamentales en el secado**

Existen factores que son necesarios para el secado óptimo de la madera. En primer lugar el calor es fundamental para evaporar la cantidad de agua contenida en la madera, segundo, la humedad relativa del aire circulante debe ser capaz de recibir la humedad proveniente de la madera, y para finalizar debe existir movimiento del aire, ya que éste es el encargado de transportar tanto el calor como la humedad extraída de la madera hacia el exterior. El manejo adecuado de estos tres factores es indispensable para el éxito en el secado de la madera.

### **Secado natural**

El secado natural consiste en exponer la madera al medio ambiente, donde influyen directamente los rayos del Sol y el viento. Aquí no se utilizan altas temperaturas artificiales, control de velocidad ni de humedad.

El secado natural es el más económico, si se tiene en cuenta que los costos de energía se reducen a cero. Sin embargo, la principal desventaja es el tiempo empleado en el proceso, el cual es largo debido a la baja velocidad de secado.

### **Secado artificial**

En el secado artificial se controla el calor, la humedad relativa y la circulación del aire. Con esto se disminuye el tiempo empleado en el secado, además disminuye el riesgo de grietas, rajaduras, manchas y pudriciones.

## **2.3. Biomasa**

### **2.3.1 Definiciones y generalidades**

La definición de biomasa es amplia, sintetizando, se entiende como la materia orgánica de origen vegetal o animal, que ha sufrido una transformación natural o artificial, como consecuencia de un proceso biológico.

### **2.3.2 Fuentes de biomasa**

La biomasa juega un papel importante como recurso energético al ser renovable y limpia, por tal motivo es importante destacar las diversas fuentes para la obtención de biomasa.

#### **Cultivos agrícolas**

Son cultivos energéticos destinados exclusivamente a la producción de energía. Su característica principal es producir biomasa siendo resistente a la sequía, enfermedades, plagas, y breve adaptación a terrenos marginales.

Se distinguen dos tipos de cultivos energéticos destinados a la obtención de biomasa, el primero son cultivos productores de biomasa lignocelulósica, los cuales producen calor mediante la combustión directa en calderas, como ejemplo de esto se tiene a las especies herbáceas y leñosas. El segundo tipo son los cultivos de semillas oleaginosas, como la colza, soya, girasoles, etc., con los cuales se obtiene aceites vegetales para ser usados como carburantes en el sector automotriz y se los conoce como biocarburos.

#### **La madera y los bosques**

Los bosques ocupan un tercio de la superficie total de la Tierra. La vegetación predominante en un bosque son los árboles, de los cuales se obtiene la madera para distintas aplicaciones, una de ellas es el uso como combustible.

El eucalipto, álamo, sauce, aliso entre otros, son árboles con un alto poder calorífico, por ello son los de mayor demanda a nivel mundial. Una característica importante de este ecosistema es que se puede renovar con el paso de los años, sin embargo la demanda que tiene la madera como materia prima para varios productos pone en riesgo una eminente deforestación y degradación.

## **Las plantas invasoras**

Casi todos los cultivos son afectados por plantas exóticas que aparecen accidentalmente y que se proliferan rápidamente. Estas plantas son temidas por los agricultores debido a que tienden a sustituir a las plantas nativas, y por ello son consideradas como malas hierbas. Con este antecedente se ve la necesidad de eliminarlas por completo, sin embargo, estas plantas invasoras al ser resistentes a enfermedades, plagas y el medio que los rodea se convierten en una importante fuente de biomasa, ya que no necesitan abono, riego, ni cuidado alguno para sobrevivir, y esto es una característica importante que se quiere desarrollar en plantas alimentarias o de biomasa energética.

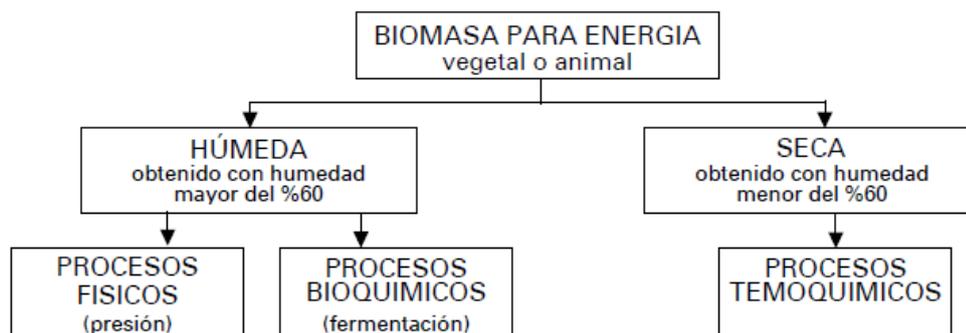
## **Pajonal**

Pajonal es término de origen español derivado de paja, más concretamente de su aumentativo pajón, que se usa para designar las formaciones dominadas por gramíneas vivaces, y estos crecen entre los 2850 m y 3635 msnm, existen varias familias de estas plantas siendo las más comunes, además crecen silvestremente de forma abundante, de fácil recolección y almacenamiento por ser pequeñas y delgadas

Con todas estas características y tomando en cuenta las zonas donde se encuentra dirigido este proyecto (páramo) la biomasa de uso común será el pajonal ya que es la de mayor facilidad de obtención, recolección y uso con un costo prácticamente nulo, ya que es recolectada en los alrededores cercanos a las viviendas.

### **2.3.3 Métodos de transformación de biomasa en energía**

Para poder transformar la biomasa en energía se deben aplicar diferentes procesos dependiendo que se desee generar, energía directa, combustibles sólidos, líquidos o gaseosos, además el tipo de biomasa del que se va a partir para realizar dicha transformación. En la figura 16 se muestra dicha clasificación.



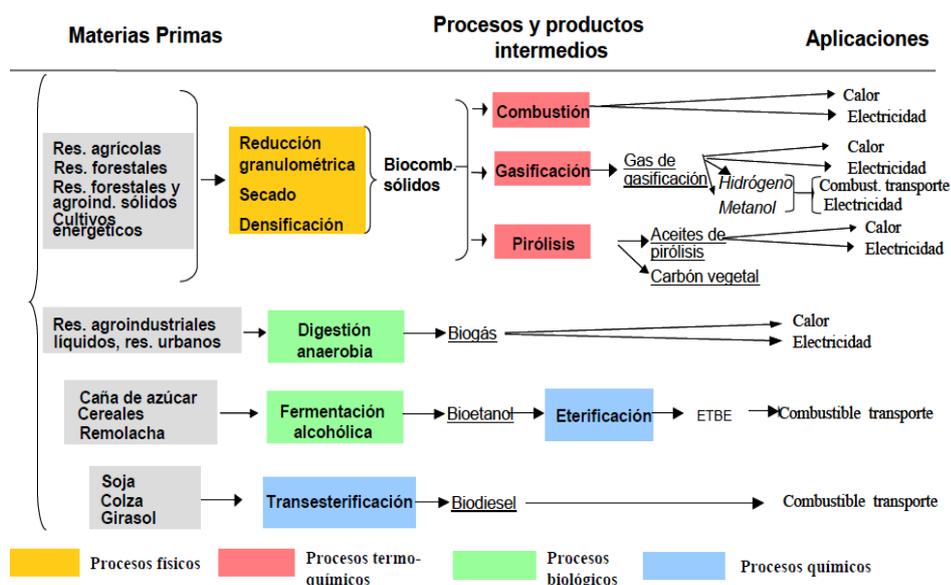
**Figura 56. Métodos de transformación de biomasa en energía**  
Fuente: (Ibex, Acciona, 1998)

### Biomasa Seca

Es la biomasa que se puede obtener de forma natural con una humedad menor al 30%, esta es mejor utilizada energéticamente mediante procesos termoquímicos o fisicoquímicos, que generan de forma directa energía o combustibles sólidos, líquidos o gaseosos.

### Biomasa Húmeda

Es la biomasa con humedad mayor al 30%, el tratamiento de esta se debe hacer mediante procesos químicos y en casos especiales mediante simples procesos físicos, obteniendo combustibles líquidos y gaseosos. En la figura 17 se describe los procesos de transformación de biomasa.



**Figura 17. Procesos de conversión energética de la biomasa**  
Fuente: (Ibex, Acciona, 1998)

### **2.3.3.1 Procesos físicos**

#### **Densificación o compactación**

Consiste en la reducción de volumen mediante compactación de biomasa a altas presiones para su uso directo como combustible como briquetas y pelets.

### **2.3.3.2 Procesos termoquímicos**

#### **Combustión**

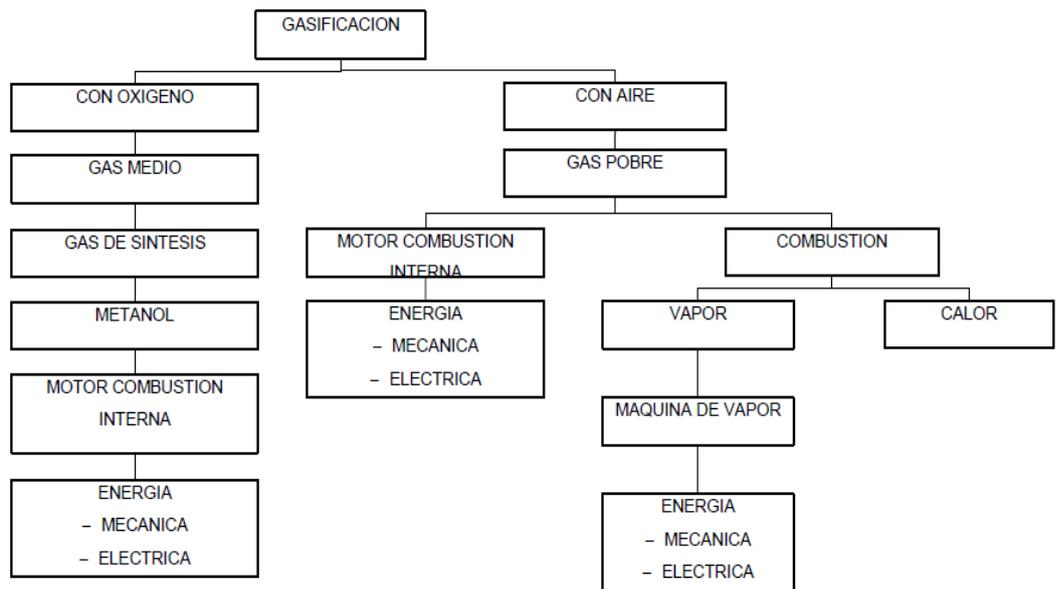
Es el proceso comúnmente utilizado a nivel industrial o local en el cual se obtiene energía de forma directa, y consiste en una reacción de oxidación completa exotérmica con un exceso aire.

Existen varios tipos de tecnologías para la combustión directa de biomasa que van desde estufas empíricas de fuego abierto, hasta calderas de gran eficiencia utilizadas a nivel industrial.

Se utiliza como método de transformación de biomasa en energía para la caldera/cocina el proceso termoquímico de combustión, que ocurre en la cámara de combustión siendo este la principal forma para la obtención de energía.

#### **Gasificación**

La combustión es la oxidación total de la biomasa con un exceso de aire provocando una reacción exotérmica. La gasificación efectúa este proceso pero con un defecto de aire, oxígeno, vapor de agua o hidrogeno transformándolo en gas combustible. En la figura 18 se muestra algunos ejemplos. Al utilizar oxígeno en lugar de aire existen ganancias en términos PCI sin embargo el costo es mayor.

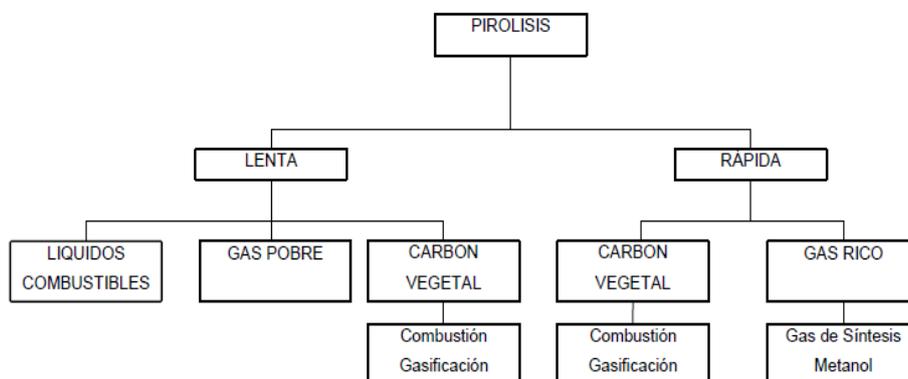


**Figura 68. Productos de gasificación**

Fuente: (Ibex, Acciona, 1998)

## Pirolisis

Al elevar paulatinamente la temperatura de un compuesto orgánico con ausencia de oxígeno libre, se tiene como consecuencia el desprendimiento de compuestos que se encierran en forma de gas, es decir la moléculas se rompen formando moléculas más pequeñas, en estado de líquido, sólido o gaseoso por la descomposición espontánea de biomasa en la cual se libera energía, estas reacciones siguen hasta que al final solo queda carbón de madera.



**Figura19. Productos de pirolisis**

Fuente: (Ibex, Acciona, 1998)

### **2.3.3.3 Procesos biológicos**

#### **La fermentación alcohólica**

Se sabe que al fermentar granos con levadura se produce alcohol de grano un procedimiento similar se realiza para la producción de etanol, aunque este también puede ser producido de forma química, a partir del etileno.

La fermentación alcohólica es un proceso biológico para obtener etanol a partir de azúcares (caña de azúcar, derivados de remolacha azucarera, sorgo dulce) o de almidón de plantas amiláceas (trigo, cebada, maíz, mandioca, patata) estas previamente se deben transformar en azúcares mediante hidrólisis. Por acción de levaduras y bacterias sobre los azúcares da como resultado el etanol.

#### **La fermentación metánica**

La metanización es un tratamiento biológico de degradación de biomasa, y sus desechos o materia orgánica biodegradable para la obtención de biogás, Aplicada esta metanización en la biomasa genera un gas combustible, sin secado previo de los productos tratados evitando este proceso y ahorrando el consumo de energía para el secado.

### **2.3.3.4 Procesos químicos**

#### **Transesterificación**

La transesterificación también llamada alcoholólisis consiste en convertir aceites vegetales obtenidos por varios procedimientos como: prensado de semillas, filtración y secado, transformándolas en biogasoil o biodeisel líquido.

### **2.3.4 Ventajas y desventajas de la biomasa - energía**

#### **Aspectos positivos de la biomasa - energía**

- La biomasa es un combustible renovable

- La biomasa es un combustible que puede ser almacenado siempre que este seco con una humedad inferior al 15% de esta manera es accesible en cualquier momento y lugar.
- La biomasa es un combustible poco peligroso en el que toman pocas medidas de precaución.
- Fuente de energía versátil ya que de la biomasa se puede producir varias formas de energía como: calor, electricidad, biocombustibles, etc.
- Fuente de combustible versátil ya que de la biomasa se puede producir combustibles sólidos, líquidos o gaseosos como biogás, biodeisel, carbón, etc.
- Reducción de la generación de gases de efecto invernadero.
- Reciclaje energético con el aprovechamiento de residuos.
- Mejoramiento de la situación de agricultores creando fuentes de trabajo.
- Aprovechamiento de campos abandonados para la producción de biomasa evitando la erosión y degradación de la tierra.
- Beneficio y ahorro económico para las personas o industrias que adquiere este tipo de sistemas a base de biomasa.
- Reduce la dependencia notablemente de combustibles fósiles.
- Produce energía limpia, moderna y segura.

#### **Aspectos negativos de la biomasa - energía**

- Prácticas agrícolas o forestales intensivas al querer obtener grandes cantidades de biomasa se utilizan fertilizantes y pesticidas contaminando los campos y afectando a los seres vivos que se encuentran a su alrededor.
- Reducción de cultivos alimenticios.
- Se necesita mayor cantidad de biomasa para obtener la misma cantidad de energía que se obtiene de combustibles fósiles.
- Se necesita a nivel industrial mayor inversión en equipos que utilizan biomasa como combustible.

- Produce deforestación.
- Se necesita lugares grandes para el almacenamiento.

## **2.4 La combustión**

### **2.4.1 Definición**

La combustión es una reacción química de oxidación completa de biomasa con aire, es decir combustible más comburente. La combustión se obtiene cuando el proceso de oxidación se lo realiza rápidamente, obteniendo energía lumínica y calórica.

### **Proceso de Combustión**

Se refiere a la reacción de oxidación completa de biomasa con aire precalentado. La madera se quema en dos etapas, primero se elimina por evaporación la humedad de la biomasa, es decir se liberan gases no combustibles y vapor de agua, después las cadenas macromoleculares orgánicas se rompen en moléculas mucho más pequeñas, algunas de estas son gases inertes o combustibles que se liberan del producto en descomposición.

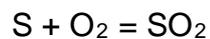
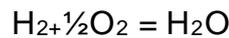
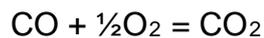
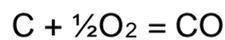
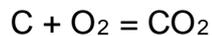
Estos gases ( $\text{CO}$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{SO}_2$ ) al entrar en contacto con el aire se oxidan rápidamente formando lo que se conoce como llamas, éstas permiten seguir con el calentamiento de residuos y de productos intermedios formados y así formar nuevas moléculas más cortas.

La combustión de la madera empieza con pirolisis en la que, la holocelulosa da origen a compuestos volátiles, en cambio la lignina genera cenizas y volátiles. Las cadenas orgánicas en la masa incandescente de los residuos se reducen progresivamente hasta llegar al carbón que termina por oxidarse, al fin también quedan compuestos orgánicos degradados y no eliminados debido a la combustión incompleta por falta de aire obteniendo contaminantes llamados inquemados.

Las reacciones sucesivas indicadas empiezan en la superficie, el desprendimiento de calor que generan se transmite por conducción en la profundidad de la biomasa que aún no está combustionada y por radiación - convección a la biomasa aledaña, añadida, para que sufra el mismo proceso.

#### **2.4.2 Reacciones químicas del proceso**

En el proceso de combustión de cualquier tipo de biomasa se produce una reacción química exotérmica, porque se libera energía en forma de luz o calor. Las principales reacciones químicas que se emplean en el estudio de la combustión son:



#### **2.4.3 Parámetros característicos de la biomasa**

La biomasa es utilizada para generar energía, ya sea en forma de calor o trabajo, sin embargo no todo tipo de biomasa cumple de manera eficiente éste objetivo, por eso antes de seleccionar la biomasa a utilizar es importante evaluar ciertas características como son:

La composición química y física determina el combustible que se va a generar, por ejemplo de la madera se puede obtener gas pobre, mientras que, de los desechos animales se puede obtener metano.

El contenido de humedad se refiere a la cantidad de agua que existe en la biomasa por cada kilogramo de material seco. Para la mayoría de los procesos es necesario que este porcentaje de humedad sea inferior al 30%, si es mayor primero se debe evaporar el agua antes de iniciar el proceso de conversión de energía.

En cambio el porcentaje de ceniza indica la cantidad de materia sólida que no es combustible por kilogramo de biomasa. Es importante conocer el porcentaje de ceniza que se obtuvo para tener un indicador de cuán eficiente ha sido el proceso de combustión. En algunos casos la ceniza es utilizada como abono, aislante, o simplemente para ser mezclada con el concreto.

El poder calorífico es la energía que se obtiene de la biomasa por unidad de masa. El poder calorífico está estrechamente relacionado con la cantidad de humedad, es decir a mayor humedad menor será el poder calorífico liberado, porque una parte de calor liberado será usado para evaporar el agua y con esto se disminuye la eficiencia de la combustión.

La densidad aparente se define como la masa por unidad de volumen. Un combustible con alta densidad aparente es más pequeño y su masa es mayor, gracias a esto se demora más en combustionarse por completo, en cambio un combustible con baja densidad aparente requiere más espacio para su transporte y almacenamiento, además al tener menor masa se combustiona rápidamente. La recolección, transporte y manejo de biomasa es un factor importante para reducir costos y tiempo en el transporte, la distancia entre la fuente de biomasa y la planta de procesamiento de biomasa debe ser lo más corta con el fin de optimizar recursos.

#### **2.4.4 El poder calorífico de la biomasa**

El poder calorífico es el calor que entrega un kilogramo de combustible al producirse una reacción química de oxidación completa. Se distinguen dos tipos. El poder calorífico superior es el calor desprendido en la combustión, en el cual se aprovecha la energía de condensación del agua, en cambio, el poder calorífico inferior no aprovecha ésta energía. Por consiguiente, el poder calorífico superior es mayor que el poder calorífico inferior ya que genera más calor con la misma cantidad de calor. El poder calorífico inferior es el que interesa en las distintas aplicaciones industriales como turbinas,

hornos, calderas, donde los gases de combustión salen a elevadas temperaturas y el vapor no se condensa.

**Tabla 1**

**Contenido energético de biomasa residual seca**

	P.C.I. a humedad x (%) (KJ/Kg)					
	X	P.C.I.	X	P.C.I.	x	P.C.I.
Leñas y ramas	0,00	19.353	20,00	15.006	40,00	10.659
Serrines y virutas	0,00	19.069	15,00	15.842	35,00	11.537
Orujillo de oliva	0,00	18.839	15,00	15.800	35,00	11.746
Cáscara de almendra	0,00	18.559	10,00	16.469	15,00	15.424
Cortezas						
Coníferas	0,00	19.437	20,00	15.257	40,00	11.077
Fronosas	0,00	18.225	20,00	14.087	40,00	9.948
Poda de frutales	0,00	17.890	20,00	13.836	40,00	9.781
	0,00	17.138	10,00	15.173	20,00	
Paja de cereales	30,00	11.286	-	-	-	13.209
Vid						
Sarmientos	0,00	17.765	20,00	13.710	40,00	9.656
Ramilla de uva	0,00	17.263	25,00	13.331	50,00	7.399
Orujo de uva	0,00	18.894	25,00	13.543	50,00	8.193

**Fuente:** (Damien, 2010)

## 2.4.5 Tipos de combustión

### 2.4.5.1. Combustión completa

Se produce cuando el combustible se oxida por completo. En los gases de combustión no existen sustancias combustibles.

### 2.4.5.2. Combustión incompleta

Se produce cuando el combustible no se oxida por completo, debido a la falta de aire. En los gases de combustión existen sustancias combustibles.

### 2.4.5.3. Combustión estequiométrica o teórica

Es la combustión que necesita la mínima cantidad de aire para que no existan sustancias combustibles en los gases de combustión.

### 2.4.5.4. Combustión con exceso de aire

Aquí se utiliza una cantidad mínima de aire superior a la necesaria. En los gases de combustión existe cierta cantidad de oxígeno. El objetivo de utilizar más aire que el requerido es garantizar la combustión completa sin presencia de inquemados.

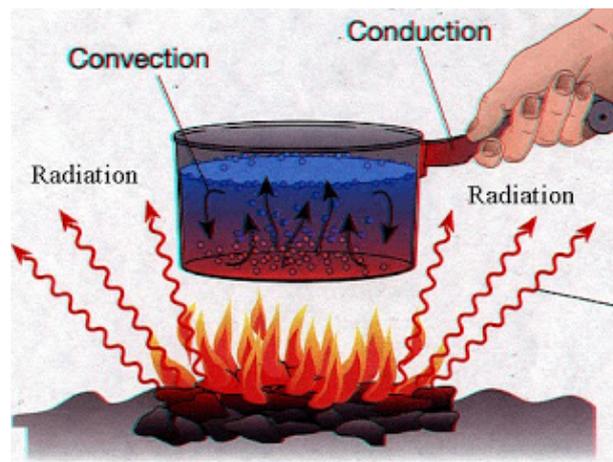
#### 2.4.5.5. Combustión con defecto de aire o rica

Este tipo de combustión a diferencia de la anterior utiliza una cantidad mínima de aire inferior a la necesaria. En los gases de combustión no existe oxígeno y hay la presencia de sustancias combustibles.

En la caldera/cocina existe una combustión con un exceso de aire de un 20% para garantizar una combustión completa, esto se lograra por medio del cálculo y dimensionamiento de la entrada de aire y combustible.

#### 2.5 Transferencia de calor por combustión

Al combustionar cualquier tipo de biomasa la energía liberada por dicha combustión es transferida mediante los siguientes métodos: radiación, conducción, convección. En la figura 20 se muestra un ejemplo.



**Figura 20. Transferencia de calor por combustión**  
Fuente: (Carmona, 2013)

La Caldera/cocina está guiada a aprovechar la mayor cantidad de calor emitido por la combustión de biomasa, debido a esto la cámara de combustión está diseñada para poder transferir de forma eficiente los tres tipos de transferencia de calor, tomando en cuenta que la flama optima emite radiación en un 80%, convección en un 10% y conducción en un 10%, es decir la eficiencia está enfocada en la forma de aprovechar la energía emitida teniendo siempre una buena combustión.

### **2.5.1 Radiación**

La radiación es una forma de energía electromagnética que es perceptible hasta que es absorbida por una superficie, esta se emite en todas direcciones, la intensidad del calor radiante es inversamente proporcional a la distancia sabiendo que la temperatura de la llama está aproximadamente en los 800°C, la transferencia de calor por radiación en la combustión de biomasa es de un 80% aproximadamente, por lo cual es muy importante tener una gran área de transferencia de calor por radiación ya que estas absorben la mayor cantidad de calor de la combustión.

En la caldera/cocina la radiación es aprovechada en la cámara de combustión obteniendo la mayor área de radiación posible, esto se consigue guiando las flamas por las paredes planas (cámara de agua) y por los tubos que contienen en su interior agua y servirán también como parrilla, para sostener la biomasa y la olla.

### **2.5.2 Conducción**

El movimiento de calor a través de materiales sólidos es la conducción, el calor fluye rápidamente por materiales que son buenos conductores como el acero, cobre, aluminio, etc. La conducción se da a partir de la primera transferencia de calor que es la radiación, es decir la primera superficie absorbe calor por radiación y luego este calor es transmitido por conducción, por lo que la transferencia de calor por conducción es aproximadamente de un 10%.

En la caldera/cocina la conducción es aprovechada en la cámara de combustión esto se consigue transfiriendo el calor de los leños combustionados a los tubos que contienen en su interior agua y sirven también como parrilla, para sostener leña.

### **2.5.3 Convección**

La transferencia de calor por el movimiento de un gas o un líquido es la convección, esta se da a partir del movimiento del aire caliente y gases de combustión que son desprendidos por la combustión de biomasa, aproximadamente para la madera estos están entre 300°C por lo que la transferencia de calor por convección es de un 10%.

#### **Convección libre**

Hablando de transferencia de calor por convección a medida que se calientan el aire tiende a subir y es remplazado por aire frío, este fenómeno se da por la diferencia de densidades entre el aire frío y caliente, a este tipo de transferencia de calor por flotación se lo conoce como convección libre o natural.

#### **Convección forzada**

En cambio si este flujo de aire es impulsado por un medio externo como un ventilador, la transferencia de calor se conoce como convección forzada o advección.

En la caldera/cocina esta transferencia es aprovechada en la cámara de cocción obteniendo la mayor cantidad de áreas de convección que sean posibles esto se consigue guiando los gases de combustión por las paredes planas (cámara de cocción) y por los tubos que contienen en su interior agua y sirven también como parrilla, para sostener la olla, además estos gases pasan por el ducto de la chimenea logrando un efecto de resistencia transfiriendo este calor a la cámara de secado.

La convección utilizada es de tiro natural ya que no utilizamos ningún dispositivo para acelerar la entrada de aire en la cámara de combustión,

debido a que por las condiciones donde esta será utilizada el recurso eléctrico es muy escaso o no existe.

## **2.6 Transferencia de calor en superficies extendidas**

Estas superficies extendidas son conocidas como aletas, y son utilizadas para aumentar la rapidez de transferencia de calor entre un sólido y un fluido contiguo. Existen aletas rectas de sección transversal uniforme, aletas rectas de sección transversal no uniforme, aletas anulares y aletas de agujas.

Es importante conocer el punto en el que las superficies extendidas pueden mejorar la transferencia de calor de una superficie al fluido circulante, ya que la aleta representa una resistencia de conducción para la transferencia de calor de la superficie original. Teniendo en cuenta esto, no hay seguridad de que la transferencia de calor aumente gracias al uso de aletas. Para tener una apreciación real se evalúa la efectividad de la aleta y con ello se selecciona el tipo y cantidad de aletas a utilizarse en el caso de ser necesario. Es importante el conocimiento de las superficies extendidas ya que estas serán utilizadas para mejorar la transferencia de calor en la cámara de secado.

## **2.7 Chimenea**

La chimenea es un conducto utilizado para evacuar gases calientes resultantes de una combustión en calderas, calentadores, estufas, fogones, u hogares al aire libre.

### **2.7.1 Efecto chimenea**

Es la diferencia de presión y temperatura de un fluido en dos puntos diferentes a la misma altura. Ésta diferencia es ocasionada por la densidad del fluido caliente en el interior de la chimenea y el fluido frío exterior que rodea la chimenea.

El tiro natural se produce por el denominado efecto chimenea, donde la densidad del fluido caliente es menor y por ello asciende por la chimenea al exterior, provocando así la succión del aire frío que tiene mayor densidad y desciende.

Por consiguiente, el tiro natural es más intenso mientras mayor altura tenga la chimenea y mayor sea la diferencia de temperaturas entre el aire exterior y los gases de combustión, considerando siempre una buena disposición en los conductos. Aquí se aplica el efecto de empuje de Arquímedes que sufren los gases calientes rodeados por otros fríos. Cabe recalcar que el efecto chimenea es independiente del caudal de gases

## 2.8 Salida de gases de combustión

Cuando la biomasa es quemada por completo se obtiene CO<sub>2</sub>, un gas de efecto invernadero, sin embargo cuando la quema es incompleta se obtienen aún más gases de efecto invernadero como el monóxido de carbono (CO), metano y óxido de nitrógeno (N<sub>2</sub>O) que contribuyen directamente al calentamiento global, por tal motivo es importante generar una buena combustión.

**Tabla 2**

### Emisiones contaminantes ligadas a Francia 2002

Emisiones Anuales (unidad)	SO <sub>2</sub> (kt)	NO <sub>x</sub> (kt)	CO (kt)	COV NM (kt)	CH <sub>4</sub> (kt)	HAP (t)	Dioxinas (g)	TSP polvo total (kt)
Sector residencial	6,1	15.3	1967.9	466.7	154.6	101	30.7	109.9
Sec. ind. y colectividades	0.8	3.4	5.5	0.1	0.1	0.2	0.9	1.9
Total madera	6.9	18.8	1973.4	466.8	154.7	101.2	31.5	111.7
Partes de la madera en las emisiones totales (%)	1	1.3	28	20	5.2	38	6.1	6.8

**Fuente:** (Damien, LA BIOMASA, 2010)

Los principales contaminantes son el monóxido de carbono, los compuestos orgánicos volátiles, el polvo y los hidrocarburos. El sector

doméstico es el que más contamina ya que no dispone de tratamiento de los humos emitidos por la combustión.

## **2.9 Salida de cenizas**

La ceniza es el producto que se obtiene de la combustión completa de algún material. Una parte de la ceniza se queda en forma de polvo en el lugar de la combustión y otra es expulsada al aire en forma de humo.

Es importante conocer el comportamiento de la ceniza obtenida en la quema de biomasa, para diseñar equipos más seguros y eficientes. Conocer su composición física y química permite predecir los depósitos que se formarán en la caldera, así mismo el potencial para causar corrosión, abrasión y erosión. La ceniza depende directamente del tipo de combustible, los desechos industriales y cultivos energéticos contienen un número elevado de minerales, lo que origina que la ceniza tenga un bajo punto de fusión y alto potencial corrosivo. Por tal motivo, es necesario limpiar constantemente el depósito de ceniza para evitar problemas en el equipo.

## **CAPÍTULO III**

### **DISEÑO**

#### **3.1 Diseño térmico**

##### **3.1.1 Parámetros de diseño**

El diseño del proyecto está enfocado en aprovechar de la forma más eficiente toda la energía liberada por la combustión de biomasa, y transferirla de tal manera que sea capaz de generar agua caliente sanitaria, cocinar alimentos, y brindar calefacción a una vivienda de 5 personas. Además, debe ser capaz de secar la biomasa antes de ser quemada.

Para el diseño se consideran las siguientes limitaciones: no existe servicio de energía eléctrica ni agua potable, por lo que se utilizará como combustible, biomasa de cualquier tipo existente en la zona, y agua obtenida de pozos, lluvia, etc.

Tomando en cuenta lo mencionado anteriormente, la caldera tendrá las siguientes características:

- Al ser una caldera de calefacción de baja presión acuotubular, no genera vapor, ya que la temperatura del agua no será mayor a 50°C, y está a presión atmosférica.
- La cámara de combustión tiene un lecho fluidizado circulante, para garantizar la eficiencia de combustión de biomasa en un 90%, además éste tipo de combustión permite utilizar biomasa hasta con un 60% de humedad, alcanzando temperaturas que oscilan entre los 800°C y 900°C, evitando así la producción de escoria por ceniza.
- La entrada de aire a la cámara de combustión es de tiro natural, que se obtiene gracias al efecto chimenea.
- La transferencia de calor se da por contacto indirecto, desde la cámara de combustión hacia el agua, originándose la conducción, convección y radiación, siendo ésta última la de mayor incidencia en el calentamiento, cocción y calefacción.

- La entrada de agua a la caldera será diseñada de dos maneras, la primera teniendo en cuenta la existencia de un sistema de flujo estable, y la segunda considerando un proceso de flujo no estacionario.
- Finalmente, la chimenea actúa como una resistencia eléctrica, ubicada en el interior de la cámara de secado de biomasa, que aprovecha el calor generado por los gases de combustión que se evacúan.
- Sabiendo que el proyecto está destinado a ser utilizado en la comunidad de Ozogoche, cantón Alausí, provincia de Chimborazo, ubicado a 2340 msnm, se toma en cuenta los siguientes parámetros de la zona para iniciar el diseño.

### **Temperatura inicial del agua**

$$T_1: 10 \quad [^{\circ}\text{C}]$$

### **Entalpía del agua a 10°C**

$$h_1: 42.022 \quad \left[ \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right]$$

### **Temperatura final del agua (requerida)**

$$T_2: 40 \quad [^{\circ}\text{C}]$$

### **Entalpía del agua a 40°C**

$$h_1: 42.022 \quad \left[ \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right]$$

### **Poder calorífico**

Utilizando un criterio conservador para el diseño, se considera al aserrín como combustible a utilizarse, tomando en cuenta que tiene el menor poder calorífico de todos los tipos de biomasa existente. De esta manera garantizamos el buen funcionamiento de la caldera con cualquier clase de combustible.

$$PCI_{\text{aserrín}}: 6 \quad \left[ \frac{\text{MJ}}{\text{kg}} \right]$$

### Volumen de agua

Considerando que se necesita agua caliente para 5 personas, y cada persona requiere 40 litros de agua para ducharse, el volumen total será de 200 litros, pero se asume que no todos los usuarios utilizarán la caldera al mismo tiempo, por lo que el diseño se estipula en 150 litros de agua.

$$V_{\text{agua}}: 0.150 \quad [\text{m}^3]$$

### Masa de agua

$$m_{\text{agua}}: 150 \quad [\text{kg}]$$

### 3.1.2 Balance de masa (agua)

Se calcula la cantidad de calor requerida para calentar 150 litros de agua, de 10°C a 40°C por medio de un balance de masa.

$$E_{\text{ent}} = E_{\text{sal}} \quad \text{Ec. 1}$$

$$m_1 * h_1 + Q = m_2 * h_2$$

$$Q = m_{\text{agua}} * (h_2 - h_1)$$

$$Q = 18.83 \quad [\text{MJ}]$$

### 3.1.3 Cantidad de biomasa para temperar agua

Con el calor obtenido anteriormente, se calcula la cantidad de biomasa requerida, para calentar dicho volumen de agua en las condiciones mencionadas.

$$m_{\text{aserrín}} = \frac{Q}{\text{PCI}_{\text{aserrín}}} \quad \text{Ec. 2}$$

$$m_{\text{aserrín}} = 3.14 \quad [\text{kg}]$$

### 3.1.4 Flujo de calor requerido para temperar agua

Se calcula el flujo de calor que se necesita para temperar el agua en un lapso de una hora.

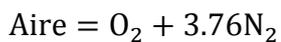
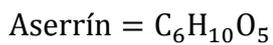
$$t = 3600 \quad [\text{s}]$$

$$\dot{Q}_{\text{agua}} = \frac{Q}{t} \quad \text{Ec. 3}$$

$$\dot{Q}_{\text{agua}} = 5.23 \quad [\text{kW}]$$

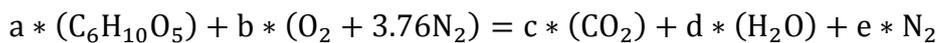
### 3.1.5 Reacción estequiométrica de la combustión del aserrín

#### Fórmula química del aserrín y del aire



#### 3.1.5.1 Reacción estequiométrica ideal

Se igualan los reactantes y productos en la ecuación estequiométrica, para calcular la relación aire combustible posteriormente.



$$a = 1$$

$$b = 6$$

$$c = 6$$

$$d = 5$$

$$e = 22.56$$

$$PM_{\text{aserrín}} = a * (6 * 12 + 10 * 1 + 5 * 16)$$

$$PM_{\text{aserrín}} = 162$$

$$PM_{\text{aire}} = b * (2 * 16 + 3.76 * 2 * 14)$$

$$PM_{\text{aire}} = 823.68$$

$$KG_{\text{aserrín}} = PM_{\text{aserrín}}$$

$$KG_{\text{aserrín}} = 162 \quad \left[ \frac{\text{kg}}{\text{mol}} \right]$$

$$KG_{\text{aire}} = PM_{\text{aire}}$$

$$PM_{\text{aire}} = 823.68 \quad \left[ \frac{\text{kg}}{\text{mol}} \right]$$

### 3.1.5.2 Relación aire combustible ideal

Se calcula la relación aire combustible ideal, asumiendo que existe una combustión completa.

$$AC_{\text{ideal}} = \frac{KG_{\text{aire}}}{KG_{\text{aserrín}}} \quad \text{Ec. 4}$$

$$AC_{\text{ideal}} = 5.08$$

### 3.1.5.3 Reacción estequiométrica real (20% de exceso de aire)

La reacción estequiométrica real de la combustión del aserrín tiene un 20% de exceso de aire, para garantizar una buena combustión, con éste porcentaje adicional se vuelve a igualar la reacción, para calcular la relación aire combustible real, que es la que se va a utilizar en la práctica.

$$X = 1.2$$



$$A = 1$$

$$B = 6$$

$$C = 5$$

$$D = 5$$

$$E = 1$$

$$F = 1.7$$

$$G = 27.072$$

$$KG_{\text{aire\_real}} = X * B * (2 * 16 + 3.76 * 2 * 14)$$

$$KG_{\text{aire\_real}} = 988.42 \quad \left[ \frac{\text{kg}}{\text{mol}} \right]$$

### 3.1.5.4 Relación aire combustible real (20% de exceso de aire)

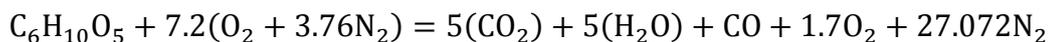
Se calcula la relación aire combustible real con un 20% de exceso de aire.

$$AC_{\text{real}} = \frac{KG_{\text{aire\_real}}}{KG_{\text{aserrín}}} \quad \text{Ec. 5}$$

$$AC_{\text{real}} = 6.10$$

### 3.1.6 Entalpía de formación del aserrín

Se calcula la entalpía de formación del aserrín, y con esto se determina la temperatura de la llama adiabática, utilizando la reacción estequiométrica de la combustión real del aserrín.



**Tabla 3**

#### Entalpía de formación del aserrín

Sustancia	Entalpía de formación	Entalpía a 283K (10°C)
<b>C<sub>6</sub>H<sub>10</sub>O<sub>5</sub></b>	hf C <sub>6</sub> H <sub>10</sub> O <sub>5</sub>	-
<b>O<sub>2</sub></b>	0	8238
<b>N<sub>2</sub></b>	0	8228
<b>H<sub>2</sub>O</b>	-241820	9050
<b>CO<sub>2</sub></b>	-393520	8807
<b>CO</b>	-110530	8228

Fuente: (Cengel, 2011)

$$H_R = \sum N_P * hf_P - \sum N_R * hf_R \quad \text{Ec. 6}$$

$$PCI = |H_R| \quad \text{Ec. 7}$$

$$H_R = PCI_{\text{aserrín}} * KG_{\text{aserrín}} \quad \text{Ec. 8}$$

$$H_R = 972000 \quad \left[ \frac{\text{kJ}}{\text{mol}} \right]$$

$$|H_R| = |5(-393520) + 5(-241820)| + (-110530) + 1.7(0) + 27.072(0) - hf_{C_6H_{10}O_5} - 7.2(0)$$

$$hf_{C_6H_{10}O_5} = -2315230 \quad \left[ \frac{\text{kJ}}{\text{mol}} \right]$$

### 3.1.7 Temperatura de flama adiabática

$$\sum N_P * (hf + h + h_{283})_P = \sum N_R * (hf_R)_{C_6H_{10}O_5} \quad \text{Ec. 9}$$

$$5CO_2[(-393520 + h_{CO_2} - 8807)CO_2] + 5H_2O[(-241820 + h_{H_2O} - 9050)H_2O] \\ + CO[(-110530 + h_{CO} - 8228)CO] + 1.7O_2[(0 + h_{O_2} - 8238)O_2] \\ + 27.072N_2[(0 + h_{N_2} - 8228)N_2] = C_6H_{10}O_5[(-2315230)C_6H_{10}O_5]$$

$$5h_{CO_2} + 5h_{H_2O} + h_{CO} + 1.7h_{O_2} + 27.072h_{N_2} = 1306266.016$$

$$h_{CO_2} + h_{H_2O} + h_{CO} + h_{O_2} + h_{N_2} = \frac{1306266.016}{5 + 5 + 1 + 1.7 + 27.072}$$

$$h_{CO_2} = h_{H_2O} = h_{CO} = h_{O_2} = h_{N_2} = 32843.86 \quad \left[ \frac{\text{kJ}}{\text{mol}} \right]$$

$$h_{CO_2} = 32843.86 \quad \left[ \frac{\text{kJ}}{\text{mol}} \right]$$

$$TCO_2 = 539.89 \quad [^{\circ}\text{C}]$$

$$h_{H_2O} = 32843.86 \quad \left[ \frac{\text{kJ}}{\text{mol}} \right]$$

$$TH_2O = 652.33 \quad [^{\circ}\text{C}]$$

$$h_{CO} = 32843.86 \quad \left[ \frac{\text{kJ}}{\text{mol}} \right]$$

$$TCO = 801 \quad [^{\circ}\text{C}]$$

$$h_{O_2} = 32843.86 \quad \left[ \frac{\text{kJ}}{\text{mol}} \right]$$

$$TO_2 = 769 \quad [^{\circ}\text{C}]$$

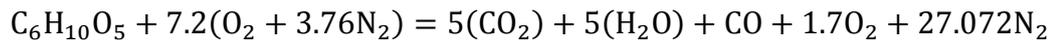
$$h_{N_2} = 32843.86 \quad \left[ \frac{\text{kJ}}{\text{mol}} \right]$$

$$T_{N_2} = 809 \quad [^{\circ}\text{C}]$$

Con la entalpía del producto de combustión nitrógeno se obtiene la mayor temperatura de llama adiabática, siendo esta 809°C que será utilizada para futuros cálculos.

### 3.1.8 Masa de productos de gases de combustión

Se calcula el porcentaje de gases de combustión en los productos de la reacción estequiométrica real, para saber qué cantidad de gases genera la combustión, y poder dimensionar la cámara de convección y chimenea, tomando en cuenta que se queman 3.138 Kg de aserrín en una hora. La cantidad de combustible quemada por segundo es 0.000871, con esto se obtiene la cantidad de masa de gases de combustión que se detalla en la tabla 4.



### Peso molecular de los productos

$$PM\ CO_2 = 5(12 + 2 * 16)$$

$$PM\ CO_2 = 220 \quad \left[ \frac{\text{kg}}{\text{mol}} \right]$$

$$PM\ H_2O = 5(2 * 1 + 16)$$

$$PM\ H_2O = 90 \quad \left[ \frac{\text{kg}}{\text{mol}} \right]$$

$$PM\ CO = 12 + 16$$

$$PM\ CO = 28 \quad \left[ \frac{\text{kg}}{\text{mol}} \right]$$

$$PM\ O_2 = 2 * 1.7 * 16$$

$$PM\ O_2 = 54.4 \quad \left[ \frac{\text{kg}}{\text{mol}} \right]$$

$$PM\ N_2 = 27.072 * 2 * 14$$

$$PM N_2 = 758.016 \quad \left[ \frac{\text{kg}}{\text{mol}} \right]$$

$$PM C_6H_{10}O_5 = 162 \quad \left[ \frac{\text{kg}}{\text{mol}} \right]$$

### Porcentaje de gases de combustión de los productos

$$CO_2 = \frac{PM CO_2}{PM C_6H_{10}O_5}$$

$$CO_2 = 1.36 \quad [\%]$$

$$H_2O = \frac{PM H_2O}{PM C_6H_{10}O_5}$$

$$H_2O = 0.56 \quad [\%]$$

$$CO = \frac{PM CO}{PM C_6H_{10}O_5}$$

$$CO = 0.17 \quad [\%]$$

$$O_2 = \frac{PM O_2}{PM C_6H_{10}O_5}$$

$$O_2 = 0.34 \quad [\%]$$

$$N_2 = \frac{PM N_2}{PM C_6H_{10}O_5}$$

$$N_2 = 4.68 \quad [\%]$$

**Tabla 4**

### Masa de los gases de combustión

Sustancia	Peso [kg/mol] 20% exceso de aire	Entalpía a 283K (10°C)
CO <sub>2</sub>	1.36	0.001182
H <sub>2</sub> O	0.56	0.000478
CO	0.17	0.00015024
O <sub>2</sub>	0.34	0.0002869
N <sub>2</sub>	4.68	0.004069
<b>TOTAL</b>		0.0061

$$m_{gcps} = 0.00616614 \quad \left[ \frac{\text{kg}}{\text{s}} \right]$$

### Masa total de gases de combustión

$$m_{gases} = m_{gcps} * t \quad \text{Ec. 10}$$

$$m_{gases} = 22.20 \quad [\text{kg}]$$

## 3.2 Dimensionamiento

### 3.2.1 Cámara de combustión

Se calcula la cantidad de masa de aire necesario para la combustión, utilizando la relación aire combustible obtenida anteriormente.

$$m_{aire} = AC_{ideal} * m_{aserrín}$$

$$m_{aire} = 19.14 \quad [\text{kg}]$$

A continuación se calcula el volumen total que ocupa la biomasa y el aire en el proceso de combustión, para obtener las dimensiones de la cámara de combustión.

### Volumen del aire

$$\rho_{aire} = 1.25 \quad \left[ \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right] \quad T = 10 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

$$V_{aire} = \frac{m_{aire}}{\rho_{aire}} \quad \text{Ec. 11}$$

$$V_{aire} = 15.32 \quad [\text{m}^3]$$

### Caudal del aire

$$C_{aire} = \frac{V_{aire}}{t} \quad \text{Ec. 12}$$

$$C_{aire} = 0.004 \quad \left[ \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right]$$

### Volumen del aserrín

$$V_{\text{aserrín}} = \frac{m_{\text{aserrín}}}{\rho_{\text{aserrín}}} \quad \text{Ec. 13}$$

$$V_{\text{aserrín}} = 0.018 \quad [\text{m}^3]$$

### Volumen total

$$V_{\text{total}} = V_{\text{aserrín}} + \frac{V_{\text{aire}}}{3600} \quad \text{Ec. 14}$$

$$V_{\text{total}} = 0.023 \quad [\text{m}^3]$$

Obtenido el volumen total de la cámara de combustión, y asumiendo que la base de ésta cámara es de 0.30m x 0.30m se calcula la altura necesaria así:

$$L_1 = 0.3 \quad [\text{m}]$$

$$L_2 = 0.3 \quad [\text{m}]$$

$$H = \frac{V_{\text{total}}}{L_1 * L_2} \quad \text{Ec. 15}$$

$$H = 0.25 \quad [\text{m}]$$

Para facilitar el ingreso de cualquier tipo de biomasa, se asume una altura de 0.50m.

### 3.2.2 Cámara de convección

A continuación se calcula el volumen total que ocupan los gases de combustión, para obtener las dimensiones de la cámara de convección.

$$m_{\text{gases}} = 22.20 \quad [\text{kg}]$$

$$\rho_{\text{gases}} = 0.302 \quad \left[ \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right] \quad T = 340 \quad [^{\circ}\text{C}]$$

### Volumen de gases de combustión

$$V_{\text{gases}} = \frac{m_{\text{gases}}}{\rho_{\text{gases}}} \quad \text{Ec. 16}$$

$$V_{\text{gases}} = 73.50 \quad [\text{m}^3]$$

### Caudal de gases de combustión

$$C_{\text{gases}} = \frac{V_{\text{gases}}}{t} \quad \text{Ec. 17}$$

$$C_{\text{gases}} = 0.02 \quad \left[ \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right]$$

Obtenido el volumen total de la cámara de convección y, asumiendo que la base de ésta cámara es de 0.30m x 0.30m se calcula la altura necesaria así:

$$L_{c1} = 0.3 \quad [\text{m}]$$

$$L_{c2} = 0.3 \quad [\text{m}]$$

$$H_c = \frac{V_{\text{total}}}{L_{c1} * L_{c2}} \quad \text{Ec. 18}$$

$$H_c = 0.23 \quad [\text{m}]$$

Para facilitar el ingreso de la olla, se asume una altura de 0.30m.

### 3.2.3 Chimenea

Con el volumen de gases calculado anteriormente, se dimensiona el diámetro de la chimenea, para la correcta evacuación de gases, asumiendo que la velocidad de estos es de 5 m/s.

$$v_{\text{gases}} = 5 \quad \left[ \frac{\text{m}}{\text{s}} \right]$$

$$A_{\text{gases}} = \frac{C_{\text{gases}}}{v_{\text{gases}}} \quad \text{Ec. 19}$$

$$A_{\text{gases}} = 0.004 \quad [\text{m}^2]$$

$$\phi_{\text{chimenea}} = \sqrt{\frac{4 \cdot A_{\text{gases}}}{\pi}} \quad \text{Ec. 20}$$

$$\phi_{\text{chimenea}} = 0.072 \quad [\text{m}]$$

Por facilidad de construcción y para garantizar la correcta evacuación de los gases de combustión, se coloca una chimenea de 5 pulgadas (0.127m) de diámetro.

### Altura de la chimenea

Para determinar la altura de la chimenea se utiliza el análisis de flujo de fluidos a régimen permanente, porque la caldera opera a la presión atmosférica y con tiro natural.

$$\frac{P_A}{\gamma_A} + Z_A + \frac{v_A^2}{2 \cdot g} = \frac{P_B}{\gamma_B} + Z_B + \frac{v_B^2}{2 \cdot g} \quad \text{Ec. 21}$$

$$\rho_A \cdot g \cdot h_A = \rho_B \cdot g \cdot h_B + \rho_B \cdot \frac{v_B^2}{2}$$

$$\rho_1 = 0.87 \quad \left[ \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right] \quad T = 15 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

$$g = 9.81 \quad \left[ \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right]$$

$$h_1 = 0.25 \quad [\text{m}]$$

$$\rho_2 = 0.302 \quad \left[ \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right] \quad T = 340 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

$$v_2 = 5 \quad \left[ \frac{\text{m}}{\text{s}} \right]$$

$$h_2 = \frac{\rho_1 \cdot g \cdot h_1}{\rho_2 \cdot g}$$

$$h_2 = 1.99 \quad [\text{m}]$$

### 3.2.4 Entrada de aire a la cámara de combustión

Primero se calcula la velocidad de ingreso del aire a la cámara de combustión, utilizando la ecuación de Bernoulli.

$$\frac{P_A}{\gamma_A} + Z_A + \frac{v_A^2}{2 * g} = \frac{P_B}{\gamma_B} + Z_B + \frac{v_B^2}{2 * g}$$

$$Z_A = \frac{v_B^2}{2 * g}$$

$$Z_A = 0.10 \quad [m]$$

$$v_B = \sqrt{2 * g * Z_A}$$

$$v_B = 1.40 \quad \left[ \frac{m}{s} \right]$$

Conociendo la velocidad y el caudal del aire, se calcula el área necesaria para el ingreso del fluido a la cámara de combustión.

$$A_{\text{aire}} = \frac{C_{\text{aire}}}{v_B} \quad \text{Ec. 22}$$

$$A_{\text{aire}} = 0.003 \quad [m^2]$$

$$L_a = \sqrt{A_{\text{aire}}} \quad \text{Ec. 23}$$

$$L_a = 0.055 \quad [m]$$

Para garantizar el ingreso necesario del aire, la entrada tiene 0.05m x 0.25m. Además se coloca una puerta que regula la cantidad de aire que ingresa a la cámara. Evitando así el exceso o falta de aire.

### 3.2.5 Cámara de agua

Antes de establecer las medidas de la cámara de agua, es necesario conocer el volumen de los distintos componentes de la caldera como son: cámara de combustión, convección, entradas de biomasa, olla, aire y tubos, que ocupan espacio útil en el interior de la caldera.

### Volumen de la cámara de combustión y convección

$$L_c = 0.30 \quad [m]$$

$$A_c = 0.30 \quad [m]$$

$$H_c = 0.95 \quad [m]$$

$$V_{cc} = L_c * A_c * H_c \quad \text{Ec. 24}$$

$$V_{cc} = 0.086 \quad [m^3]$$

### Volumen de la entrada de biomasa

$$L_{eb} = 0.10 \quad [m]$$

$$A_{eb} = 0.30 \quad [m]$$

$$H_{eb} = 0.20 \quad [m]$$

$$V_{eb} = L_{eb} * A_{eb} * H_{eb} \quad \text{Ec. 25}$$

$$V_{eb} = 0.006 \quad [m^3]$$

### Volumen de la entrada de olla

$$L_{eo} = 0.10 \quad [m]$$

$$A_{eo} = 0.30 \quad [m]$$

$$H_{eo} = 0.30 \quad [m]$$

$$V_{eo} = L_{eo} * A_{eo} * H_{eo} \quad \text{Ec. 26}$$

$$V_{eo} = 0.009 \quad [m^3]$$

### Volumen de la chimenea sumergida en agua

$$H_{ch} = 0.20 \quad [m]$$

$$\emptyset_{ch} = 0.3 \quad [m]$$

$$A_b = \frac{\pi}{4} * \phi_{ch}^2 \quad [m^2] \quad \text{Ec. 27}$$

$$A_b = 0.013 \quad [m^2]$$

$$V_{ech} = A_b * H_{ch} \quad \text{Ec. 28}$$

$$V_{ech} = 0.001 \quad [m^3]$$

### Volumen de la entrada de aire

$$L_{ea1} = 0.05 \quad [m]$$

$$A_{ea1} = 0.25 \quad [m^2]$$

$$H_{ea1} = 0.15 \quad [m]$$

$$V_{ea1} = L_{ea1} * A_{ea1} * H_{ea1} \quad \text{Ec. 29}$$

$$V_{eo} = 0.002 \quad [m^3]$$

### Volumen interno total

$$V_{interno} = V_{cc} + V_{eb} + V_{eo} + V_{ech} + V_{ea1} \quad \text{Ec. 30}$$

$$V_{interno} = 0.104 \quad [m^3]$$

### Volumen interno de tubos

Se utiliza tubos para fusas A53 sin costura de 1 pulgada, ya que son atacados directamente por la flama producida en la combustión.

$$\phi_t = 0.0272 \quad [m]$$

$$L_{ta} = 0.30 \quad [m]$$

$$V_{tagua} = 10 * \frac{\pi}{4} * \phi_t^2 * L_{ta} \quad \text{Ec. 31}$$

$$V_{tagua} = 0.002 \quad [m^3]$$

### Volumen interno del conducto rectangular

$$L_{cr} = 0.30 \quad [m]$$

$$A_{cr} = 0.05 \quad [m]$$

$$H_{cr} = 0.10 \quad [m]$$

$$V_{cr} = L_{cr} * A_{cr} * H_{cr} \quad \text{Ec. 32}$$

$$V_{cr} = 0.002 \quad [m^3]$$

### Volumen total de la cámara de agua

$$V_{cagua} = 0.15 + V_{interno} - V_{tagua} - V_{cr} \quad \text{Ec. 33}$$

$$V_{cagua} = 0.25 \quad [m^3]$$

Una vez obtenido el volumen total de la cámara de agua y, asumiendo que la base de ésta cámara es de 0.50m x 0.50m se calcula la altura necesaria así:

$$L_{ca} = 0.5 \quad [m]$$

$$A_{ca} = 0.5 \quad [m]$$

$$H = \frac{V_{cagua}}{L_{ca} * A_{ca}} \quad \text{Ec. 34}$$

$$H = 1.004 \quad [m]$$

Por facilidad de construcción la altura de la cámara de agua es de 1.00m

### 3.2.6 Cámara de secado

Teniendo en cuenta que la cámara de agua tiene una base de 0.50 x 0.50 m., y que la cámara de secado va a estar en la parte superior de la misma, se adopta las mismas medidas de la base, y la altura se obtiene dependiendo del volumen requerido para el secado y de la distancia máxima

a ser aprovechada en el ducto de la chimenea, que está en el interior de la vivienda. Por lo tanto las medidas finales son:

$$\begin{aligned}
 L_{CS} &= 0.50 && [m] \\
 A_{CS} &= 0.50 && [m] \\
 H_{CSR} &= 0.50 && [m] \\
 \mathbf{V_{CS}} &= \mathbf{L_{CS} * A_{CS} * H_{CS}} && \text{Ec. 35} \\
 V_{CS} &= 0.125 && [m^3]
 \end{aligned}$$

### 3.2.7 Aletas

Para aumentar la rapidez de la transferencia de calor entre la chimenea y el fluido contiguo alojado en la cámara de secado, se colocan aletas distribuidas de tal manera que aumente de forma eficiente el calor para el secado de la madera. Mediante el siguiente análisis se determina la longitud efectiva de las aletas anulares de sección transversal uniforme a colocarse, siguiendo el orden indicado a continuación:

- Primero se determina la distribución de temperaturas a lo largo de la aleta.
- Segundo se calcula el largo de la aleta.
- Sujeto a la posición de una aleta infinitamente larga, las distribuciones de temperatura se determinan con la siguiente ecuación:

$$\begin{aligned}
 \frac{\theta}{\theta_b} &= e^{-mx} \\
 \theta &= T - T_{\infty} \\
 \theta_b &= T_b - T_{\infty} \\
 \mathbf{T} &= \mathbf{T_{\infty} + (T_b - T_{\infty}) * e^{-mx}} && \text{Ec. 36}
 \end{aligned}$$

Tabla 5

## Distribución de temperatura en la aleta

Longitud aleta (m)	Temperatura aleta (°C)
1.95313E-05	189.81
3.90625E-05	189.63
0.000078125	189.25
0.00015625	188.51
0.0003125	187.03
0.000625	184.12
0.00125	178.42
0.0025	167.59
0.005	147.97
0.01	115.76
0.02	72.14
0.03	46.51
0.04	31.45
0.05	22.60
0.06	17.41
0.07	14.35
0.08	12.56
0.09	11.50
0.10	10.88
0.11	10.52
0.12	10.30

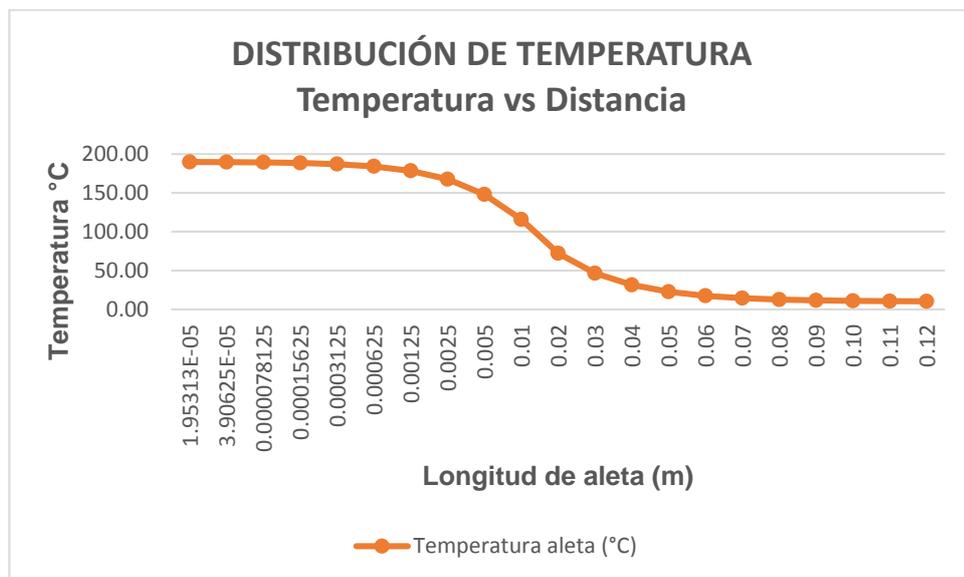


Figura 71. Distribución de temperatura

De estas distribuciones de temperatura es evidente que hay poca transferencia de calor adicional asociada con la extensión de la longitud de la aleta, mucho más allá de 0.12m, por lo que la aleta debe tener como máximo dicha longitud.

### **3.2.8 Entradas y salidas de agua**

La alimentación manual de agua se lo hará a través de un embudo, conectado a una tubería de 2 pulgadas, para facilitar el ingreso rápido del fluido. Para que el agua pueda salir de la caldera por medio de la gravedad, existe una diferencia de alturas entre la entrada y salida, ésta última es evacuará el agua por una tubería de media pulgada.

La alimentación por flujo estable se lo hará a través de una tubería de media pulgada, ubicada en la parte superior de la caldera. La tubería de evacuación de agua está ubicada a la misma altura y tiene el mismo diámetro que la entrada.

Los ductos de evacuación del agua caliente se encuentran en la parte superior, con la finalidad de extraer el agua que tiene mayor temperatura debido al efecto sifón.

### **3.2.9 Ingreso de biomasa y olla**

El ingreso de biomasa ubicado en la cámara de combustión es de 0.30m x 0.20m, para facilitar la alimentación del combustible a utilizar.

Así mismo el ingreso de la olla ubicada en la cámara de convección es de 0.30m x 0.30m, de esta manera se facilita la manipulación de la olla destinada a la cocción.

### **3.2.10 Cenicero**

Se encuentra ubicado en la parte inferior de la caldera, y está diseñado para facilitar la recolección y limpieza de la ceniza. Las dimensiones son 0.50 x 0.50 x 0.20 metros.

### **3.2.11 Nivel de agua**

Para controlar la cantidad de agua que ingresa a la caldera/cocina se coloca un nivel de agua entre la cámara de secado y de agua de esta

manera se asegura que el usuario no exceda ni limite la cantidad de líquido ingresado.

### 3.2.12 Termómetro

Para conocer la temperatura del líquido se coloca un termómetro en la cámara de agua de esta manera el usuario puede aumentar o dejar de alimentar la cámara de combustión y obtener la temperatura q desee aunque cabe recalcar que la temperatura adecuada para ducharse es de aproximadamente de 40°C.

## 3.3 Análisis de transferencia de calor

### 3.3.1 Determinación de áreas de transferencia de calor

La energía liberada en la combustión de biomasa se transfiere por: radiación, conducción y convección, distribuidas de la siguiente manera:

#### 3.3.1.1 Radiación

El área de radiación se distribuye en tres partes como son: cámara de combustión, entrada de biomasa y tubos superiores.

#### Área de radiación en las paredes de la cámara de combustión

$$L_{r1} = 0.50 \quad [m]$$

$$L_{r2} = 0.30 \quad [m]$$

$$A_{rp} = 4 * L_{r1} * L_{r2} \quad \text{Ec. 37}$$

$$A_{rp} = 0.60 \quad [m^2]$$

#### Área de radiación en la puerta de entrada de biomasa

$$L_{e1} = 0.30 \quad [m]$$

$$L_{e2} = 0.20 \quad [m]$$

$$A_{reb} = L_{e1} * L_{e2} \quad \text{Ec. 38}$$

$$A_{reb} = 0.06 \quad [m^2]$$

### Área total de radiación en las paredes de la cámara de combustión

Comprende toda la cámara de combustión, excepto la entrada de biomasa, la cual no transfiere calor hacia el agua, pero sí al exterior para brindar la calefacción.

$$A_{rtp} = A_{rp} - A_{eb} \quad \text{Ec. 39}$$

$$A_{rtp} = 0.30 \quad [m^2]$$

### Área de radiación en los tubos superiores de la cámara de combustión

$$L_t = 0.30 \quad [m]$$

$$\phi_{rt} = 0.0335 \quad [m]$$

$$A_{rt} = 5 * \pi * \phi_{rt} * L_t \quad \text{Ec. 40}$$

$$A_{rt} = 0.158 \quad [m^2]$$

### Área de radiación total en los tubos superiores, cámara de combustión y entrada de biomasa

$$A_{RT} = A_{rtp} + A_{reb} + A_{rt} \quad \text{Ec. 41}$$

$$A_{RT} = 0.518 \quad [m^2]$$

#### 3.3.1.2 Conducción

El área de conducción se da únicamente en los tubos inferiores.

### Área de conducción en los tubos inferiores de la cámara de combustión

$$\phi_{ct} = 0.0335 \quad [m]$$

$$A_{ct} = 5 * \pi * \phi_{rt} * L_t \quad \text{Ec. 42}$$

$$A_{ct} = 0.158 \quad [m^2]$$

### 3.3.1.3 Convección

El área de convección que recibe la energía liberada por la biomasa se distribuye en tres partes como son: cámara de cocción, entrada de olla y chimenea. Por otro lado entre el agua y las paredes externas existe otra área de convección.

#### Área de convección en las paredes de la cámara de cocción

$$L_{cv1} = 0.30 \quad [m]$$

$$L_{cv2} = 0.30 \quad [m]$$

$$A_{cv} = 4 * L_{cv1} * L_{cv2} \quad \text{Ec. 43}$$

$$A_{cv} = 0.36 \quad [m^2]$$

#### Área de convección en la pared superior de la cámara de cocción

Primero se calcula el área de la pared superior

$$L_{cvt1} = 0.30 \quad [m]$$

$$L_{cvt2} = 0.30 \quad [m]$$

$$A_{cvt} = L_{cvt1} * L_{cvt2} \quad \text{Ec. 44}$$

$$A_{cvt} = 0.09 \quad [m^2]$$

Luego se calcula el área del orificio de la chimenea que va a estar conectada con la pared superior.

$$\phi_h = 0.127 \quad [m]$$

$$A_h = \frac{\pi}{4} * \phi_h^2 \quad \text{Ec. 45}$$

$$A_h = 0.013 \quad [m^2]$$

$$A_{cvT} = A_{cvt} - A_h \quad \text{Ec. 46}$$

$$A_{cvT} = 0.077 \quad [m^2]$$

### Área de convección en la puerta de entrada de olla

$$L_{eo1} = 0.30 \quad [m]$$

$$L_{eo2} = 0.30 \quad [m]$$

$$A_{ceo} = L_{eo1} * L_{eo2} \quad \text{Ec. 47}$$

$$A_{ceo} = 0.09 \quad [m^2]$$

### Área de convección de la chimenea

Aquí se calcula el área de la chimenea que va a estar sumergida en el agua.

$$\varnothing_{ch1} = 0.094 \quad [m]$$

$$L_{ch} = 0.20 \quad [m]$$

$$A_{ch} = \pi * \varnothing_{ch1} * L_{ch} \quad \text{Ec. 48}$$

$$A_{ch} = 0.059 \quad [m^2]$$

### Área total de convección en la cámara de cocción

$$A_{tcv} = A_{cv} + A_{cvT} + A_{ch} - A_{eo} \quad \text{Ec. 49}$$

$$A_{tcv} = 0.194 \quad [m^2]$$

### Área de convección de las paredes externas en contacto con el agua

$$L_{ca1} = 0.50 \quad [m]$$

$$L_{ca2} = 1 \quad [m]$$

$$A_{cvt} = 4 * L_{ca1} * L_{ca2} \quad \text{Ec. 50}$$

$$A_{cvt} = 2 \quad [m^2]$$

En el área calculada se resta el área de entrada de biomasa y olla.

$$A_{cta} = A_{cvt} - A_{reb} - A_{ceo} \quad \text{Ec. 51}$$

$$A_{cta} = 1.85 \quad [m^2]$$

### 3.3.1.4 Aletas

#### Área de conducción y convección en aletas anulares

$$r_{1st} = 0.13 \quad [m]$$

$$r_{2st} = 0.16 \quad [m]$$

$$l_{1.2} = 0.03 \quad [m]$$

$$t_a = 0.003 \quad [m]$$

$$w = 0.15 \quad [m]$$

$$H_{ch} = 0.50 \quad [m]$$

$$N = 8$$

$$r_{2c} = r_{2st} + \frac{t_a}{2}$$

$$r_{2c} = 0.17 \quad [m]$$

#### Área de sección transversal

$$A_c = t_a * w \quad \text{Ec. 52}$$

$$A_c = 0.00045 \quad [m^2]$$

#### Área superficial

$$A_f = 2 * \pi * (r_{2c}^2 - r_{1st}^2) \quad \text{Ec. 53}$$

$$A_f = 0.7 \quad [m^2]$$

### Área superficial total

$$A_{st} = N * A_f + 2 * \pi * r_{1st} (H_{ch} - N_{ta}) \quad \text{Ec. 54}$$

$$A_{st} = 0.94 \quad [m^2]$$

#### 3.3.1.5 Cámara de secado

##### Área de sección transversal de entrada de aire

$$\emptyset_{eacs} = 0.01 \quad [m]$$

$$n_{oeacs} = 5$$

$$l_{reacs} = 0.25 \quad [m]$$

$$a_{reacs} = 0.05 \quad [m]$$

$$A_{steacs} = \frac{\pi}{4} * \emptyset_{eacs}^2 * n_{oeacs} + l_{reacs} * a_{reacs} \quad \text{Ec. 55}$$

$$A_{steacs} = 0.013 \quad [m^2]$$

### 3.3.2 Transferencia de calor

El flujo de energía liberada por la llama adiabática se transfiere en un 80% por radiación, 10% por conducción y 10% por convección, así:

$$\dot{Q}_{agua} = 5.23 \quad [kW] \quad 100\%$$

$$q_{radiación} = 0.8 * \dot{Q}_{agua} \quad \text{Ec. 56}$$

$$q_{radiación} = 4.184 \quad [kW] \quad 80\%$$

$$q_{convección} = 0.1 * \dot{Q}_{agua} \quad \text{Ec. 57}$$

$$q_{convección} = 0.523 \quad [kW] \quad 10\%$$

$$q_{conducción} = 0.1 * \dot{Q}_{agua} \quad \text{Ec. 58}$$

$$q_{conducción} = 0.523 \quad [kW] \quad 10\%$$

### 3.3.2.1 Radiación

La transferencia de calor por radiación es la más importante, ya que la flama radiante emite el 80% de la energía liberada en la combustión. La radiación incide directamente a la olla.

La radiación es proporcional al área de transferencia y se distribuye de la siguiente manera: paredes (58%), tubos superiores (30%) y entrada de biomasa (12%)

$$A_{RT} = A_{rtp} + A_{reb} + A_{rt} \quad \text{Ec. 59}$$

$$A_{RT} = 0.518 \text{ [m}^2\text{]} \quad 100\% \quad q_{\text{radiación}} = 4.184 \quad \text{[kW]}$$

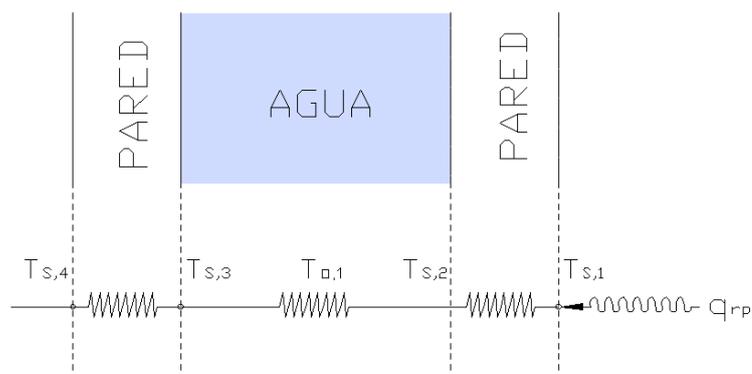
$$A_{rtp} = 0.30 \text{ [m}^2\text{]} \quad 58\% \quad q_{rp} = q_{\text{radiación}} * 0.58 = 2.426 \text{ [kW]} \quad \text{Ec. 60}$$

$$A_{rt} = 0.158 \text{ [m}^2\text{]} \quad 30\% \quad q_{rt} = q_{\text{radiación}} * 0.30 = 1.255 \text{ [kW]} \quad \text{Ec. 61}$$

$$A_{reb} = 0.06 \text{ [m}^2\text{]} \quad 12\% \quad q_{reb} = q_{\text{radiación}} * 0.12 = 0.502 \text{ [kW]} \quad \text{Ec. 62}$$

### Transferencia de calor por radiación en las paredes de la cámara de combustión

En la combustión, la temperatura de la flama adiabática es de 809°C en el punto más alto, pero la cámara de combustión adquiere de un 10 - 40% de esa temperatura que no es constante, para el diseño conservador se considera que la cámara de combustión tiene una temperatura de 90°C, que es la más baja en este flujo de calor.



**Figura 22. Transferencia de calor por radiación**  
**Temperatura interior de la pared de la cámara de combustión**

$$T_{s,1} = 90 \quad [^{\circ}\text{C}]$$

$$L = 0.003 \quad [\text{m}]$$

$$k = 63.22 \quad \left[ \frac{\text{W}}{\text{m}\cdot\text{K}} \right]$$

### Temperatura exterior de la pared de la cámara de combustión

$$q_{rp} = \frac{T_{s,1} - T_{s,2}}{\frac{L}{K * A_{rtp}}}$$

$$T_{s,2} = T_{s,1} - q_{rp} * 1000 * \frac{L}{K * A_{rtp}} \quad \text{Ec. 63}$$

$$T_{s,2} = 89.616 \quad [^{\circ}\text{C}]$$

### Temperatura del agua

$$h_{\text{agua}} = 1000 \quad \left[ \frac{\text{W}}{\text{m}^2\cdot\text{K}} \right]$$

$$q_{rp} = \frac{T_{s,2} - T_{\infty,1}}{\frac{1}{h_{\text{agua}} * A_{rtp}}}$$

$$T_{\infty,1} = T_{s,2} - q_{rp} * 1000 * \frac{1}{h_{\text{agua}} * A_{rtp}} \quad \text{Ec. 64}$$

$$T_{\infty,1} = 81.528 \quad [^{\circ}\text{C}]$$

### Temperatura interior de pared de la cámara de agua

$$q_{rp} = \frac{T_{\infty,1} - T_{s,3}}{\frac{1}{h_{\text{agua}} * A_{cta}}}$$

$$T_{s,3} = T_{\infty,1} - q_{rp} * 1000 * \frac{1}{h_{\text{agua}} * A_{cta}} \quad \text{Ec. 65}$$

$$T_{s,3} = 80.216 \quad [^{\circ}\text{C}]$$

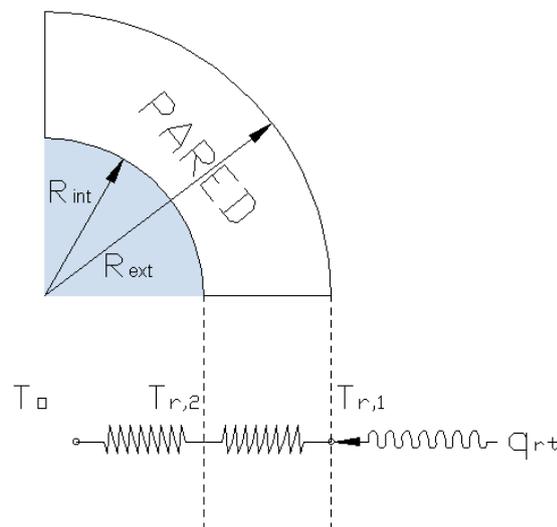
### Temperatura exterior de pared de la cámara de agua

$$q_{rp} = \frac{T_{s,3} - T_{s,4}}{\frac{L}{K * A_{cta}}}$$

$$T_{s,4} = T_{s,3} - q_{rp} * 1000 * \frac{L}{K * A_{cta}} \quad \text{Ec. 66}$$

$$T_{s,4} = 80.154 \quad [^{\circ}\text{C}]$$

**Transferencia de calor por radiación en los tubos superiores de la cámara de combustión**



**Figura 8. Transferencia de calor por radiación en los tubos**

**Temperatura exterior de tubos superiores**

$$r_{ext} = 0.01675 \quad [\text{m}]$$

$$r_{int} = 0.0136 \quad [\text{m}]$$

$$l = 0.30 \quad [\text{m}]$$

$$T_{r1} = 90 \quad [^{\circ}\text{C}]$$

$$q_{rt} = \frac{T_{r1} - T_{r2}}{\frac{\ln\left(\frac{r_{ext}}{r_{int}}\right)}{2 * \pi * k * l}}$$

$$T_{r2} = T_{r1} - q_{rt} * 1000 * \frac{\ln\left(\frac{r_{ext}}{r_{int}}\right)}{2 * \pi * k * l} \quad \text{Ec. 67}$$

$$T_{r2} = 89.998 \quad [^{\circ}\text{C}]$$

### Temperatura del agua en los tubos superiores

$$q_{rt} = \frac{T_{r2} - T_{\infty}}{\frac{1}{h_{\text{agua}} * 2\pi * r_{int} * l}}$$

$$T_{\infty} = T_{r2} - q_{rt} * 1000 * \frac{1}{h_{\text{agua}} * 2\pi * r_{int} * l} \quad \text{Ec. 68}$$

$$T_{\infty} = 89.949 \quad [^{\circ}\text{C}]$$

### 3.3.2.2 Convección

La transferencia de calor por convección está dada por los gases de combustión, que aportan con un 10% de calor a la caldera. Estos gases calientan las paredes de la cámara de cocción, la olla, la puerta de entrada de olla y la chimenea.

### Transferencia de calor por convección en la cámara de cocción

La temperatura de los gases de combustión es de 350°C, temperatura que no es constante, para el diseño conservador se considera que la cámara de convección tiene una temperatura de 190°C, que es la más baja en este flujo de calor.

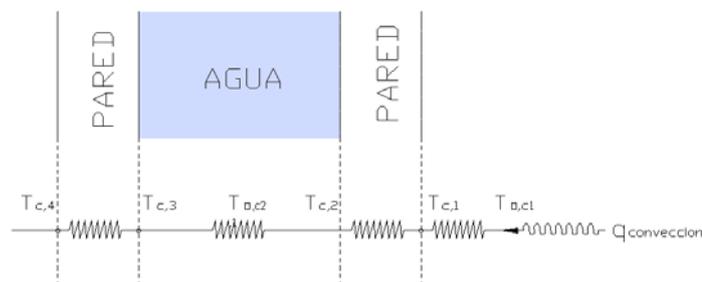


Figura 9. Transferencia de calor por convección

### Temperatura de gases de combustión

$$T_{\infty, c1} = 190 \quad [^{\circ}\text{C}]$$

$$h_{\infty,c1} = 18 \quad \left[ \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \right]$$

### Temperatura interior de la pared de la cámara de convección

$$q_{\text{convección}} = 0.523 \quad [\text{kW}]$$

$$q_{\text{convección}} = \frac{T_{\infty,c1} - T_{c,1}}{\frac{1}{h_{\infty,c1} * A_{\text{tcv}}}}$$

$$T_{c,1} = T_{\infty,c1} - q_{\text{convección}} * 1000 * \frac{1}{h_{\infty,c1} * A_{\text{tcv}}} \quad \text{Ec. 69}$$

$$T_{c,1} = 42.069 \quad [^{\circ}\text{C}]$$

### Temperatura exterior de la pared de la cámara de convección

$$q_{\text{convección}} = \frac{T_{c,1} - T_{c,2}}{\frac{L}{K * A_{\text{tcv}}}}$$

$$T_{c,2} = T_{c,1} - q_{\text{convección}} * 1000 * \frac{L}{K * A_{\text{tcv}}} \quad \text{Ec. 70}$$

$$T_{c,2} = 41.943 \quad [^{\circ}\text{C}]$$

### Temperatura del agua

$$q_{\text{convección}} = \frac{T_{c,2} - T_{\infty,c2}}{\frac{1}{h_{\text{agua}} * A_{\text{tcv}}}}$$

$$T_{\infty,c2} = T_{c,2} - q_{\text{convección}} * 1000 * \frac{1}{h_{\text{agua}} * A_{\text{tcv}}} \quad \text{Ec. 71}$$

$$T_{\infty,c2} = 39.28 \quad [^{\circ}\text{C}]$$

### Temperatura interior de pared de la cámara de agua

$$q_{\text{convección}} = \frac{T_{\infty, c2} - T_{c,3}}{\frac{1}{h_{\text{agua}} * A_{\text{cta}}}}$$

$$T_{c,3} = T_{\infty, c2} - q_{\text{convección}} * 1000 * \frac{1}{h_{\text{agua}} * A_{\text{cta}}} \quad \text{Ec. 72}$$

$$T_{c,3} = 38.997 \quad [^{\circ}\text{C}]$$

### Temperatura exterior de pared de la cámara de agua

$$q_{\text{convección}} = \frac{T_{c,3} - T_{c,4}}{\frac{L}{K * A_{\text{cta}}}}$$

$$T_{c,4} = T_{c,3} - q_{\text{convección}} * 1000 * \frac{L}{K * A_{\text{cta}}} \quad \text{Ec. 73}$$

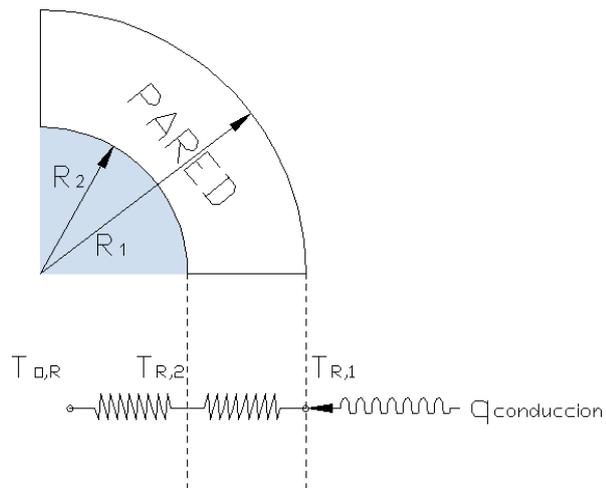
$$T_{c,2} = 38.984 \quad [^{\circ}\text{C}]$$

#### 3.3.2.3 Conducción

La transferencia de calor por conducción tiene el 10% de aporte de calor a la caldera, y se da en los tubos que sostienen a la biomasa, porque están en contacto directo con el combustible utilizado.

#### Transferencia de calor por conducción en los tubos inferiores de la cámara de combustión

Así mismo, teniendo un criterio conservador se considera que la temperatura exterior de los tubos inferiores es de 90°C, que es la más baja en este flujo de calor.



**Figura 10. Transferencia de calor por conducción**

### Temperatura exterior de tubos inferiores

$$q_{\text{conducción}} = 0.523 \quad [\text{kW}]$$

$$r_{\text{ext}} = 0.01675 \quad [\text{m}]$$

$$r_{\text{int}} = 0.0136 \quad [\text{m}]$$

$$l = 0.30 \quad [\text{m}]$$

$$T_{R1} = 90 \quad [^{\circ}\text{C}]$$

### Temperatura interior de tubos inferiores

$$q_{\text{conducción}} = \frac{T_{R1} - T_{R2}}{\frac{\ln\left(\frac{r_{\text{ext}}}{r_{\text{int}}}\right)}{2 * \pi * k * l}}$$

$$T_{R2} = T_{R1} - q_{\text{conducción}} * 1000 * \frac{\ln\left(\frac{r_{\text{ext}}}{r_{\text{int}}}\right)}{2 * \pi * k * l} \quad \text{Ec. 74}$$

$$T_{R2} = 89.999 \quad [^{\circ}\text{C}]$$

### Temperatura del agua

$$q_{\text{conducción}} * = \frac{T_{R2} - T_{\infty,R}}{\frac{1}{h_{\text{agua}} * 2\pi * r_{\text{int}} * l}}$$

$$T_{\infty,R} = T_{R2} - q_{\text{conducción}} * 1000 * \frac{1}{h_{\text{agua}} * 2\pi * r_{\text{int}} * l} \quad \text{Ec. 75}$$

$$T_{\infty} = 89.979 \quad [^{\circ}\text{C}]$$

### 3.3.2.4 Aletas

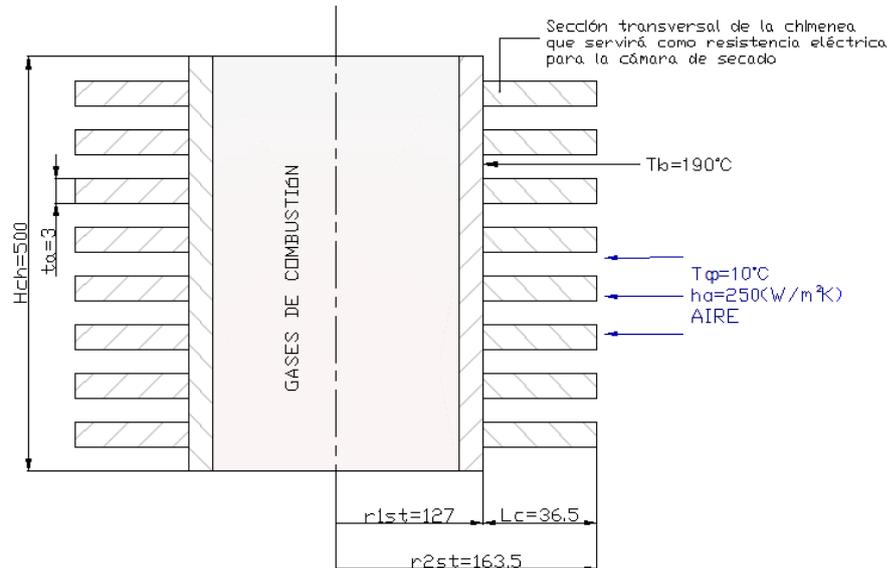


Figura 11. Transferencia de calor en aletas

#### Eficiencia de la aleta

$$h_a = 250 \quad \left[ \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \right]$$

$$k_a = 60.10 \quad \left[ \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} \right]$$

$$\frac{r_{2c}}{r_{1st}} = 1.30$$

$$l_c = l_{1.2} + \frac{t_a}{2}$$

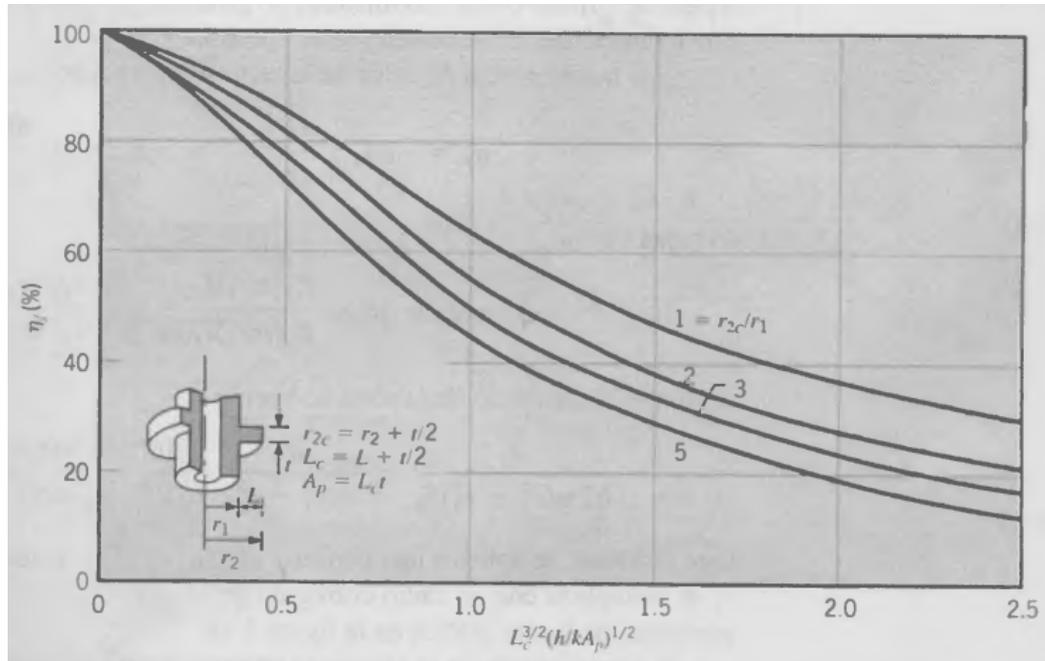
$$l_c = 0.04 \quad [\text{m}]$$

$$A_p = l_c * t_a$$

$$A_p = 0.00014 \quad [\text{m}^2]$$

A continuación se muestra en la figura 27 la eficiencia de la aleta con convección en el extremo, se puede representar como una función de:

$$l_c^{3/2} * \sqrt{\frac{h_a}{k_a * A_p}} = 1.42$$



**Figura 27. Eficiencia de aletas anulares de perfil rectangular**  
Fuente: (Incropera, 1999)

La eficiencia de la aleta es del 55%

$$N_f = 0.55$$

### Transferencia de calor con aletas

$$T_b = 190 \quad [^{\circ}\text{C}]$$

$$T_{\infty} = 10 \quad [^{\circ}\text{C}]$$

$$\theta_b = T_b - T_{\infty}$$

$$\theta_b = 180 \quad [^{\circ}\text{C}]$$

$$q_t = h_a * A_{st} * \left( 1 - \frac{N * A_f}{A_{st}} * (1 - N_f) \right) * \theta_b \quad \text{Ec. 76}$$

$$q_t = 30.9 \quad [\text{kW}]$$

### Transferencia de calor sin aletas

$$q_{wo} = h_a * (2 * \pi * r_{1st} * H_{ch}) * \theta_b \quad \text{Ec. 77}$$

$$q_{wo} = 17.95 \quad [\text{kW}]$$

$$\Delta q = q_t - q_{wo} \quad \text{Ec. 78}$$

$$\Delta q = 12.94 \quad [\text{kW}]$$

Se colocan 8 aletas en el interior de la cámara de secado para aumentar la rapidez de transferencia de calor entre la chimenea y el fluido que lo rodea en un 72%.

### 3.3.2.5 Cámara de secado

#### Calor requerido para secar biomasa

Se determina la cantidad de calor necesario para secar la biomasa, mediante la velocidad y temperatura del aire en recirculación, que ingresa y sale de la cámara de secado por un área determinada.

$$v_{ea} = 0.30 \quad \left[ \frac{\text{m}}{\text{s}} \right]$$

$$\rho_{aeacs} = 0.928 \quad \left[ \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right]$$

$$t_{cs} = 1200 \quad [\text{s}]$$

$$T_{eacs} = 15 \quad [^{\circ}\text{C}]$$

$$h_{eacs} = 288 \quad \left[ \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right]$$

$$T_{sacs} = 50 \quad [^{\circ}\text{C}]$$

$$h_{sacs} = 323 \quad \left[ \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right]$$

$$Q_{ea} = v_{ea} * A_{teacs} \quad \text{Ec. 79}$$

$$Q_{ea} = 0.004 \quad \left[ \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right]$$

$$V_{acs} = Q_{ea} * t_{cs} \quad \text{Ec. 80}$$

$$V_{acs} = 4.641 \quad [\text{m}^3]$$

$$m_{acs} = \rho_{aeacs} * V_{acs} \quad \text{Ec. 81}$$

$$m_{acs} = 4.307 \quad [\text{kg}]$$

$$Q_{\text{secado}} = m_{\text{acs}} * (h_{\text{sacs}} - h_{\text{eacs}}) \quad \text{Ec. 82}$$

$$Q_{\text{secado}} = 150.75 \quad [\text{kW}]$$

### 3.4 Determinación de la cantidad de calor emitido

Se determina el flujo de calor emitido por las paredes externas de la caldera a la vivienda. Estas paredes son la puerta de ingreso de biomasa, la puerta de ingreso de olla y las paredes exteriores de la cámara de agua.

$$h_r = 20 \quad \left[ \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \right]$$

$$T_{\text{sup1}} = 63 \quad [^{\circ}\text{C}]$$

$$T_{\text{alr}} = 10 \quad [^{\circ}\text{C}]$$

$$q_{\text{rad1h}} = h_r * A_{\text{reb}} * (T_{\text{sup1}} - T_{\text{alr}}) \quad \text{Ec. 83}$$

$$q_{\text{rad1h}} = 63.9 \quad [\text{W}]$$

$$T_{\text{sup2}} = 58 \quad [^{\circ}\text{C}]$$

$$q_{\text{rad2h}} = h_r * A_{\text{reb}} * (T_{\text{sup2}} - T_{\text{alr}}) \quad \text{Ec. 84}$$

$$q_{\text{rad2h}} = 86.4 \quad [\text{W}]$$

$$T_{\text{sup3}} = 15 \quad [^{\circ}\text{C}]$$

$$q_{\text{rad3h}} = h_r * A_{\text{cta}} * (T_{\text{sup3}} - T_{\text{alr}}) \quad \text{Ec. 85}$$

$$q_{\text{rad3h}} = 185 \quad [\text{W}]$$

$$q_{\text{real total}} = q_{\text{rad1h}} + q_{\text{rad2h}} + q_{\text{rad3h}} \quad \text{Ec. 86}$$

$$q_{\text{real total}} = 335 \quad [\text{W}]$$

### 3.5 Determinación de pérdidas

Existen pérdidas de calor en las entradas de biomasa y olla, porque éstas no transfieren calor hacia el agua, sin embargo son aprovechadas para

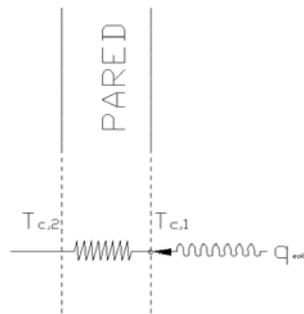
generar calefacción a la vivienda. Además existe pérdida de calor por el piso, donde se encuentra la ceniza.

### Pérdida en la entrada de biomasa

$$q_{\text{biomasa}} = q_{\text{radiación}} * 0.12 \quad \text{Ec. 87}$$

$$q_{\text{biomasa}} = 0.502 \quad [\text{kW}]$$

### Pérdida en la entrada de olla

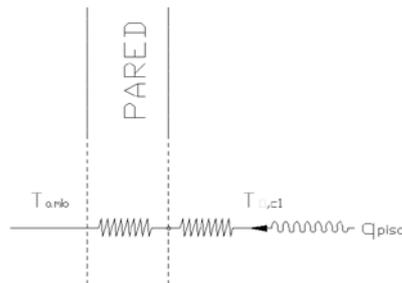


**Figura 12.** Transferencia de calor por conducción

$$q_{\text{eolla}} = \frac{T_{c,1} - T_{c,2}}{\frac{L}{K * A_{\text{ceo}}} * 1000} \quad \text{Ec. 88}$$

$$q_{\text{eolla}} = 0.502 \quad [\text{kW}]$$

### Pérdida en el piso



**Figura 29.** Pérdida de calor por conducción

$$T_{\text{amb}} = 10 \quad [^{\circ}\text{C}]$$

$$h_{\text{aire}} = 20 \quad \left[ \frac{\text{W}}{\text{m}^2 * \text{K}} \right]$$

$$A_{\text{ceniza}} = 0.5 * 0.5$$

$$A_{\text{ceniza}} = 0.25 \quad [\text{m}^2]$$

$$q_{\text{piso}} = \frac{T_{\infty, c1} - T_{\text{amb}}}{\left( \frac{1}{h_{\text{aire}} * A_{\text{ceniza}}} + \frac{L}{k * A_{\text{ceniza}}} \right) * 100} \quad \text{Ec. 89}$$

$$q_{\text{piso}} = 0.225 \quad [\text{kW}]$$

$$q_{\text{perdidas}} = q_{\text{biomasa}} + q_{\text{eolla}} + q_{\text{piso}} \quad \text{Ec. 90}$$

$$q_{\text{perdidas}} = 0.967 \quad [\text{kW}]$$

Una vez conocidas las pérdidas de calor existentes, a estas se adiciona el flujo de calor requerido calculado al inicio del diseño.

$$Q_{\text{TOTAL}} = Q_{\text{agua}} + Q_{\text{perdidas}} \quad \text{Ec. 91}$$

$$Q_{\text{TOTAL}} = 6.196 \quad [\text{kW}]$$

Conociendo el nuevo flujo de calor, se recalcula la cantidad de energía necesaria.

$$Q_{\text{real}} = Q_{\text{TOTAL}} * t \quad \text{Ec. 92}$$

$$Q_{\text{real}} = 2.231 * 10^4 \quad [\text{kW}]$$

Una vez obtenido el nuevo valor de energía o calor requerido, se determina la cantidad de biomasa a utilizar.

$$m_{\text{real aserrin}} = \frac{Q_{\text{real}}}{\text{PCS}_{\text{aserrin}}} \quad \text{Ec. 93}$$

$$m_{\text{real aserrin}} = 3.718 \quad [\text{kg}]$$

### Cámara de mezclado

Conociendo la temperatura del agua caliente obtenida como resultado de la transferencia de calor, se calcula el volumen de la misma, para saber qué cantidad de agua fría (10°C) debe mezclarse con la caliente (80°C), para obtener los 40°C requeridos.

$$V_{\text{camara\_ext}} = 0.5 * 0.5 * 0.4 \quad \text{Ec. 94}$$

$$V_{\text{camara\_ext}} = 0.1 \quad [\text{m}^3]$$

$$V_{\text{camara\_int}} = 0.3 * 0.3 * 0.4 \quad \text{Ec. 95}$$

$$V_{\text{camara\_int}} = 0.036 \quad [\text{m}^3]$$

$$V_{\text{agua\_icaliente}} = V_{\text{camara\_ext}} - V_{\text{camara\_int}} \quad \text{Ec. 96}$$

$$V_{\text{agua\_icaliente}} = 0.064 \quad [\text{m}^3]$$

### Balance de masa

Primero se determina la relación de flujos másicos de agua caliente y fría, para una temperatura especificada del flujo resultante (agua 40°C)

$$\dot{m}_{\text{entrada}} = \dot{m}_{\text{salida}}$$

$$\dot{m}_1 + \dot{m}_2 = \dot{m}_3 \quad \text{Ec. 97}$$

### Balance de energía

$$\dot{E}_{\text{ent}} = \dot{E}_{\text{sal}}$$

$$m_1 * h_1 + m_2 * h_2 = m_3 * h_3$$

$$m_1 * h_1 + m_2 * h_2 = (m_1 + m_2) * h_3 \quad \text{Ec. 98}$$

$$y = \frac{m_1}{m_2}$$

$$\frac{m_1}{m_2} * h_1 + \frac{m_2}{m_2} * h_2 = \frac{(m_1 + m_2)}{m_2} * h_3$$

$$y * h_1 + h_2 = (y + 1) * h_3$$

$$80 \quad [^{\circ}\text{C}] \quad h_{f1} = 335.02 \quad \left[ \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right]$$

$$10 \quad [^{\circ}\text{C}] \quad h_{f2} = 42.022 \quad \left[ \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right]$$

$$40 \quad [^{\circ}\text{C}] \quad h_{f3} = 167.53 \quad \left[ \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right]$$

$$y = \frac{h_{f3} - h_{f2}}{h_{f1} - h_{f3}}$$

$$y = 0.749$$

Ec. 99

El flujo másico del agua caliente es de 0.749 veces del flujo másico del agua fría. A continuación se calcula el volumen del agua fría necesaria:

$$V_{\text{agua_fría}} = \frac{V_{\text{agua_caliente}}}{y}$$

Ec. 100

$$V_{\text{agua_fría}} = 0.085 \quad [\text{m}^3]$$

### 3.6 Eficiencia de la caldera

$$E_{\text{entrada}} = 23100000 \quad [\text{W}]$$

$$P_{\text{entrada}} = 80\%$$

$$E_{\text{perdidas}} = 967 \quad [\text{W}]$$

$$P_{\text{perdidas}} = 20\%$$

$$n = 100 - P_{\text{perdidas}}$$

Ec. 101

$$n = 80\%$$

## CAPÍTULO IV

### CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE

#### 4.1 Materiales e Insumos

Durante el proceso de construcción de la estufa con biomasa se necesita los siguientes materiales e insumos que son de fácil acceso, estos son detallados en la tabla 6.

**Tabla 6**

#### Lista de materiales e insumos

Cantidad	Unidad	Descripción
3	U	Plancha de acero al carbono A36, e = 3mm
1	U	Tubo sin costura ASTM A-53, CD 40 $\phi$ = 1 pulg.
1	U	Tubo con costura ASTM A-500 $\phi$ =2 pulg. e = 2mm.
1	U	Tubo con costura ASTM A-500 $\phi$ =5 pulg. e = 3mm.
1	U	Tubo cuadrado ASTM A-500 50 x 50, e = 2mm.
1	U	Tubo rectangular ASTM A-500 50 x 100, e = 2mm.
1	U	Varilla ASTM A-706 $\phi$ = 1/4 pulg.
2	U	Bisagras
5	U	Llave de paso de $\phi$ = 1 pulg.
5	U	Niples de acero al carbono de $\phi$ = 1 pulg.
6	U	Disco de Desbaste 7 x 1/4 x 7/8 – M WA24T
6	U	Disco de Corte 8 x 1 – A36QBF
5	Kg.	Electrodo 6011 $\phi$ = 1/8 pulg.
1	Gal.	Pintura anticorrosiva
1	Gal.	Thinner
1	Gal.	Pintura de Esmalte Negra
5	U	Tiza de mármol
3	U	Pliego de lija grano 60
3	U	Pliego de lija grano 150
3	U	Manijas

## 4.2 Máquinas, herramientas, instrumentos y equipo de seguridad

### Cuadro 1

#### Máquinas utilizadas

Nombre	Imagen	Cantidad	Características
Suelda eléctrica		1	Tensión de alimentación: 220 V2~ Corriente: 43 A Potencia real: 6.4KW
Dobladora hidráulica		1	Capacidad: 10 ton Bancada: 5 m Altura útil: 500 mm
Amoladora		1	Potencia: 2000 W Velocidad: 6600 RPM Diámetro del disco: 230 mm
Taladro eléctrico		1	Potencia: 550 W Velocidad: 3000 RPM

### Cuadro 2

#### Herramientas utilizadas

Nombre	Imagen	Cantidad	Observaciones
Lima redonda		1	Tipo: gruesa con mango Longitud: 200 mm
Lima plana		1	Tipo: gruesa con mango Longitud: 200 mm
Piqueta		1	Cabeza: pico y cincel Longitud: 250 mm
Martillo		1	Cabeza: acero 1 Kg Mango: madera
Cepillo acero		1	Cerdas: acero al carbono Mango: madera
Rayador		1	Punta de carburo de tungsteno
Granete		1	Material: acero templado Longitud: 100 mm
Brocha		1	Mango: madera Ancho: 100 mm

**Cuadro 3****Instrumentos utilizados**

Nombre	Imagen	Cantidad	Características
Flexómetro		1	Alcance: 3 m Unidades: metros y milímetros
Escuadra		1	Longitud: 300 mm Mango: metálico Guía: 45° - 90°
Pie de rey		1	Alcance: 0 – 200 mm Precisión: 0.50 mm
Balanza		1	Alcance: 0 – 10 Kg Precisión: 0.25 Kg
Multímetro		1	Rango de temperatura: 400 – 1000°C
Termocupla tipo K		1	Rango de temperatura: 400 – 1200°C

**Cuadro 4****Equipo de protección personal utilizado**

Nombre	Imagen	Cantidad	Características
Guantes de cuero		1	Guante de cuero Largos
Gafas protectoras		1	Transparentes
Orejeras		1	Protectores de orejas
Zapatos punta acero		1	Puntas de acero Antideslizantes

### 4.3 Hojas de procesos

VER ANEXO A

#### 4.4 Diagrama de flujo

##### Cuadro 5

##### Diagrama de flujo de montaje mecánico de la caldera

DIAGRAMA DE FLUJO							
Tipo de proceso: Montaje mecánico					Fecha: 29-10-2014		
Nombre: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE CALDERA/COCINA POR COMBUSTIÓN DE BIOMASA PARA GENERAR AGUA CALIENTE SANITARIA Y CALEFACCIÓN							
N°	Detalle	Método	OPERACION	TRANSPORTE	INSPECCIÓN	ESPERA	ALMACÉN
1	Inspeccionar elementos	Visual	○	→	■	⌋	▽
2	Soldar (1) con (2)	Manual	●	→	□	⌋	▽
3	Soldar (1) con (3)	Manual	●	→	□	⌋	▽
4	Soldar (1) con (6)	Manual	●	→	□	⌋	▽
5	Soldar (1) con (7)	Manual	●	→	□	⌋	▽
6	Inspeccionar la soldadura	Visual	○	→	■	⌋	▽
7	Transportar al sitio de pintura	Manual	○	→	□	⌋	▽
8	Almacenamiento temporal	Manual	○	→	□	⌋	▽
9	Soldar (1) con (4)	Manual	●	→	□	⌋	▽
10	Soldar (1) en (5)	Manual	○	→	□	●	▽
12	Inspeccionar la soldadura	Visual	○	→	■	⌋	▽
13	Transportar al sitio de pintura	Manual	○	→	□	⌋	▽
14	Almacenamiento temporal	Manual	○	→	□	⌋	▽
15	Soldar (2) con (8)	Manual	●	→	□	⌋	▽
16	Soldar (8) con (11)	Manual	●	→	□	⌋	▽
17	Soldar (8) con (12)	Manual	●	→	□	⌋	▽
18	Soldar (7) con (9)	Manual	●	→	□	⌋	▽

CONTINÚA →

19	Soldar (7) con (10)	Manual					
20	Inspeccionar la soldadura	Visual					
21	Transportar al sitio de pintura	Manual					
22	Almacenamiento temporal	Manual					
23	Soldar (13) con (8), (9) y (10)	Manual					
24	Soldar (8) con (14)	Manual					
25	Soldar (15) con (16)	Manual					
26	Soldar (18) con (19)	Manual					
27	Soldar (20) con (21)	Manual					
28	Soldar (21) con (22)	Manual					
29	Soldar (22) con (23)	Manual					
30	Soldar (23) con (24)	Manual					
31	Soldar (224) con (25)	Manual					
32	Inspeccionar la soldadura	Visual					
33	Transportar al sitio de pintura	Manual					
34	Almacenamiento temporal	Manual					
35	Soldar (28) con (29)	Manual					
36	Soldar (29) con (30)	Manual					
37	Soldar (7) con (28), (29) y (30)	Manual					
38	Inspeccionar la soldadura	Visual					
39	Transportar al sitio de pintura	Manual					
40	Almacenamiento temporal	Manual					
41	Soldar (9) con (56)	Manual					
42	Soldar (9) con (60)	Manual					
43	Soldar (9) con (63)	Manual					
44	Soldar (9) con (44)	Manual					
45	Soldar (10) con (44)	Manual					
46	Inspeccionar la soldadura	Visual					
47	Transportar al sitio de pintura	Manual					
48	Almacenamiento temporal	Manual					
49	Soldar (9) con (45)	Manual					
50	Soldar (45) con (46)	Manual					

CONTINÚA 

51	Soldar (45) con (47)	Manual					
52	Soldar (45) con (48)	Manual					
53	Inspeccionar la soldadura	Visual					
54	Transportar al sitio de pintura	Manual					
55	Almacenamiento temporal	Manual					
56	Soldar (46) con (49)	Manual					
57	Soldar (47) con (49)	Manual					
58	Soldar (48) con (49)	Manual					
59	Soldar (49) con (50)	Manual					
60	Soldar (50) con (51)	Manual					
61	Soldar (46) con (52)	Manual					
62	Soldar (47) con (52)	Manual					
63	Soldar (48) con (52)	Manual					
64	Inspeccionar la soldadura	Visual					
65	Transportar al sitio de pintura	Manual					
66	Almacenamiento temporal	Manual					
67	Soldar (9) con (67)	Manual					
68	Soldar (10) con (34)	Manual					
69	Soldar (34) con (35)	Manual					
70	Soldar (10) con (39)	Manual					
71	Soldar (10) con (41)	Manual					
72	Inspeccionar la soldadura	Visual					
73	Transportar al sitio de pintura	Manual					
74	Almacenamiento temporal	Manual					
75	Ajustar (26) con (27)	Manual					
76	Ajustar (31) con (32)	Manual					
77	Colocar (29) en (33)	Manual					
78	Colocar (51) en (53)	Manual					
79	Colocar (55) en (56)	Manual					
80	Colocar (54) en (55)	Manual					
81	Inspeccionar funcionamiento	Manual					
82	Colocar (56) en (57)	Manual					

CONTINÚA 

83	Colocar (56) en (58)	Manual					
84	Colocar (57) en (59)	Manual					
85	Colocar (60) en (58)	Manual					
86	Inspeccionar funcionamiento	Manual					
87	Colocar (62) en (60)	Manual					
88	Colocar (42) en (63)	Manual					
89	Colocar (64) en (42)	Manual					
90	Colocar (65) en (64)	Manual					
91	Colocar (66) en (65)	Manual					
92	Colocar (65) en (67)	Manual					
93	Inspeccionar fugas	Manual					
94	Colocar (69) en (68)	Manual					
95	Colocar (70) en (69)	Manual					
96	Inspeccionar funcionamiento	Manual					
97	Colocar (36) en (35)	Manual					
98	Ajustar (37) con (38)	Manual					
99	Colocar (40) en (39)	Manual					
100	Colocar (42) en (41)	Manual					
101	Colocar (43) en (42)	Manual					
102	Inspeccionar fugas	Manual					

#### 4.5 Planos de construcción

VER ANEXO B

**CAPÍTULO V**

**MANUAL DE USUARIO Y PRUEBAS DE OPERACIÓN**

**5.1 Manual de usuario**

**VER ANEXO C**

## 5.2 Pruebas de funcionamiento del equipo y toma de datos

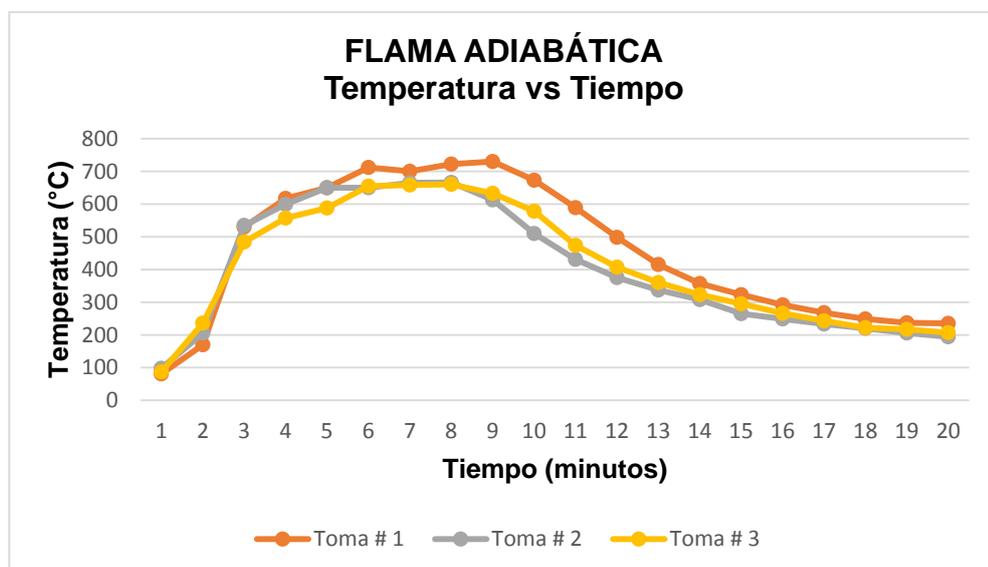
### Temperatura de flama adiabática en el interior de la cámara de combustión

**Biomasa:** Leña seca (4% humedad)

**Tabla 7**

#### Temperatura de flama adiabática

Tiempo (minutos)	Toma # 1 (°C)	Toma # 2 (°C)	Toma # 3 (°C)
1	81	98	87
2	170	206	236
3	530	535	484
4	617	599	557
5	650	650	588
6	712	650	655
7	700	665	658
8	722	666	660
9	730	613	633
10	673	510	578
11	589	431	474
12	498	375	407
13	415	337	360
14	357	308	323
15	323	265	295
16	292	249	266
17	268	233	243
18	249	220	222
19	237	206	217
20	235	194	207



**Figura 130. Flama adiabática**

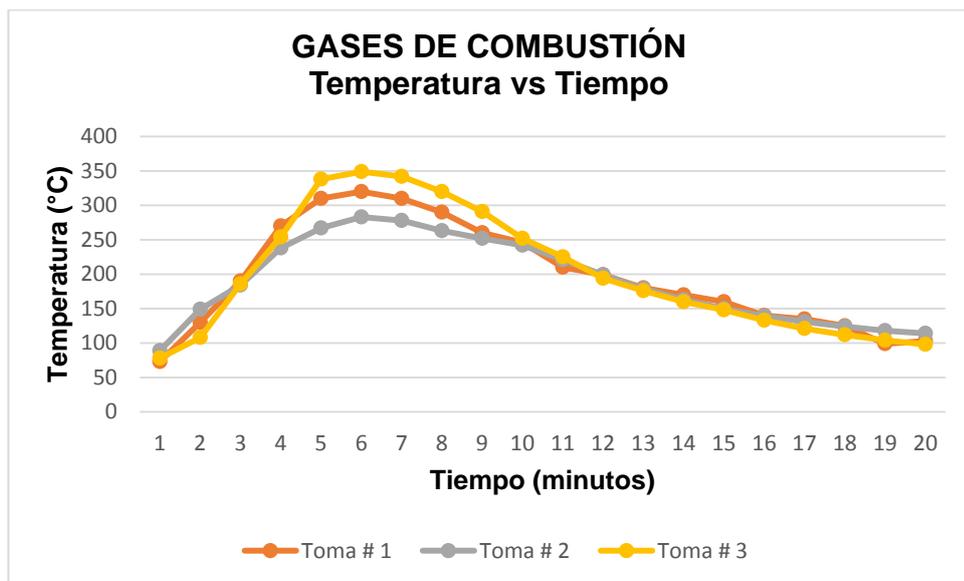
## Temperatura de gases de combustión

Biomasa: Leña seca (4% humedad)

**Tabla 8**

### Temperatura de gases de combustión

Tiempo (minutos)	Toma # 1 (°C)	Toma # 2 (°C)	Toma # 3 (°C)
1	73	89	78
2	130	149	108
3	190	184	186
4	270	238	254
5	310	267	338
6	320	283	349
7	310	278	342
8	290	263	320
9	260	252	291
10	246	242	252
11	210	221	225
12	199	199	194
13	180	179	176
14	170	163	160
15	160	150	148
16	140	139	133
17	135	131	121
18	125	124	112
19	99	118	104
20	103	114	98



**Figura 14. Gases de combustión**

## Temperatura de flama adiabática

Biomasa: Leña húmeda (25% humedad)

Tabla 9

### Temperatura de flama adiabática

Tiempo (minutos)	Toma # 1 (°C)	Toma # 2 (°C)	Toma # 3 (°C)
1	98	140	100
2	212	240	170
3	298	300	230
4	400	356	311
5	441	394	366
6	456	420	422
7	470	450	480
8	502	499	535
9	594	545	570
10	657	610	611
11	640	650	620
12	613	640	629
13	570	600	590
14	487	550	533
15	426	490	458
16	379	430	405
17	342	389	366
18	299	345	322
19	270	298	284
20	246	268	257

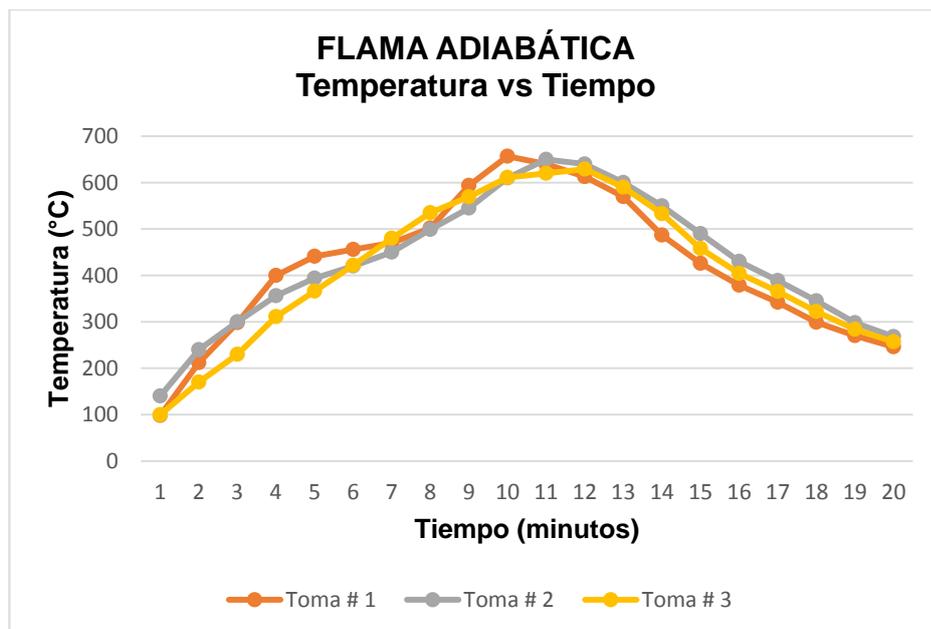


Figura 15. Flama adiabática

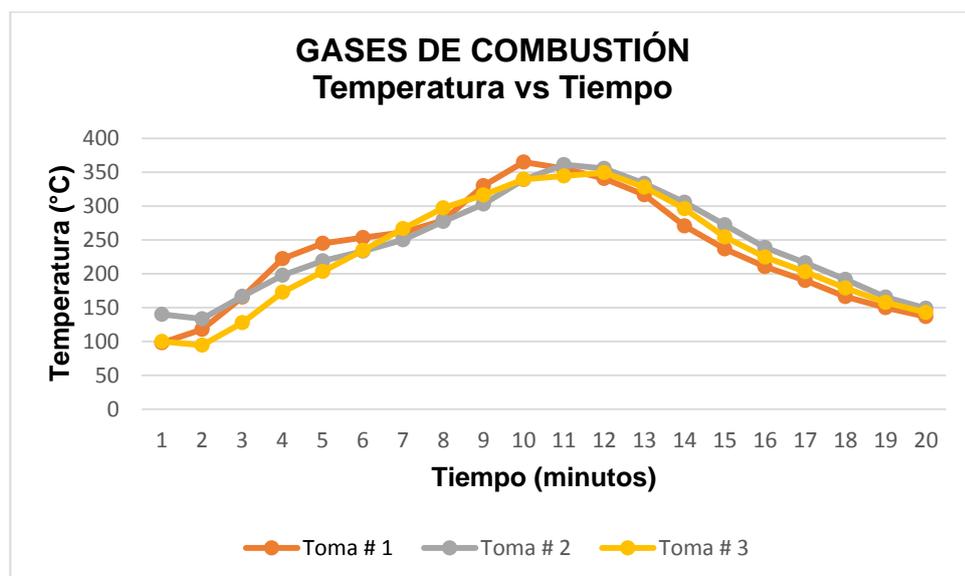
## Temperatura de los gases de combustión

Biomasa: Leña húmeda (25% humedad)

**Tabla 10**

### Temperatura de gases de combustión

Tiempo (minutos)	Toma # 1 (°C)	Toma # 2 (°C)	Toma # 3 (°C)
1	98	140	100
2	118	133	94
3	166	167	128
4	222	198	173
5	245	219	203
6	253	233	234
7	261	250	267
8	279	277	297
9	330	303	316
10	365	339	339
11	356	361	344
12	341	356	349
13	317	333	328
14	271	306	296
15	237	272	254
16	211	239	225
17	190	216	203
18	166	192	179
19	150	166	158
20	137	149	143



**Figura 16. Gases de combustión**

## Temperaturas en las paredes exteriores de la caldera

Biomasa: Leña húmeda (25% humedad)

Tabla 11

### Temperatura en las paredes exteriores de la caldera

Tiempo (minutos)	Entrada de biomasa (°C)	Entrada de olla (°C)	Pared exterior cámara agua (°C)
1	63	58	15
2	84	87	15
3	147	107	15
4	130	115	15
5	160	130	15
6	179	150	16
7	172	145	17
8	157	142	17
9	153	134	18
10	168	135	19
11	163	128	21
12	151	112	23
13	144	102	24
14	129	92	27
15	108	87	30
16	108	88	33
17	91	77	36
18	77	73	39
19	70	71	40
20	64	68	41

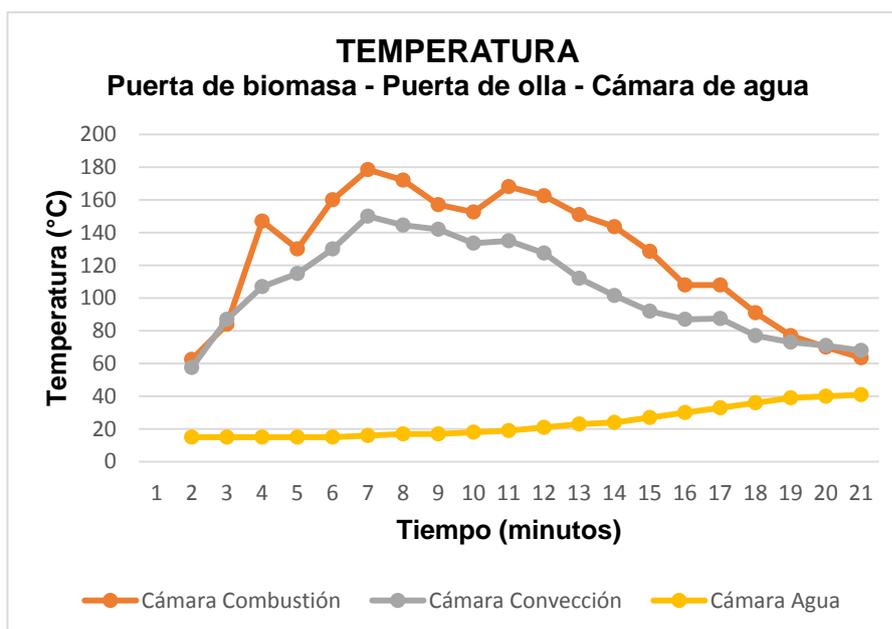


Figura 17. Temperatura en las paredes exteriores de la caldera

### 5.3 Comparación de datos obtenidos

#### Temperatura de flama adiabática entre madera seca y húmeda

Madera: Seca (4% humedad) y húmeda (25% humedad)

Tabla 12

#### Temperatura de flama adiabática

Tiempo (minutos)	Madera Seca (°C)	Madera húmeda (°C)
1	89	113
2	204	207
3	516	276
4	591	356
5	629	400
6	672	433
7	674	480
8	683	512
9	659	570
10	587	626
11	498	637
12	427	627
13	371	587
14	329	523
15	294	458
16	269	405
17	248	366
18	230	322
19	220	284
20	212	257

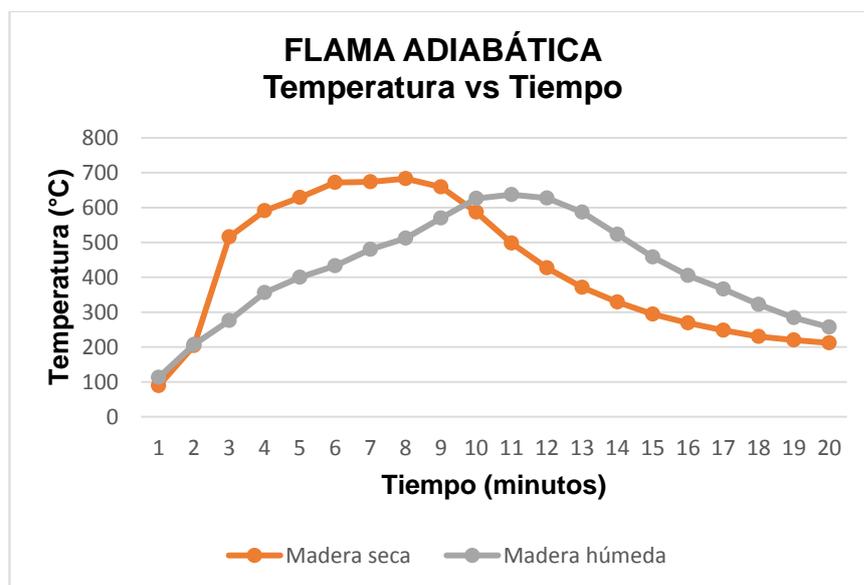


Figura 18. Flama adiabática de madera seca y húmeda

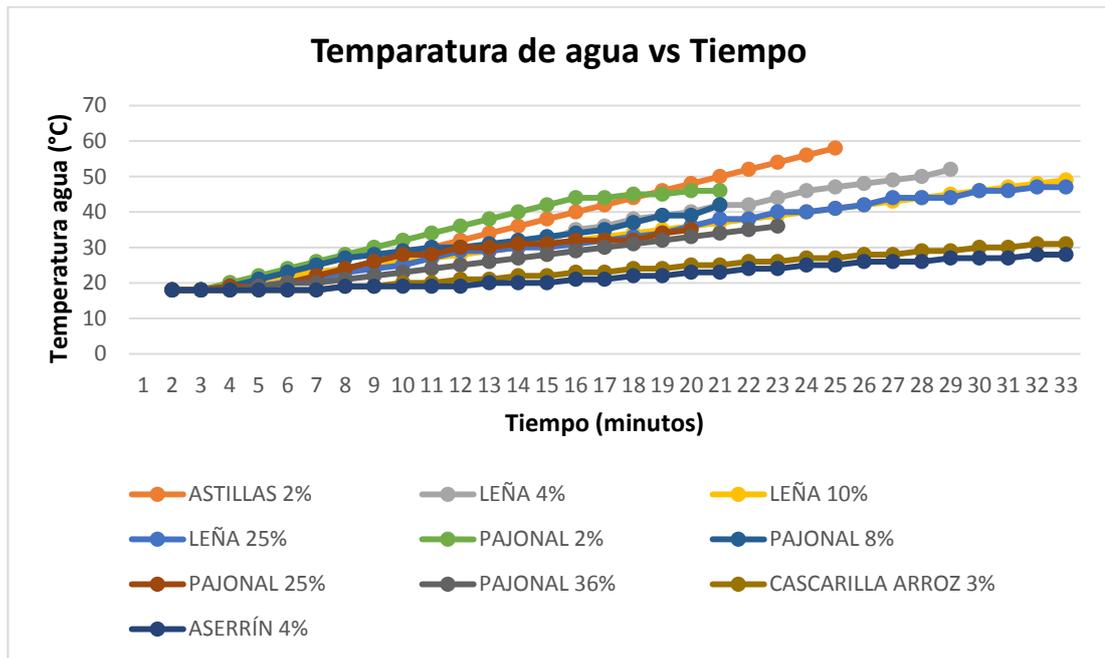
## Temperatura de agua caliente sanitaria

La temperatura del agua en el interior de la caldera aumenta progresivamente. Éste aumento de temperatura depende del tipo de biomasa a utilizar, de la cantidad de humedad contenida en la misma, y de la cantidad de aire que ingresa a la cámara de combustión. A continuación se puede ver que el agua alcanza una temperatura máxima de 58°C utilizando astillas con un 2% de humedad, siendo ésta la biomasa con la que se obtienen mejores resultados, en cambio, al utilizar aserrín con un 4% de humedad se consigue elevar la temperatura del agua hasta 28°C, en ambos casos se partió con una temperatura inicial de 18°C y 6 libras de biomasa.

**Tabla 13**

### Temperatura de agua vs Tiempo

PODER CALORÍFICO (MJ)	20	18	17	16	15	14	13	12	11	10
TIPO DE BIOMASA Y HUMEDAD	ASTILLAS 2%	LEÑA 4%	LEÑA 10%	LEÑA 25%	PAJONAL 2%	PAJONAL 8%	PAJONAL 25%	PAJONAL 36%	CASCARILLA ARROZ 3%	ASERRÍN 4%
VARIABLE TIEMPO (MINUTOS)	TEMP. AGUA (°C)	TEMP. AGUA (°C)								
1	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
2	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
3	20	19	19	18	20	19	19	18	18	18
4	21	21	21	19	22	21	19	19	18	18
5	22	21	22	20	24	23	20	20	18	18
6	23	22	23	21	26	25	22	20	18	18
7	24	24	24	23	28	27	24	21	19	19
8	26	26	25	24	30	28	26	22	19	19
9	28	28	26	25	32	29	28	23	20	19
10	30	29	27	27	34	30	28	24	20	19
11	32	30	28	29	36	30	30	25	21	19
12	34	30	29	29	38	31	30	26	21	20
13	36	31	30	30	40	32	31	27	22	20
14	38	32	31	30	42	33	31	28	22	20
15	40	35	32	31	44	34	32	29	23	21
16	42	36	33	32	44	35	32	30	23	21
17	44	38	34	33	45	37	32	31	24	22
18	46	39	35	34	45	39	34	32	24	22
19	48	40	36	36	46	39	35	33	25	23
20	50	42	37	38	46	42		34	25	23
21	52	42	38	38				35	26	24
22	54	44	39	40				36	26	24
23	56	46	40	40					27	25
24	58	47	41	41					27	25
25		48	42	42					28	26
26		49	43	44					28	26
27		50	44	44					29	26
28		52	45	44					29	27
29			46	46					30	27
30			47	46					30	27
31			48	47					31	28
32			49	47					31	28
E. biomasa	88%	78%	73%	68%	63%	58%	53%	48%	43%	40%



**Figura 19. Temperatura de agua vs Tiempo**

### Temperatura de la cámara de secado

La temperatura en la cámara de secado aumenta progresivamente, y esto depende del tipo de biomasa, la cantidad de humedad contenida y la cantidad de aire que ingresa a la cámara de combustión.

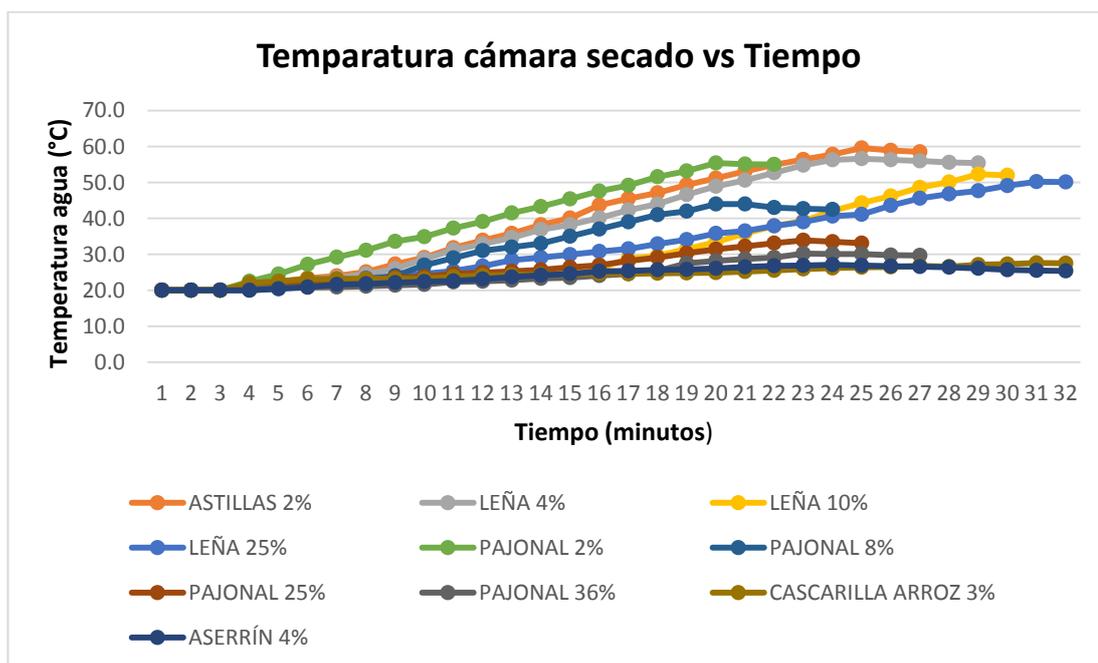
Es importante mencionar que en la cámara de secado existe una entrada de aire en la parte inferior y una salida en la parte superior, con el objetivo de suministrar aire (temperatura ambiente) a la cámara y que éste sea capaz de evacuar la humedad contenida en la madera por la salida superior. Sin embargo se debe considerar el tiempo de retención de gases en el interior de la cámara de secado, para evitar que el aire ingrese y salga sin evacuar la humedad, esto se controla dimensionando correctamente la entrada y salida del aire.

Se recomienda que la velocidad del aire en la salida de la cámara de secado sea de 0.3 – 1.0 m/s.

Tabla 14

## Temperatura de cámara secado vs Tiempo

PODER CALORÍFICO (MJ)	20	18	17	16	15	14	13	12	11	10
TIPO DE BIOMASA Y HUMEDAD	ASTILLAS 2%	LEÑA 4%	LEÑA 10%	LEÑA 25%	PAJONAL 2%	PAJONAL 8%	PAJONAL 25%	PAJONAL 36%	CASCARILLA ARROZ 3%	ASERRÍN 4%
VARIABLE	TEMP. CÁMARA SEDADO (°C)									
TIEMPO (MINUTOS)										
1	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0
2	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0
3	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0
4	21.1	21.0	20.0	20.0	22.5	21.0	21.3	20.5	22.0	20.0
5	22.4	22.0	21.1	20.5	24.5	21.0	21.6	20.7	22.5	20.4
6	23.4	23.1	21.2	21.1	27.2	22.0	21.8	20.8	23.1	20.9
7	24.0	23.5	21.4	22.4	29.2	22.0	22.1	20.9	23.2	21.6
8	25.1	24.5	21.6	23.4	31.1	23.0	22.9	21.1	23.2	21.8
9	27.3	26.0	22.1	23.9	33.6	24.0	23.5	21.4	23.2	22.1
10	29.1	28.7	22.7	24.6	34.9	27.0	23.8	21.6	23.2	22.4
11	31.8	31.2	22.9	25.4	37.3	29.0	24.6	22.3	23.8	22.6
12	33.9	32.9	23.3	26.7	39.1	31.0	24.9	22.5	24.1	23.1
13	35.8	34.6	24.3	28.4	41.5	32.0	25.3	22.8	24.3	23.7
14	38.2	36.9	25.5	29.1	43.3	33.0	25.7	23.3	24.4	24.2
15	40.1	38.2	25.9	29.9	45.4	35.0	26.4	23.5	24.5	24.6
16	43.7	40.1	26.1	30.8	47.6	37.0	27.0	24.1	24.6	25.3
17	45.5	42.3	28.8	31.5	49.2	39.0	28.2	24.6	24.6	25.4
18	47.1	44.0	29.6	32.9	51.6	41.0	29.1	25.4	24.7	25.7
19	49.3	46.6	31.5	34.1	53.2	42.0	30.3	27.5	24.8	25.8
20	51.2	48.9	33.4	35.8	55.4	44.0	31.4	28.2	24.9	26.1
21	53.1	50.6	35.8	36.5	55.1	44.0	32.2	28.7	25.2	26.5
22	54.9	52.7	37.9	37.9	55.0	43.0	33.1	29.1	25.5	26.8
23	56.4	54.8	39.3	39.0		42.7	33.9	30.2	25.9	26.9
24	57.8	56.3	42.1	40.6		42.5	33.5	30.1	26.2	27.1
25	59.6	56.6	44.3	41.1			33.1	30.1	26.4	26.9
26	58.9	56.3	46.2	43.6				29.8	26.5	26.7
27	58.5	56.0	48.6	45.6				29.7	26.8	26.6
28		55.6	50.1	46.8					26.6	26.4
29		55.4	52.3	47.7					27.1	26.1
30			52.0	49.1					27.3	25.7
31				50.2					27.6	25.5
32				50.1					27.5	25.4
Eficiencia biomasa	88%	78%	73%	68%	63%	58%	53%	48%	43%	40%



**Figura 20. Temperatura cámara de secado vs Tiempo**

### Cantidad de biomasa en función del poder calorífico

Para comparar el rendimiento entre uno y otro tipo de biomasa se debe considerar que las condiciones iniciales y finales requeridas son iguales, es decir, las temperaturas iniciales y finales del agua deben ser de 18 y 40 °C respectivamente.

Una vez aclarados los parámetros de medida, se evidencia claramente que se necesitan 4.1 libras de astillas (2% humedad) para calentar el agua a la temperatura deseada en un lapso de 15 minutos, siendo este tipo de biomasa la más eficiente entre las 10 biombras comparadas.

Por otro lado, la biomasa con la que se obtienen pésimos resultados es el aserrín (4% humedad), ya que para calentar el agua a 40 °C con este tipo de biomasa, se requieren 12.3 libras y 65 minutos para su combustión total.

## Tiempo de temperado de agua en función del poder calorífico

Madera: Seca

Tipo: Eucalipto

Tabla 15

### Cantidad de combustible en función del poder calorífico

PODER CALORÍFICO (MJ)	20	18	17	16	15	14	13	12	11	10
TIPO DE BIOMASA Y HUMEDAD	ASTILLAS 2%	LEÑA 4%	LEÑA 10%	LEÑA 25%	PAJONAL 2%	PAJONAL 8%	PAJONAL 25%	PAJONAL 36%	CASCARILLA ARROZ 3%	ASERRÍN 4%
FLUIDO	AGUA 40 °C	AGUA 40 °C	AGUA 40 °C	AGUA 40 °C	AGUA 40 °C	AGUA 40 °C	AGUA 40 °C	AGUA 40 °C	AGUA 40 °C	AGUA 40 °C
TIEMPO (MINUTOS)	15	26	30	30	13	27	30	34	52	65
CANTIDAD DE BIOMASA (kg)	4.1	4.6	4.9	5.1	5.2	5.7	7.9	7.4	9.9	12.3

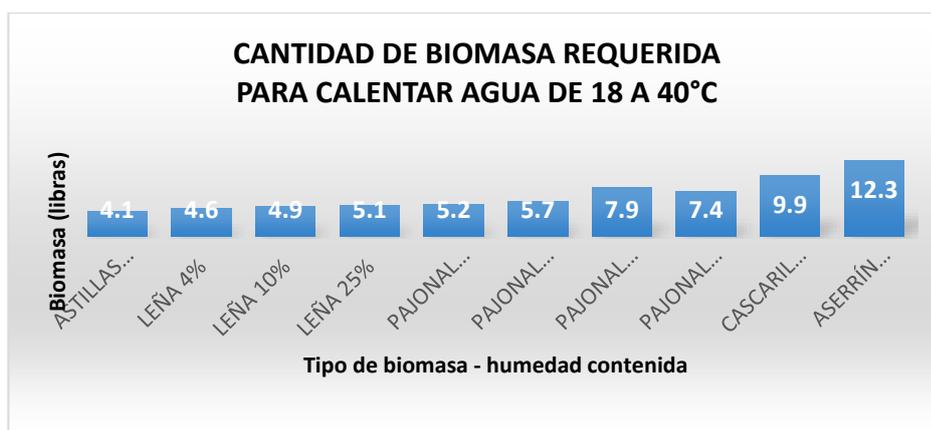


Figura 38. Cantidad de biomasa requerida para calentar agua

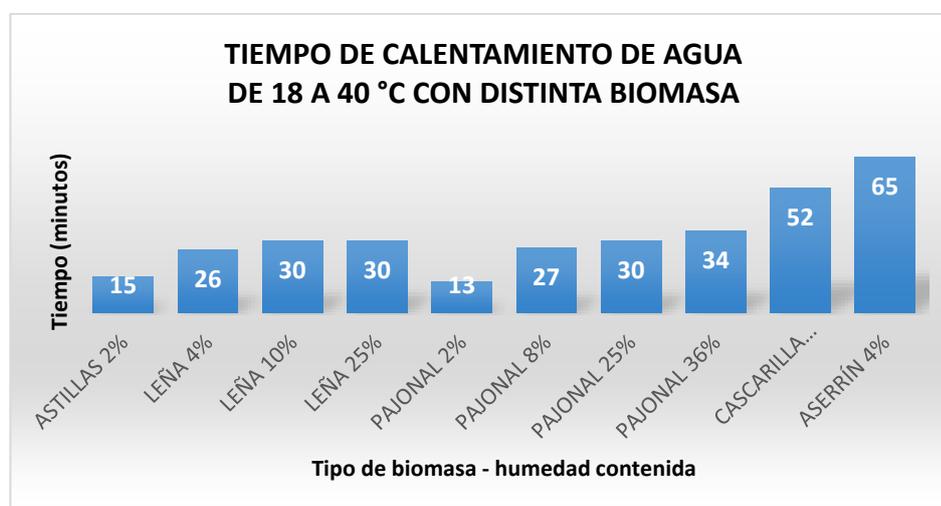


Figura 21. Tiempo empleado en temperar el agua

Además de los ensayos realizados con los distintos tipos de biomasa, es importante realizar dos pruebas adicionales, con la finalidad de comparar la caldera/cocina con otras existentes en la actualidad.

La primera es un **Test de Ebullición de Agua (WBT)**, en la cual el objetivo es determinar el tiempo requerido para llegar al punto de ebullición, cuantificando la cantidad de madera utilizada, con éstos resultados y otros datos adicionales se determinará lo siguiente:

- Eficiencia energética
- Tasa de incineración
- Tiempo de ebullición
- Consumo específico de combustible

Esta prueba se la realiza en tres fases: Inicio frío, caliente y fuego moderado. En la primera fase se enciende el combustible con las temperaturas ambientales locales hasta llegar al punto de ebullición, dónde termina la primera parte de la prueba. A continuación se inicia con la segunda parte, en la cual el inicio se lo hace en caliente, debido a la prueba realizada anteriormente, así mismo se determina el tiempo de ebullición del agua y la cantidad de combustible utilizado. Para finalizar, la tercera prueba consiste en iniciar nuevamente la combustión hasta llegar al punto de ebullición, a diferencia de las otras pruebas aquí se debe mantener la temperatura del agua por 3 °C debajo de la ebullición durante 45 minutos, si la temperatura desciende por debajo de los 6 °C la prueba queda inválida. Con esto se termina el test de ebullición de agua.

La segunda es el **Test de Cocción Controlada (CCT)**, en la cual el objetivo principal es determinar el consumo específico de combustible (SCF) que se requiere para cocinar cualquier alimento. En esta prueba se determina la masa de los alimentos a ser cocinados, y la masa de la madera utilizada en

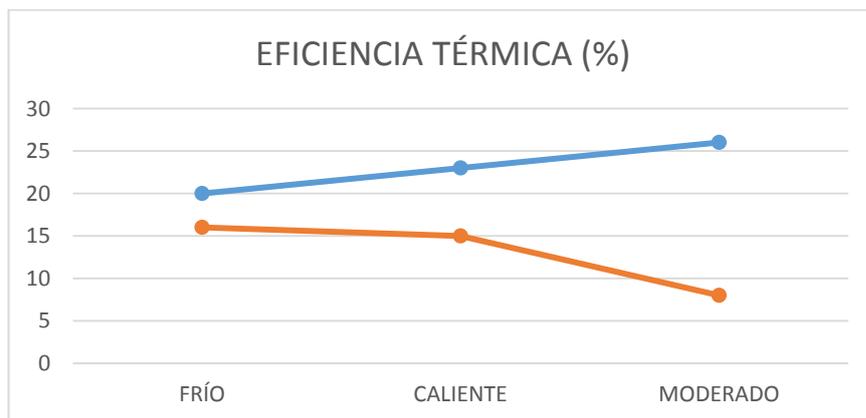
cocer dichos alimentos, con estos datos se obtiene el consumo específico de combustible.

A continuación se puede evidenciar las diferencias entre una estufa de leña mejorada bajo condiciones controladas y pruebas de campo.

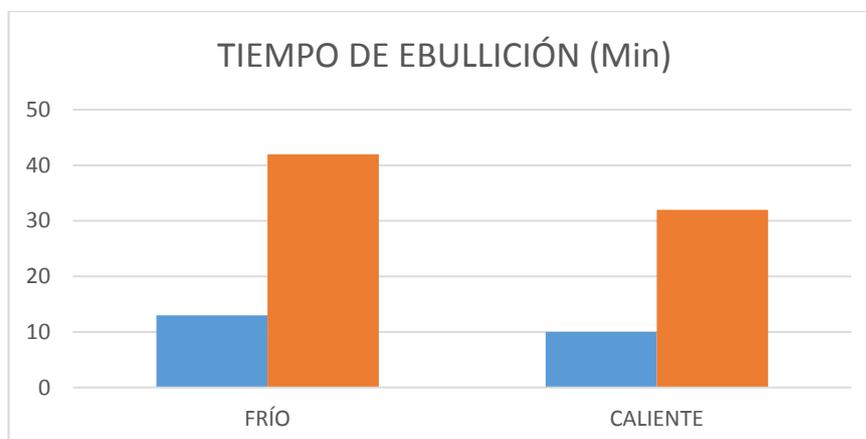
**Tabla 16**

**Test de ebullición de agua (WBT)**

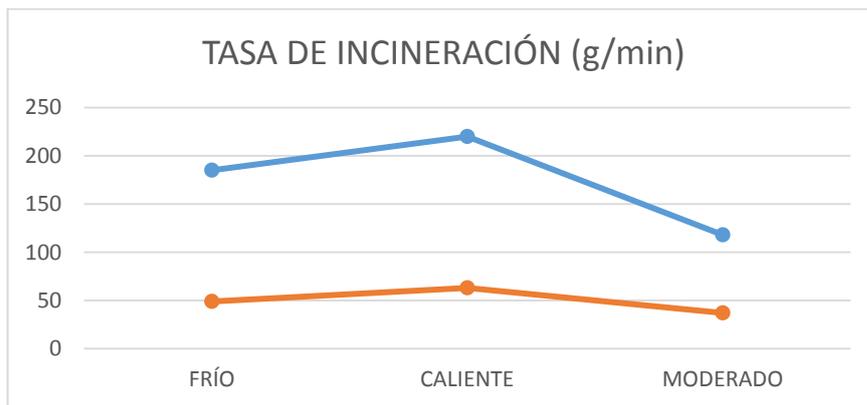
FASE	EFICIENCIA TÉRMICA (%)		TIEMPO EBULLICIÓN (min)		TASA DE INCINERACIÓN (g/min)		CONSUMO COMBUSTIBLE (g/l)	
	Caldera cocina	Aristizabal	Caldera cocina	Aristizabal	Caldera cocina	Aristizabal	Caldera cocina	Aristizabal
FRÍO	20	16	13	42	185	49	120	199
CALIENTE	23	15	10	32	220	63	110	149
MODERADO	26	8			118	37	265	360



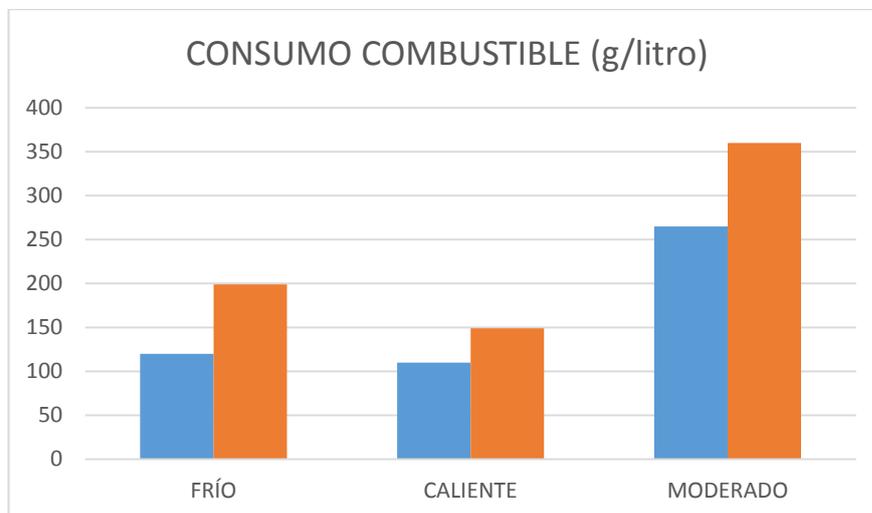
**Figura 22. Eficiencia térmica WBT**



**Figura 23. Tiempo de ebullición WBT**



**Figura 24. Tasa de incineración WBT**

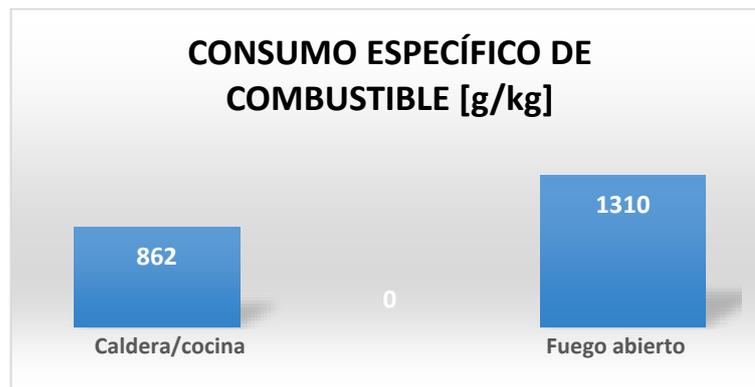


**Figura 25. Consumo de combustible WBT**

**Tabla 17**

**Test de Cocción Controlada (CCT)**

CONSUMO ESPECÍFICO DE COMBUSTIBLE (SCF)			
Caldera/cocina		Fuego abierto	
Alimentos (Kg)	2.9	Masa alimentos (Kg)	2.9
Leña (g)	2500	Masa leña (g)	3800
<b>SCF</b>	<b>862</b>	<b>SCF</b>	<b>1310</b>



**Figura 26. Consumo específico de combustible**

#### 5.4 Análisis de resultados

- La madera seca y húmeda se quema por completo en un lapso de 20 a 30 minutos, con la diferencia de que la madera húmeda primero se seca y luego se quema.
- El agua en la parte superior de la caldera alcanza una temperatura de 40°C, que es una temperatura recomendada para bañarse, sin embargo esta temperatura puede aumentar o disminuir dependiendo de la calidad de biomasa a utilizar. Para obtener buenos resultados se recomienda utilizar astillas, madera, pajonal con un porcentaje de humedad inferior al 10%.
- La madera seca alcanza su máxima temperatura en la flama adiabática a los 8 minutos de iniciarse la combustión, a diferencia de la madera húmeda que alcanza su pico máximo en el minuto 12, esto se debe a que en la madera húmeda primero se evapora la cantidad de agua contenida en la biomasa y luego se combustiona.
- Para calentar 150 litros de agua contenidos en la caldera, se necesita 2.09 kg (4.6 libras) de madera seca (4% humedad), sin embargo, para calentar la misma cantidad de agua con madera húmeda (25%), se necesita 2.31 kg (5.1). Ésta diferencia obedece a que el poder calorífico de la madera disminuye por la humedad contenida, y se compensa ésta diferencia aumentando la cantidad de madera.
- La cantidad de combustible a utilizar es inversamente proporcional al poder calorífico del mismo.

- La caldera/estufa es un 30 % más eficiente que la estufa estudiada por Aristizabal. Así mismo el tiempo de ebullición de agua disminuye en un 69 % utilizando la caldera. Por otro lado la tasa de incineración, es decir la velocidad con la que se consume el combustible es del 70% más rápido comparada con la estufa de Aristizabal. Para finalizar, la caldera/cocina permite ahorrar un 34% en combustible.

## CAPÍTULO VI

### ANÁLISIS ECONÓMICO Y FINANCIERO

#### 6.1 Análisis económico

##### 6.1.1 Costo directo

#### Cuadro 6

##### Materia prima directa

ítem	Descripción	Cantidad	Unidad	Valor unitario	Valor total	Observaciones
1	Plancha A36, 1.22 x 2.44 m, e = 3 mm	4	u	66	264	Cámara de agua, combustión, puertas
2	Plancha A36, 600 x 600 mm, e = 5 mm	1	u	11	11	Bridas
3	Plancha Tool, 1.22 x 2.44 mm, e = 2 mm	1	u	9	9	Sombrero chino, cajón cenicero
4	Tubo A36, Ø 1/2" x 100 mm, e = 3 mm	4	u	2	8	Entrada y salidas de agua
5	Tubo A36, Ø 1" x 250 mm, e = 3 mm	2	u	2	4	Entrada de agua y desfogue
6	Tubo A53, Ø 1" x 300 mm, e = 3.15 mm	12	u	1.7	20.4	Tubos acuatubulares y desfogue
7	Tubo A36, Ø 5" x 2.50 m, e = 2 mm	1	u	20	20	Chimenea, brida
8	Tubo A36, 30 x 30 x 6000 mm, e = 2 mm	1	u	10	10	Bastidor del cenicero
9	Tubo A36, 100 x 50 mm, e = 2 mm	1	u	3	3	Conducto rectangular acuatubular
<b>TOTAL</b>					<b>349.4</b>	

#### Cuadro 7

##### Mano de obra directa

ítem	Proceso	Descripción	Cantidad	Unidad	Valor unitario	Valor total	Observaciones
1	Corte	Plancha A36, 1.22 x 2.44 m, e = 3 mm	50	m	0.5	25	Cámara de agua, combustión, puertas
2	Corte	Plancha A36, 600 x 600 mm, e = 5 mm	1.7	m	0.5	0.85	Bridas
3	Corte	Plancha Tool, 1.22 x 2.44 mm, e = 2 mm	5	m	0.5	2.5	Sombrero chino, cajón cenicero
4	Corte	Tubo A36, Ø 1/2" x 100 mm, e = 3 mm	6	u	0.5	3	Entrada y salidas de agua
5	Corte	Tubo A36, Ø 1" x 250 mm, e = 3 mm	4	u	0.5	2	Entrada de agua y desfogue
6	Corte	Tubo A53, Ø 1" x 300 mm, e = 3.15 mm	24	u	0.5	12	Tubos acuatubulares
7	Corte	Tubo A36, Ø 5" x 2.50 m, e = 2 mm	3	u	1	3	Chimenea, brida
8	Corte	Tubo A36, 30 x 30 x 6000 mm, e = 2 mm	25	u	0.5	12.5	Bastidor del cenicero
9	Corte	Tubo A36, 100 x 50 mm, e = 2 mm	1	u	0.5	0.5	Conducto rectangular acuatubular
10	Perforado	Plancha A36, 1.22 x 2.44 m, e = 3 mm	1	u	10	10	Cámara de agua y combustión
11	Perforado	Plancha A36, 600 x 600	3	u	1	3	Bridas

		mm, e = 5 mm					
12	Rolado	Plancha Tool, 1.22 x 2.44 mm, e = 2 mm	1	u	1	1	Sombrero chino
13	Doblado	Plancha Tool, 1.22 x 2.44 mm, e = 2 mm	4	u	0.5	2	Cajón cenicero
14	Doblado	Plancha A36, 1.22 x 2.44 m, e = 3 mm	12	u	0.5	6	Cámara de agua, combustión, puertas
15	Soldadura	Plancha A36, 1.22 x 2.44 m, e = 3 mm	50	m	1.25	62.5	Cámara de agua, combustión, puertas
16	Soldadura	Plancha A36, 600 x 600 mm, e = 5 mm	1.7	m	1.25	2.125	Bridas
17	Soldadura	Plancha Tool, 1.22 x 2.44 mm, e = 2 mm	5	m	1.25	6.25	Sombrero chino, cajón cenicero
18	Soldadura	Tubo A36, Ø 1/2" x 100 mm, e = 3 mm	6	u	0.5	3	Entrada y salidas de agua
19	Soldadura	Tubo A36, Ø 1" x 250 mm, e = 3 mm	4	u	0.5	2	Entrada de agua y desfogue
20	Soldadura	Tubo A53, Ø 1" x 300 mm, e = 3.15 mm	24	u	0.5	12	Tubos acuo tubulares
21	Soldadura	Tubo A36, Ø 5" x 2.50 m, e = 2 mm	3	u	1	3	Chimenea, brida
22	Soldadura	Tubo A36, 30 x 30 x 6000 mm, e = 2 mm	25	u	0.5	12.5	Bastidor del cenicero
23	Soldadura	Tubo A36, 100 x 50 mm, e = 2 mm	1	u	0.5	0.5	Conducto rectangular acuo tubular
<b>TOTAL</b>						<b>187.23</b>	

## 6.1.2 Costo indirecto

### Cuadro 8

#### Materia prima indirecta

ítem	Descripción	Cantidad	Unidad	Valor unitario	Valor total
1	Disco de corte 4 "	6	u	3.5	21
2	Disco de corte 7"	6	u	5.6	33.6
3	Disco de desbaste 4"	6	u	3.8	22.8
4	Disco de desbaste 7"	6	u	5.7	34.2
5	Electrodo 6010, Ø 1/8"	5	kg	4	20
6	Electrodo 7018, Ø 1/8"	5	kg	4	20
7	Grata de acero	4	u	5	20
8	Lija de agua # 80	6	u	1.2	7.2
9	Lija de acero # 3	2	u	1.3	2.6
10	Lija de acero # 36	2	u	1.25	2.5
11	Lija de acero # 260	2	u	1.35	2.7
12	Anticorrosivo	2	l	4.5	9
13	Pintura	3	l	5	15
14	Thinner	1	l	2	2
15	Tiza de mármol	2	u	2	4
<b>TOTAL</b>					<b>216.6</b>

## Cuadro 9

### Mano de obra indirecta

ítem	Descripción	Cantidad	Unidad	Valor unitario	Valor total	Observaciones
1	Transporte de materiales	1	u	30	30	Dirección Norte - Centro (Quito)
2	Transporte de caldera	1	u	20	20	Quito - ESPE
<b>TOTAL</b>					<b>50</b>	

### 6.1.3 Costo total del proyecto

## Cuadro 10

### Costo total del proyecto

ítem	Descripción	Valor
1	Materia prima directa	349.40
2	Mano de obra directa	187.23
3	Materia prima indirecta	216.00
4	Mano de obra indirecta	55.00
5	Varios	100.00
<b>TOTAL</b>		<b>907.63</b>

## 6.2 Análisis financiero

Para determinar los beneficios económicos del proyecto y tomar decisiones referentes a la fabricación de la caldera, se debe analizar todos los estados financieros, como ingresos, egresos, flujo de caja, etc. La rentabilidad del proyecto se la puede evaluar a través de cuatro maneras como son:

- Unidades monetarias
- Porcentajes
- Tiempo necesario para recuperar la inversión
- Tiempo de vigencia del proyecto

El análisis financiero de la caldera/cocina se basa en que el usuario final tendrá un ahorro idéntico al valor del combustible utilizado.

Para determinar la rentabilidad y viabilidad del proyecto es necesario compararlo con otro(s) equipo(s) que tengan la misma función y cumplan los objetivos planteados al inicio, como son: calentar agua, cocinar alimentos, secar madera y generar calefacción a una vivienda.

Es importante analizar el costo de operación de la caldera y el costo de operación de otro(s) equipo(s) que tengan la misma función.

**Tabla 18**

**Costo de funcionamiento de la caldera/cocina**

Beneficio	Fuente Combustible	Consumo diario (libras)	Consumo mensual (libras)	Valor unitario (\$)	Valor total mensual (\$)
Cocinar	Leña	18	540	0.2	108
Calentar agua					
Calefacción					
Secar madera					
				TOTAL	108

**Tabla 19**

**Costo de funcionamiento de equipos tradicionales**

Beneficio	Fuente Combustible	Cantidad mensual	Unidad	Valor unitario (\$)	Valor total mensual (\$)
Cocinar	Tanque de gas	2	u	2	4
Calentar agua	Tanque de gas	2	u	2	4
Calefacción	Radiador	1	mes	70	70
Secar madera	Resistencia	1	mes	70	70
				TOTAL	148



**Figura 27. Costo de operación de la caldera y equipos tradicionales**

Tabla 20

## Costo de fabricación de la caldera y equipos utilizados

Caldera/cocina			Equipos tradicionales		
Beneficio	Equipo utilizado	Valor total (\$)	Beneficio	Equipo utilizado	Valor total (\$)
Cocinar			Cocinar	Cocina	400
Calentar agua	Caldera/cocina	907.63	Calentar agua	Ducha eléctrica	100
Calefacción			Calefacción	Radiador	200
Secar madera			Secar madera	Cámara secado	300
<b>TOTAL</b>			<b>907.63</b>	<b>TOTAL</b>	<b>1000</b>

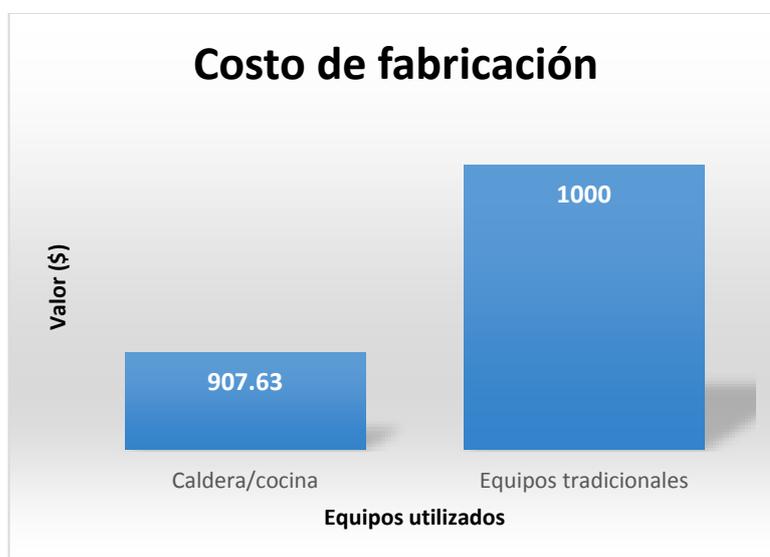


Figura 28. Costo de fabricación de la caldera y equipos utilizados

## CAPÍTULO VII

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 7.1 Conclusiones

- Este proyecto fue diseñado con el fin de cubrir las necesidades de calefacción, cocción y calentamiento de agua en zonas (páramo) de recursos escasos o nulos.
- El poder calorífico de cualquier tipo de biomasa disminuye conforme aumenta el contenido de humedad en la misma. Es decir, la cantidad de biomasa a utilizar es inversamente proporcional al poder calorífico del mismo.
- Por lo mencionado anteriormente siempre se debe tratar de obtener, el combustible con el menor contenido de humedad posible así la energía que se obtendrá en la combustión será mucho más eficiente.
- Para asegurar una combustión óptima la biomasa que va a ser utilizada debe tener forma regular y distribuida en la cámara de combustión de forma horizontal en forma de rejilla, o vertical en forma de pirámide de esta manera haremos que la mezcla aire combustible sea la adecuada.
- La caldera/cocina necesita aproximadamente de 6lb de combustible para calentar 150 litros de agua de 18°C a 45°C aproximadamente en 20 minutos y seca para combustionar 6lb de biomasa en el mismo lapso de tiempo, disminuyendo su humedad en un 33% estos valores cambiaran dependiendo del contenido de humedad de biomasa y del poder calorífico del combustible.
- La cámara de combustión permite ingresar hasta 10 lb de combustible por carga, ya que no se requiere de mayor cantidad para calentar el agua y llegar hasta aproximadamente 45°C así se tenga porcentajes de humedad muy altos de biomasa.
- La olla que se ingresa en la cámara de cocción es aproximadamente de 10 litros de agua suficientes para preparar cualquier tipo de alimento, esto también dependerá de la geometría del utensilio que se

desea ingresar que no se limita a uno solo, por lo cual la caldera/cocina es muy versátil.

- La capacidad de la cámara de secado es aproximadamente de 24 lb tomando muy en cuenta que esta se diseñó con el fin de secar para combustionar aunque esta no solo se ve limitada a este uso, puede ser utilizada también para calentar alimentos entre otros usos, que le el usuario le puede dar, ya que dentro de esta cámara con la biomasa correcta y el porcentaje de humedad ideal se puede alcanzar hasta temperaturas 60°C.
- El combustible de mayor contenido calórico que se evaluó en las pruebas de este proyecto son las astillas de 20 MJ y el aserrín de menor contenido calórico de 10MJ.
- Los gases de combustión emitidos por la caldera/cocina dependerán en qué etapa de la combustión se encuentra, al inicio este será de color blanco, ya que se libera el agua que contiene el combustible esta etapa durara dependiendo del contenido de humedad de la biomasa es decir si es mayor más tiempo durara, luego se convertirá prácticamente transparente donde la combustión alcanza su punto máximo este se mantiene hasta finalizar la combustión.
- La reproducción de la caldera/cocina está enfocada a que sea de fácil construcción ya que solo se utiliza tres procesos básicos de manufactura como son corte, dobles y soldadura, es decir por la forma de su estructura puede ser replicada en cualquier taller mecánico.
- La caldera brinda calefacción al hogar en forma de resistencia térmica es decir esta debe ser utilizada en el interior del hogar para potenciar su uso sin riesgo a los gases de combustión ya que por su diseño la cantidad de gases de combustión que se escapan por las puertas es despreciable y segura para quienes habitan la vivienda.
- La caldera, al estar construida en un 99% de acero A36 tiende a ser corroída, además las condiciones ambientales como la humedad y el viento favorecen al deterioro prematuro de la caldera.

- La biomasa que tiene humedad superior a los 10% necesita más aire en la cámara de combustión para evitar que se ahogue el fuego, y poder evacuar la humedad existente por la chimenea.
- La cámara de secado debe tener obligatoriamente un ingreso y una salida de aire, para que este atraviese la cámara y sea capaz de evacuar la humedad desprendida de la madera. Este ingreso y salida deben ser dimensionados considerando el tiempo de retención de los gases, ya que si se sobredimensiona, el aire que atraviese la cámara no va a ser capaz de evacuar la humedad, lo mismo ocurriría si la entrada y salida estas subdimensionadas.
- El tiro de aire es capaz de evacuar por la chimenea pequeñas partículas de ceniza aún encendidas
- El recolector de ceniza ubicado en la parte superior de la chimenea está diseñado con el fin de atrapar la ceniza incandescente que puede salir disparada por la chimenea de manera que no sea un potencial peligro para casas aledañas que estén construidas con techos de paja que se ve normalmente en estas zonas.
- La caldera/cocina posee una brida de limpieza y un desfogue necesarios para el mantenimiento.

## **7.2 Recomendaciones**

- Se recomienda el estudio del ángulo óptimo que debe tener la entrada de aire y realizar pruebas para poder comparar con los resultados obtenidos en este proyecto.
- Se recomienda el estudio del diámetro y distribución optima de los tubos de agua que sirven como parrilla para biomasa y olla ya que están son una de las principales áreas de transferencia de calor.
- Se recomienda diseñar un sistema de calefacción utilizando agua caliente obtenida de la caldera/cocina que puede ser de continua recirculación.

## BIBLIOGRAFÍA

- Carmona, J. (21 de junio de 2013). *Eficiencia Energética*.
- Cataluña, U. P. (2000). *EPSEM*. Obtenido de [http://epsem.upc.edu/~intercanviadorsdecalor/castella/tubs\\_concentrics.html](http://epsem.upc.edu/~intercanviadorsdecalor/castella/tubs_concentrics.html)
- Cataluña, U. P. (2000). *EPSEM*. Obtenido de [http://epsem.upc.edu/~intercanviadorsdecalor/castella/tubs\\_concentrics.html](http://epsem.upc.edu/~intercanviadorsdecalor/castella/tubs_concentrics.html)
- Cengel, Y. A. (2011). *Termodinámica*.
- Charl, R. (13 de julio de 2012). *Earthineer*.
- Damien, A. (2010). LA BIOMASA.
- Damien, A. (2010). LA BIOMASA, Fundamentos, Tecnologías y Aplicaciones.
- FUNKE. (2009). *Kentooz*.
- Ibex, A. (1998). *Acciona*. Obtenido de <http://www.acciona.es/lineas-de-negocio/energia?gclid=CKmqsr3u9cMCFahZ7AoddSYA8Q>
- IM, G. (09 de junio de 2013). *Blogger*. Obtenido de [dispositivosflujoestableestadoestable.blogspot.com/2013/06/normal-0-21-false-false-false-es-x-none\\_8822.html](http://dispositivosflujoestableestadoestable.blogspot.com/2013/06/normal-0-21-false-false-false-es-x-none_8822.html)
- IM, G. (09 de junio de 2013). *Blogger*. Obtenido de [dispositivosflujoestableestadoestable.blogspot.com/2013/06/normal-0-21-false-false-false-es-x-none\\_8822.html](http://dispositivosflujoestableestadoestable.blogspot.com/2013/06/normal-0-21-false-false-false-es-x-none_8822.html)
- IM, G. (2013). *Blogger*. Obtenido de [dispositivosflujoestableestadoestable.blogspot.com/2013/06/normal-0-21-false-false-false-es-x-none\\_8822.html](http://dispositivosflujoestableestadoestable.blogspot.com/2013/06/normal-0-21-false-false-false-es-x-none_8822.html)
- Incropera, F. (1999). *Fundamentos de Transferencia de Calor*. México.
- Industriales, P. (2001). *Proveedores Industriales*. Obtenido de [www.dirind.com/dim/monografia.php?cla\\_id=75](http://www.dirind.com/dim/monografia.php?cla_id=75)
- INTECH. (1950). *Proyectos Ambientales*.

Montes, D. d. (1952). *Depósito de documentos de la FAO*. Obtenido de [www.fao.org/docrep/t0512s/t0512s03.htm](http://www.fao.org/docrep/t0512s/t0512s03.htm)

Requena, A. (11 de abril de 2012). *Slideshare*. Obtenido de [es.slideshare.net/alejandrorequena/combustin-del-carbn](http://es.slideshare.net/alejandrorequena/combustin-del-carbn)

Rocket. (1970). *Pinterest*. Obtenido de <https://www.pinterest.com/tomviets/homestead-rocket-stove-heater/>

Rosati, S. (2003). *Altener*.

Térmica, M. e. (2009). *Máquinas y motores térmicos*.

Thomson, B. (1960). *Textos Científicos*. Obtenido de <http://www.textoscientificos.com/>