



PONTIFICIA **UNIVERSIDAD CATÓLICA** DEL PERÚ

Esta obra ha sido publicada bajo la licencia Creative Commons
Reconocimiento-No comercial-Compartir bajo la misma licencia 2.5 Perú.

Para ver una copia de dicha licencia, visite
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/>



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERU

Facultad de Ciencias e Ingeniería



PONTIFICIA
**UNIVERSIDAD
CATÓLICA**
DEL PERÚ

DISEÑO, FABRICACIÓN Y PRUEBAS DE UN CALENTADOR DE AGUA PORTÁTIL A LEÑA HECHO CON MATERIALES RECICLABLES.

Tesis para optar al título de Ingeniero Mecánico, que presenta el bachiller:

Richard Layseca García

ASESOR: Miguel Ángel Hadzich Marín

Lima, Julio del 2009

RESUMEN

La tesis busca diseñar, fabricar y probar un dispositivo que permita calentar agua con leña, para satisfacer las necesidades de pobladores ubicados en las zonas más frías de nuestro territorio.

Disponer de este dispositivo permitirá disminuir la falta de higiene de estos pobladores, atacará el problema de salud que se origina por la inhalación de gases de combustión que se desprenden al usar la leña como elemento portador de energía.

En este trabajo de tesis se explica la metodología de diseño conceptual, el diseño cumple con una lista de exigencias y deseos que sirven como parámetros en busca del prototipo ideal, se analiza la estructura de funcionamiento y de se descompone en sus elementos esenciales, los cuales a través de una matriz morfológica encuentran de forma rápida y creativa soluciones a sus problemas.

La tesis cuenta con instrucciones de fabricación que permiten construirla de forma sencilla, tiene una breve descripción de las partes del calentador de agua, también cuenta con parámetros de soldadura, prueba hidrostática y evaluación económica.

La máquina es un calentador de agua de forma cilíndrica, que por medio de la transferencia de calor que se produce entre el agua, las paredes del cilindro y la cámara de combustión donde se quema la leña, el agua eleva su temperatura.

El calentador es versátil sirve también para calentar bañeras, piscinas o jacuzzis pues al elevar la temperatura del agua, esta circula por el calentador por medio del efecto físico que se produce al cambiar su densidad. (Efecto Termosifón)

El dispositivo es seguro, tiene una eficiencia del 33.74% la cual es muy alta para este tipo de máquinas.

El tiro de la chimenea minimiza la emisión de gases de combustión al ambiente, contribuyendo a disminuir las enfermedades que se originan por aspiración de gases contaminantes.

En la actualidad no se disponen comercialmente de este tipo de máquinas en nuestro país, mucho menos hechas con materiales reciclados, este diseño logrará un impacto positivo al despertar la curiosidad por la inventiva en las personas demandantes de tecnología, al ver que en su mayoría el calentador está hecho de materiales de segundo uso y que puede ser desarrollado por ellos.



TEMA DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO

TÍTULO : **DISEÑO, FABRICACIÓN Y PRUEBAS DE UN CALENTADOR DE AGUA PORTÁTIL A LEÑA HECHO CON MATERIALES RECICLABLES.**

PROPUESTO POR : Ing. Miguel Hadzich Marín

ASESOR : Ing. Miguel Hadzich Marín

AREA : ENERGÍA #278

TESISTA : Richard Layseca García

CÓDIGO : 2000.2214

FECHA : 10 de Junio de 2009

DESCRIPCIÓN Y OBJETIVOS:

El principal objetivo de la tesis es diseñar un calentador de agua a leña portátil que permita con eficiencia y rapidez calentar grandes cantidades de agua, con simples instalaciones de albañilería, utilizando únicamente leña como material de aporte energético. Este calentador de agua a leña permitirá disponer de agua caliente para uso higiénico, calefacción o confort para las poblaciones más afectadas por el frío.

Actualmente 33% de la población vive en la Sierra, zona donde se produce las temperaturas más bajas del país, siendo allí específicamente donde el proyecto obtendrá alta importancia. Si a esto le sumamos que aproximadamente el 27% de la población vive en zonas rurales y el 82% de ésta utiliza como material de aporte energético la biomasa, principalmente la leña, el uso de nuestro calentador tendrá una amplia demanda.

La Tesis consiste en diseñar, fabricar y probar este equipo, teniendo como principales exigencias:

- Ser de fácil fabricación para poder desarrollarla en zonas con medianos recursos.
- Utilizar la re-ingeniería de los materiales.
- Tener bajo costo de fabricación para encontrarse al alcance de personas de escasos recursos.
- No requerir de ninguna fuente externa de energía además de la que pueda ser proporcionada por la leña.

**TEMA DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO****DISEÑO, FABRICACIÓN Y PRUEBAS DE UN CALENTADOR DE AGUA
PORTÁTIL A LEÑA HECHO CON MATERIALES RECICLABLES.**

Introducción.

1. Descripción del problema.
2. Diseño.
3. Cálculos.
4. Fabricación.
5. Pruebas de funcionamiento.
6. Materiales y costos.

Conclusiones y recomendaciones.

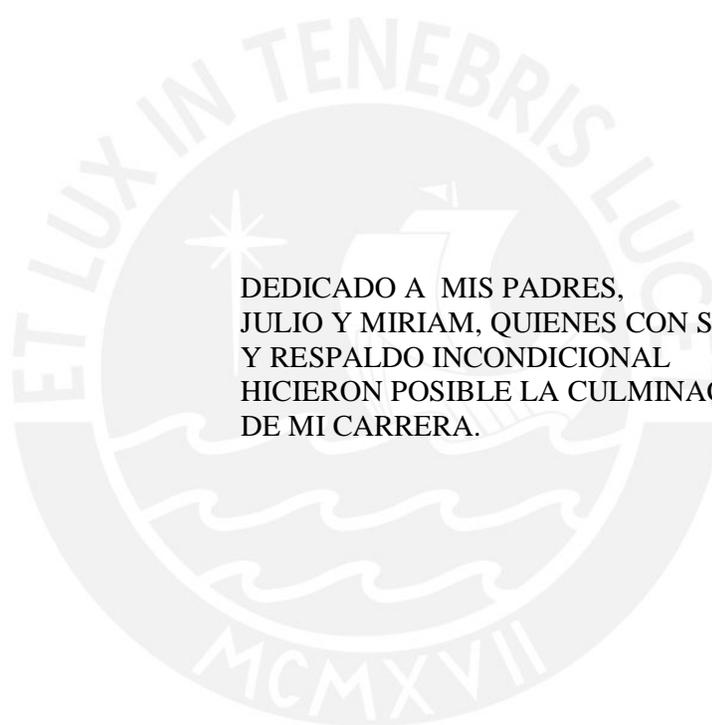
Bibliografía

Planos

Anexos

Ing. Miguel Hadzich
Asesor

**EL CONOCIMIENTO ES UN ARMA
QUE DEBE SER DIRIGIDA HACIA EL
BIEN COMÚN, SU VERBO DEBE
SER MEJORAR LA CALIDAD
DE VIDA DE LOS MÁS NECESITADOS.**



DEDICADO A MIS PADRES,
JULIO Y MIRIAM, QUIENES CON SU APOYO
Y RESPALDO INCONDICIONAL
HICIERON POSIBLE LA CULMINACIÓN
DE MI CARRERA.

ÍNDICE DE CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN.	i
APROBACIÓN DE TEMA DE TESIS.	ii
DEDICATORIA.	iv
INDICE DE CONTENIDO.	vi
LISTA DE SIMBOLOS	x
INTRODUCCIÓN.	1
I. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.	2
1. JUSTIFICACIÓN.	2
a) Estudio de la necesidad de la población.	2
2. TECNOLOGÍA EXISTENTE.	3
3. APLICACIONES DEL DISEÑO.	4
a) Agua caliente para higiene personal.	4
b) Agua caliente para sistema de calefacción.	4
c) Agua para uso doméstico.	5
4. OBJETIVOS.	5
a) Objetivo general.	5
b) Objetivos específicos del diseño.	6
II. DISEÑO DE UN CALENTADOR DE AGUA PORTATIL A LEÑA.	7
1. LISTA DE EXIGENCIAS.	7
a) Funciones.	7
b) Geometría.	7
c) Energía.	8
d) Material.	8
e) Seguridad.	8
f) Fabricación.	8
g) Montaje.	9
h) Transporte.	9
i) Uso.	9
j) Mantenimiento.	9

k) Ergonomía.	9
l) Costos.	9
2. ESTRUCTURA DE FUNCIONES.	10
a) Abstracción: caja negra	10
b) Secuencia de operaciones.	10
c) Procesos técnicos.	11
d) Estructura de funciones.	12
3. MATRIZ MORFOLÓGICA.	13
4. CONCEPTO ÓPTIMO.	15
a) Determinación del concepto óptimo.	15
b) Evaluación Técnico–Económico de propuestas.	18
c) Selección de material para el Intercambiador de Calor.	21
d) Evaluación Técnico–Económico para el intercambiador de calor.	25
e) Diseño preliminar.	27
III. CÁLCULOS.	28
1. ESTUDIO DE LAS NECESIDADES A CUBRIR.	28
2. CÁLCULO DEL CONSUMO DE LEÑA.	29
3. DIMENSIONAMIENTO DEL CALENTADOR A LEÑA.	34
a) Cálculo de la relación aire/combustible.	34
b) Cálculo del flujo de aire.	38
c) Dimensionamiento de la chimenea.	40
d) Dimensionamiento de la entrada de aire primario.	41
e) Cálculos del diámetro del ducto de los gases de combustión	43
4. BALANCE ENERGETICO ECUACIONES Y CORRELACIONES.	44
a) Calor generado por la leña. ($Q_{leña}$)	46
b) Calor ganado por el agua. (Q_a)	46
c) Calor absorbido por los materiales del calentador. (Q_{mc})	47
d) Calor evacuado para absorber humedad. (Q_{eva})	48
e) Calor evacuado por los gases de combustión. (Q_{gc})	48
f) Calor perdido por la combustión incompleta de la leña. (Q_{inc})	48
g) Calor evacuado a través de las superficies en contacto con el medio ambiente.	49
• Calor evacuado a través de área lateral (Q_L).	50

• Calor evacuado a través de las superficies verticales.	52
j) Calor evacuado a través de los ductos de recirculación.	54
5. CALCULO DE LA EFICIENCIA TOTAL DEL SISTEMA η .	54
IV. FABRICACIÓN.	55
1. PARTES PRINCIPALES DEL CALENTADOR A LEÑA.	55
a) Carcasa exterior.	55
b) Carcasa interior.	55
c) Chimenea.	56
d) Tapa del hogar.	56
e) Bisagra.	56
f) Patas inferiores.	56
g) Conductos de agua.	56
h) Manijas.	57
i) Parrilla.	57
2. CONSIDERACIONES PARA SOLDAR.	57
• SEGURIDAD.	58
• PROCEDIMIENTO PARA SOLDAR.	58
3. INSTRUCCIONES DE FABRICACIÓN.	60
4. CONTROL DE CALIDAD	65
• Pruebas de conformidad.	65
• Protocolo de Prueba Hidrostática.	67
• Corrosión.	68
V. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO.	70
1. HERRAMIENTAS, MATERIALES Y EQUIPOS.	71
2. CONDICIONES DE PRUEBA.	72
3. PUNTOS DE MEDICIÓN	72
4. DESCRIPCIÓN DE LAS PRUEBAS.	73
5. RESULTADOS DE LA PRUEBAS.	74
a) Prueba1.	74
b) Prueba2.	75
c) Prueba3.	76

6. BALANCE TÉRMICO DE LAS PRUEBAS.	79
a) Calor aportado por la leña. (Qleña)	79
b) Calor ganado por el agua. (Qa)	79
c) Calor absorbido por los materiales del calentador. (Qmc)	80
d) Calor evacuado por los gases de combustión. (Qgc)	80
e) Calor perdido por la combustión incompleta de la leña. (Qinc)	81
f) Calor evacuado a través de las superficies en contacto con el medio ambiente.	81
• Calor evacuado a través de área lateral (QL).	81
• Calor evacuado a través de tapa y contrapata (Qt).	83
7. INSTALACIÓN DE LA VALVULA MARIPOSA PRUEBA.	85
VI. MATERIALES Y COSTOS	88
1. CONSIDERACIONES	88
2. DISTRIBUCIÓN DE COSTOS	88
a) Ingeniería	88
b) Fabricación	88
3. DETALLE	89
a) Ingeniería	89
b) Fabricación	89
CONCLUSIONES	91
RECOMENDACIONES	92
BIBLIOGRAFÍA	93
ANEXOS	

LISTA DE SIMBOLOS.

C_p	: Calor Específico [KJ/Kg°C]
\dot{m}	: Flujo másico [Kg/s]
\dot{Q}	: Flujo de Calor [KW]
T	: Temperatura [°C ó K]
η	: Eficiencia.
PC	: Poder calorífico [KJ/Kg]
W	: Contenido del agua higroscópica (kg/kg de combustible)
\dot{V}	: Flujo volumétrico [m ³ /s]
Z	: Tiro de Chimenea
D	: Diámetro [mm]
Q	: Calor [KJ]
m	: masa [Kg]
h	: Porcentaje de hidrógeno por kg de combustible quemado. [%]
α	: Coeficiente de transferencia de calor [kW/m ² / °C]
AT	: Área de transmisión de calor [m ²]
L	: Longitud [mm]
σ	: Constante de Stefan-Boltzman $5,6697 \times 10^{-8}$ [W/m ² K ⁴]
ε	: Factor de emisividad del material.
Un	: Número adimensional de Nusselt.
Pr	: Número adimensional de Prandtl.
Re	: Número adimensional de Reynolds
μ	: viscosidad dinámica del flujo (N*s/m ²)
k	: conductividad térmica.

INTRODUCCION

La presente tesis es un trabajo de investigación que busca prestar ayuda a personas de bajos recursos, carentes de agua caliente sanitaria en sus hogares y que utilizan como material de aporte energético para su cocina, higiene o calefacción la leña.

Por medio de este trabajo de tesis logramos ser capaces de desarrollar un dispositivo que permite calentar agua de forma segura y eficiente, y con esto ayudar a personas que carezcan de este recurso.

La tesis contempla un estudio de las necesidades de los pobladores afectados por la ola de frío, sustenta el diseño, la forma constructiva y los materiales que se utilizan en la fabricación del dispositivo calentador de agua.

Es nuestra preocupación mejorar las condiciones de vida de nuestros hermanos que viven en zonas afectadas por bajas temperaturas y que enfrentan diariamente un clima inapropiado para su desarrollo familiar. Por esto utilizamos nuestros conocimientos y tecnologías en busca del bienestar social de estos pobladores que no cuentan con un dispositivo sencillo y económico que funcione como una terma y les permita mejorar su calidad de vida enfocada en la higiene, sobretodo en los niños y ancianos.

Este dispositivo fue diseñado, fabricado y probado con ayuda del GRUPO PUCP, dando resultados satisfactorios. Nuestra pregunta inicial al comenzar esta investigación era ¿seremos capaces de crear un calentador de agua a leña eficiente y económico con materiales reciclados? concluimos que la respuesta es afirmativa.

En este trabajo se verá todo el desarrollo e investigación que se siguió en busca del diseño óptimo del calentador de agua a leña.

CAPÍTULO I

DESCRIPCION DEL PROBLEMA.

1) JUSTIFICACION.

a) Estudio de la Necesidad de la Población.

El principal objetivo de la tesis es diseñar un calentador de agua a leña portátil que permita con eficiencia y rapidez calentar grandes cantidades de agua con simples instalaciones de albañilería, utilizando únicamente leña como material de aporte energético. Este calentador de agua a leña permitirá obtener agua caliente para uso higiénico, calefacción o confort para las poblaciones más afectadas por el frío.

Según los datos del INSTITUTO NACIONAL DE ESTADISTICA E INFORMATICA (INEI) en el año 2005, el 27.37% de la población vive en zonas rurales y además de que el 43% de los peruanos usa biomasa como combustible¹ de aporte energético, por esto la aplicación del calentador tiene un amplio mercado a satisfacer.

¹ GTZ Improved Stoves as a key Intervention to enhance environmental health in the Andes. (preface)

TABLA I.1

POBLACION NOMINALMENTE CENSADA DE 1972 A 1993 Y ESTIMADA 2004 – 2005							
SEGUN REGION NATURAL, AREA URBANA – RURAL							
Concepto	Censos Nacionales			2004		2005	
	1972 (4 julio)	1981 (12 julio)	1993 (11 julio)	Población	Porcentaje	Población	Porcentaje
TOTAL	13.538	17.005	22.048	27.547	100%	27.947	100%
Región Natural							
Costa	6.551	8.458	11.424	14.477	52,55%	14.705	53,38%
Sierra	6.052	6.775	7.948	9.233	33,52%	9.350	33,46%
Selva	935	1.772	2.677	3.836	13,93%	3.892	13,93%
Área							
Urbana	8.058	11.092	15.459	19.966	72,48%	20.296	72,63%
Rural	5.480	5.913	6.590	7.580	27,52%	7.650	27,37%

a/ Población estimada al 30 de junio de cada año. Las cifras corresponden a proyecciones realizadas por el INEI.
 Nota: La población, según región natural, ha sido calculada sobre la base de la distribución distrital.
 Fuente: INSTITUTO NACIONAL DE ESTADISTICA E INFORMATICA (INEI)- Boletín "Estimaciones y Proyecciones de Población Total, Urbana y Rural por Años Calendario y Edades Simples, 1970-2025. Julio 2002" Elaboración: INSTITUTO CUANTO..

2) TECNOLOGÍA EXISTENTE.

La técnica mayormente usada para el calentamiento de grandes cantidades de agua en los sectores rurales se limita al uso muy generalizado de las termas solares (Ver Figura I.1), si bien tienen una buena eficiencia y una recuperación rápida de su inversión, esta inversión inicial es muy elevada para pobladores de extrema pobreza. Además el transporte de las termas solares es dificultoso y su uso está limitado por la incidencia solar del lugar donde es instalado.

Nuestro proyecto está dirigido a pobladores de bajos recursos y tiene una diversidad de aplicaciones, su uso no depende del clima de la región o lugar donde será instalado, su único limitante es que en la zona donde será utilizado cuentan con leña como material de aporte energético.



FIGURA I.1 TERMAS SOLARES

Calentamiento de agua: Uso de terma solar (Fuente gráfica: www.solartec.com.pe)

Existen también calentadores de agua eléctricos y calentadores que utilizan como fuente energética combustibles derivados del petróleo (diesel, GLP, kerosene, gasolina etc.) sin embargo este tipo de calentadores implican también una fuerte inversión inicial y una inversión económica constante para cubrir su uso, por esto, este tipo de calentadores no es apropiado para pobladores de extrema pobreza y además que su uso está limitado a zonas donde exista electricidad o venta de combustibles derivados de la industria petroquímica.

3) APLICACIONES DE DISEÑO.

a) Agua caliente para higiene personal.

Este calentador permitirá almacenar agua caliente. Con el agua caliente los pobladores mejorarán su salubridad pues podrán ducharse y asearse con mucha comodidad. Debido a su diseño, será capaz de adaptarse a bañeras o tinas, siendo útil para el aseo de niños o ancianos.

b) Sistema de calefacción con agua caliente.

Con una instalación dentro del hogar a través de una red de tuberías, el calentador de agua a leña será capaz de brindar calefacción interna con la quema de los leños al exterior de la casa, permitiendo gozar de un ambiente agradable. También se podrán evitar las enfermedades por envenenamiento que se producen por la inhalación de humos que se

desprenden durante la combustión de los leños, sobretodo enfermedades que afectan en su gran mayoría a niños menores de 5 años.

c) Agua para uso doméstico.

El agua caliente generada también podrá ser utilizada para la limpieza de artículos domésticos de uso diario (vajillas, cubiertos, ollas, etc.) o en el lavado de prendas de vestir ya que la temperatura elevada del agua mejora el uso del jabón o detergente.

4) OBJETIVOS.

a) Objetivo General.

- Satisfacer la demanda energética de agua caliente en las poblaciones rurales y urbano-marginales.

b) Objetivos Específicos del diseño.

- Diseñar una máquina que caliente agua por medio de energía calorífica aportada por leña, que sea de fácil fabricación, bajo un diseño práctico, económico y accesible a pobladores de escasos recursos.
- Con este diseño se desea mejorar la salubridad del poblador rural al facilitarle agua caliente económica para que éste pueda utilizarla en su higiene personal, lavado de prendas de vestir, lavado de vajilla, etc.
- Que sea portátil, ligera, y de fácil instalación.
- Que esté fabricada en su mayoría por materiales de segunda condición y que éstos se encuentren en el mercado nacional. Se busca que al utilizar estos materiales el diseño logre un impacto positivo sobre las personas al ver cómo se puede aplicar la re-ingeniería y despertar su curiosidad por la inventiva.

- Acercar la universidad a los sectores demandantes de tecnología para la satisfacción energética.
- Crear confort en el poblador rural con un calentador de agua eficiente y de bajos costos, aplicando una tecnología sencilla.



CAPITULO II

DISEÑO DEL CALENTADOR DE AGUA PORTATIL A LEÑA.

1) LISTA DE EXIGENCIAS

LISTA DE EXIGENCIAS		EDICIÓN	Pág.1 de 3
PROYECTO: DISEÑO, FABRICACIÓN Y PRUEBAS DE CALENTADOR DE AGUA PORTATIL A LEÑA HECHO CON MATERIALES RECICLABLES.		CLIENTE: GRUPO DE APOYO AL SECTOR RURAL	N° de Identificación
			Diseñado por: RICHARD LAYSECA GARCÍA
			Redactado por: R. Layseca G.
			Fecha:
D ó E	Exigencias		Responsable
	a) Funciones		
E	El calentador servirá para calentar agua.		Diseñador
E	El calentador se encargará de la recirculación del agua.		Diseñador
D	El calentador debe ser capaz de calentar agua de cualquier tipo estanque con mínimas conexiones de albañilería.		Diseñador
D	El calentador deberá calentar como mínimo 40°C.		Diseñador
D	El calentador debe ser versátil, capaz de calentar piscinas o jacuzzi, o para lavado e higiene personal si es adaptado un tanque reservorio.		Diseñador
	b) Geometría		
E	El calentador debe ser compacto, para su fácil transporte.		Diseñador
E	Debe tener una geometría que permita ser transportado como máximo por 2 personas.		Diseñador

E	La geometría del intercambiador de calor será adaptada a la cámara de combustión con la finalidad de tener mayor superficie de contacto térmica.	Diseñador
c) Energía		
E	La energía que utilizaremos para el calentamiento del agua será aportada por la leña por ser económica y disponible en muchas zonas.	Usuario
D	Obtener las mínimas pérdidas.	Diseñador
E	El sistema de circulación del agua no utilizará otra energía más que la suministrada por la leña.	Diseñador
d) Material		
E	Los materiales a utilizar serán resistentes a la corrosión y al calor.	Diseñador
D	Los materiales que se utilizarán en el sistema de circulación del agua no deben contaminarla.	Diseñador
E	Los materiales a utilizar deben estar disponibles en el mercado local.	Diseñador
E	Los materiales a utilizar deben ser reciclados con el fin de disminuir costos, y buscar una buena alternativa para re-utilizarlos; contribuyendo con el medio ambiente.	Diseñador
D	Se construirá con materiales de fácil accesibilidad para el poblador.	Diseñador
e) Seguridad		
E	El calentador tendrá un diseño adecuado para prevenir las quemaduras de los usuarios.	Diseñador
E	El calentador no debe tener elementos cortantes para facilitar su manipulación.	Diseñador Usuario
E	Se debe tener una chimenea para la salida de los gases de combustión.	Diseñador
f) Fabricación		
E	Las piezas que forman parte del calentador, serán de forma sencilla y de fácil manufactura.	Diseñador
D	Todos los materiales en lo posible (tubos, accesorios, tuercas, arandelas, etc.) deben ser normalizados.	Diseñador Usuario
D	Los componentes de la máquina deben permitir un embalaje en un espacio reducido.	Diseñador
E	Para su fabricación se utilizará una máquina soldadora, equipo de oxicorte, compases, sierra, taladro, y herramientas básicas (martillo,	Diseñador

	cuchilla, alicates, wincha, etc.)	
	g) Montaje	
D	Realizar un manual donde se indique los pasos para realizar el montaje.	Diseñador
E	Dada su concepción debe ser instalada con mínimas obras de albañilería.	Diseñador
E	Herramientas básicas para realizar el montaje.	Diseñador
D	El montaje deben realizarlo los mismos pobladores, sin necesidad de tener conocimientos técnicos avanzados.	Usuario
	h) Transporte	
E	El calentador será portátil.	Diseñador
E	El calentador no debe pasar mas de 50kg para poder ser trasladado con comodidad por de 2 personas.	Usuario
	i) Uso	
E	Los calentadores serán utilizados en sectores rurales de la costa.	Usuario
E	Podrá ser usado por cualquier persona sin ningún conocimiento técnico.	Usuario
	j) Mantenimiento	
D	Frecuencia de mantenimiento baja	Usuario
E	Su limpieza será de forma rápida y eficaz.	Usuario
D	Repuestos fáciles de obtener y baratos. Puede tenerse partes de recambio.	Usuario
	k) Ergonomía	
E	El acceso a los distintos elementos de la maquina deben ser cómodos para realizar operaciones de mantenimiento, montaje, desmontaje	Diseñador
	l) Costos	
E	Costos bajos de tal manera que su fabricación sea rentable, accesible y atractiva para el poblador.	Diseñador

2) ESTRUCTURA DE FUNCIONES

a) Abstracción: caja negra.



Entradas.

Materia: Agua fría.

Leña.

Energía: **Calorífica**: suministrada para calentar el agua.

Humana: necesaria para la instalación del calentador.

Señales: Activada al iniciar el proceso combustión.

Salidas.

Materia: Agua caliente a más de 40°C.

Cenizas, humo.

Energía: Pérdidas por transferencia del calor.

Señales: Circulación del agua.

b) Secuencia de operación.

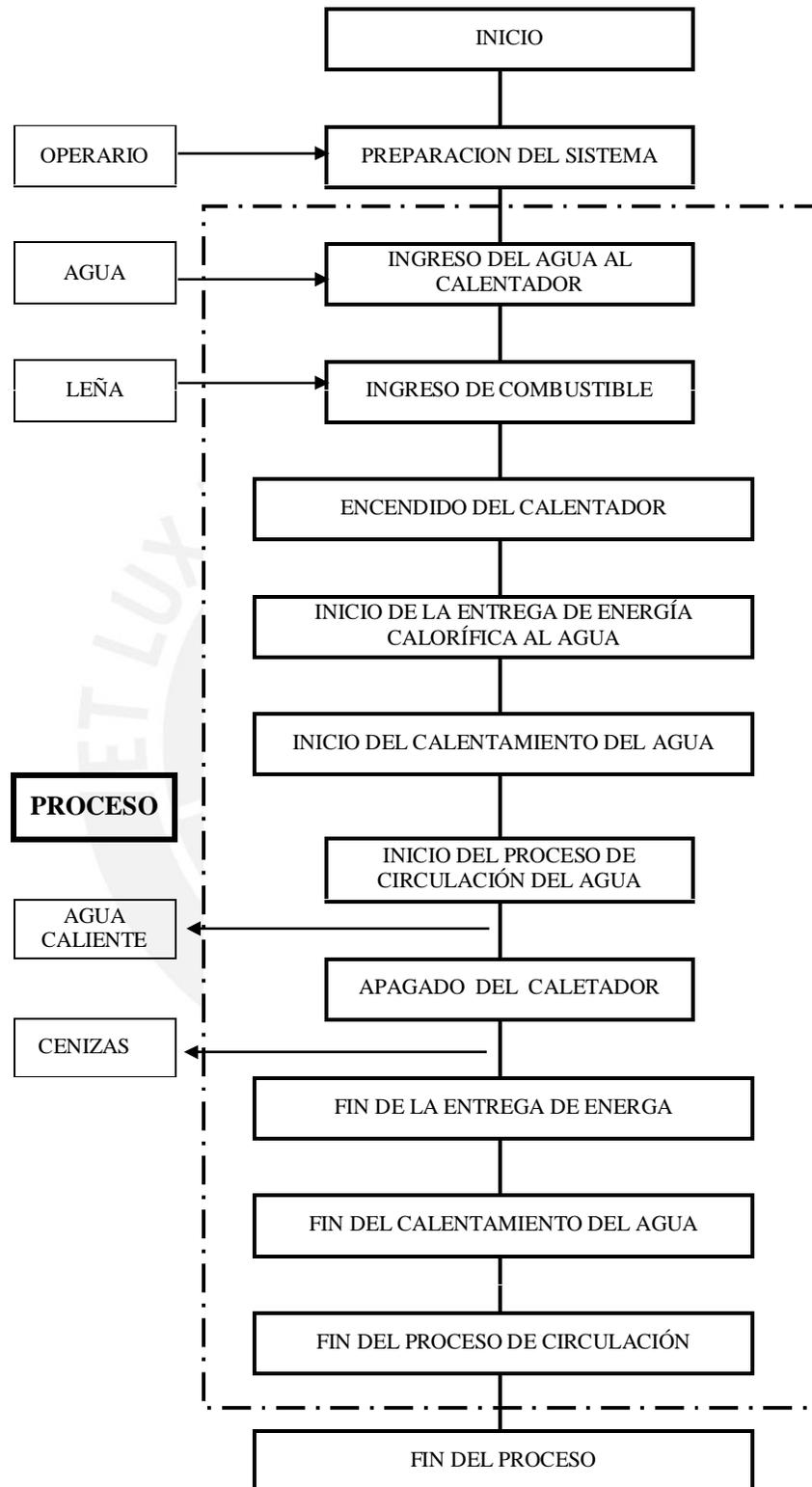
La secuencia de operación es:

- Conexión del agua fría al calentador.
- Encendido del calentador.
- Calentamiento del fluido.
- Circulación del fluido por efecto termosifón

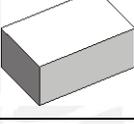
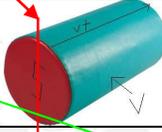
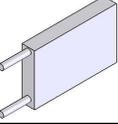
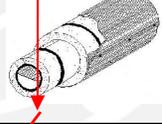
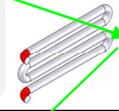
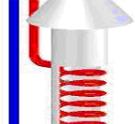
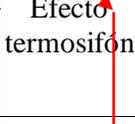
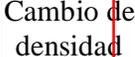
c) Procesos técnicos

- Preparación:
- Inspección de las conexiones de albañilería.
 - Limpieza de la cámara de combustión.
 - Inspección y conexionado del ducto de escape de humo.
 - Inspección de visual del calentador.
- Ejecución:
- Ingreso del fluido hacia el calentador.
 - Encendido del calentador.
 - Entrega de energía.
 - Salida del fluido caliente del calentador.
 - La temperatura del agua empieza a subir
- Fase Final:
- Se apaga el calentador.
 - Culmina la entrega de energía.
 - Termina el ciclo.
- Señal:
- Circulación del agua por efecto termosifón.
(Nos confirmará el cambio de densidad del agua y su “calentamiento”).

d) Estructura de funciones



3) MATRIZ MORFOLÓGICA

FUNCIÓN		PORTADOR DE FUNCIÓN			
1 SISTEMA DE ALIMENTACIÓN					
1.1	Fuente de Alimentación del fluido	 red	 Tanque		
2 SISTEMA DE CALENTAMIENTO DEL FLUIDO					
2.1	Encendido del sistema	 Manual	 Automático		
2.2	Energía	 Leña			
2.3	Forma del calentador	 Paralelepípedo	 cilindro		
2.4	Tipo intercambiador de calor	 Paralelepípedo	 Cilíndrico	 Serpentín	
2.5	Ubicación del intercambiador de Calor	 En la cámara de combustión del calentador	 Chimenea del calentador		
3 SISTEMA DE CIRCULACIÓN					
3.1	Mecanismo de circulación del fluido	 Presión Bomba	 Efecto termosifón		
			 Cambio de densidad		

3.2	Encendido del sistema circulación				
		Manual	Automático	No Necesita	
4 SISTEMA DE CONTROL Y SEGURIDAD					
4.1	Control de la temperatura del agua				
		Tacto	Termocupla.	Termostato.	
4.2	Control del calor en la cámara de combustión				
		Válvula de aire	Trampas de aire circulares		
4.3	Válvula de ingreso agua fría				
		Llave de bola	No necesita		
4.4	Válvula de salida agua caliente				
		Llave de bola	No necesita		
5 GASES DE ESCAPE					
5.1	Salida de gases de combustión chimenea				
		cilíndrica	cuadrada		
6 SISTEMA DE APAGADO					
6.1	Apagado de la Caldera				
		Control del oxígeno (Usuario)			

■ OPCIÓN 1

■ OPCIÓN 2

■ OPCIÓN 3

4) CONCEPTO OPTIMO

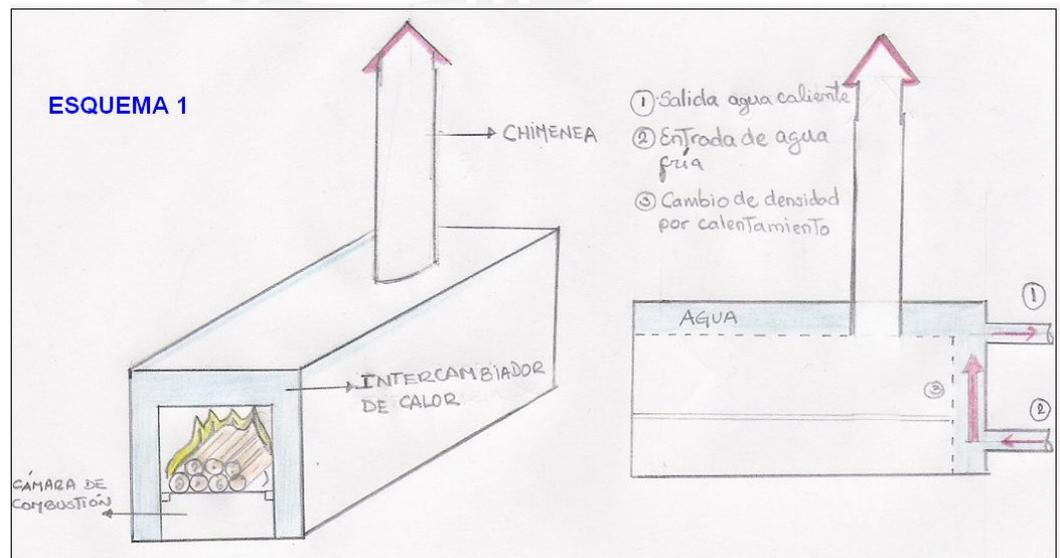
a) Determinación del concepto óptimo:

Luego de obtener nuestras tres posibles opciones, analizaremos sus principales características con la finalidad de escoger la propuesta más adecuada a nuestras exigencias y deseos expuestos anteriormente.

Opción 1

- Debido a que la fuente de energía calorífica será enteramente brindada por la leña el encendido será manual.
- El Calentador tendrá una forma rectangular y el intercambiador será un paralelepípedo que estará ubicado en la cámara de combustión.
- Por fines de simpleza la máquina no utilizará ningún tipo de mecanismo de apoyo para la circulación del fluido, muy por el contrario utilizaremos la circulación natural que se generará por el cambio de densidades del agua y este se hará de forma automática.
- El tipo de calentamiento será directo.
- Contará para el control del calor con una válvula de mariposa muy simple ubicada en la zona de la chimenea capaz de funcionar también como sistema de apagado.
- Por último tendrá una llave de ingreso de agua fría.

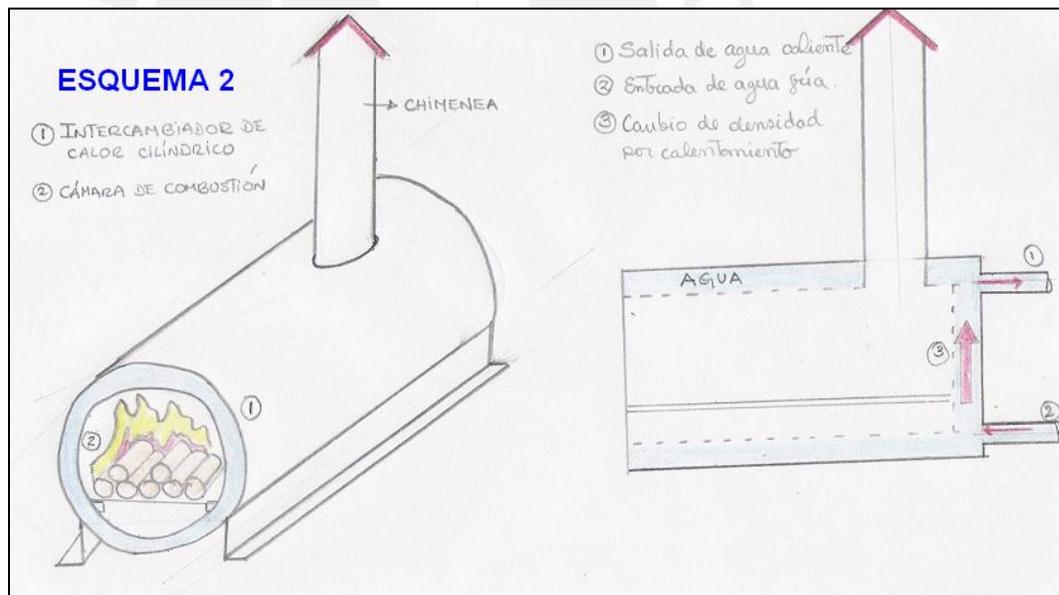
OPCIÓN #1 ESQUEMA



Opción 2

- Su sistema de encendido será manual ya que este prototipo también utilizará como única fuente de energía la leña.
- El calentador será cilíndrico y su intercambiador de calor se adaptará a la forma de éste. Será ubicado en toda la parte externa de la cámara de combustión con la finalidad de aumentar más la superficie de transferencia.
- Utilizará también como medio de circulación del fluido, el cambio en la densidad del agua, producto del aumento de la temperatura, produciéndose esta de forma natural y automática.
- El tipo de calentamiento será directo.
- El control de la temperatura será por tacto ya que la finalidad de este invento es calentar bañeras por lo cual contará con un sistema de control y apagado muy sencillo mediante trampas de aire (válvula).

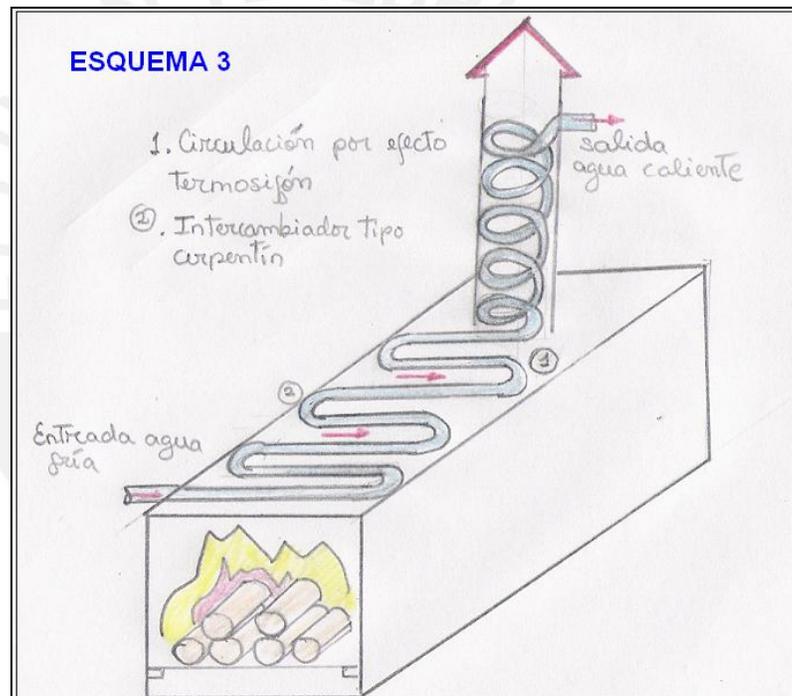
OPCIÓN #2 ESQUEMA



Opción 3

- Tendrá un encendido manual.
- El calentador tendrá una forma rectangular.
- La forma del intercambiador de calor será del tipo espiral y se encontrará ubicado en la chimenea y en la cámara de combustión del calentador.
- La circulación será automática debido al fenómeno termosifón.
- El control del calor se hará por medio de trampas de aire (válvulas).
- Los gases de la combustión serán los encargados de calentar el fluido de forma directa.

OPCIÓN #3 ESQUEMA



b) Evaluación Técnico-Económico de propuestas

Para elegir nuestro proyecto óptimo cada propuesta será sometida a una evaluación desde el punto de vista Técnico y económico.

Se indicarán diferentes puntos de comparación, donde a cada propuesta se le asignara un valor (1 a 5) dependiendo de su utilidad, complejidad y costo irá este puntaje.

A los puntos de comparación también se les asignará un peso, dependiendo de su trascendencia con respecto a nuestra lista de exigencia, este peso será denominado como el factor de influencia.

TABLA II. 1

SIGNIFICADO DEL PUNTAJE ASIGNADO				
MALO	REGULAR	BUENO	MUY BUENO	EXCELENTE
1	2	3	4	5

TABLA II. 2

SIGNIFICADO DEL FACTOR DE INFLUENCIA		
IMPORTANTE	MUY IMPORTANTE	IMPRESINDIBLE
1	2	3

TABLA II. 3

EVALUACIÓN ECONOMICA										
PUNTOS DE EVALUACIÓN		Factor de Importancia (Fi)	PUNTAJE (Pi)							
			Opción 1		Opción 2		Opción 3		Proyecto Ideal	
			P	PxFi	P	PxFi	P	PxFi	P	PxFi
1	MATERIALES	3	4	12	4	12	3	9	5	15
2	FABRICACIÓN	3	4	12	5	15	2	6	5	15
3	OPERACIÓN	3	5	15	5	15	5	15	5	15
4	MANTENIMIENTO	2	4	8	4	8	4	8	5	10
5	MONTAJE	2	5	10	5	10	4	8	5	10
6	PRODUCCIÓN	2	4	8	4	8	4	8	5	10
Total = $\Sigma (Fi \times Pi)$			-	65	-	68	-	54	-	75
Coficiente Técnico = Puntaje Total / Puntaje Ideal			-	87%	-	91%	-	72%	-	100%

TABLA II. 4

EVALUACIÓN TÉCNICA										
PUNTOS DE EVALUACIÓN		Factor (Fi)	PUNTAJE (Pi)							
			Opción 1		Opción 2		Opción 3		Proyecto Ideal	
			P	PxFi	P	PxFi	P	PxFi	P	PxFi
1	SEGURIDAD	3	4	12	4	12	4	12	5	15
2	RENDIMIENTO	3	4	12	4	12	5	15	5	15
3	BUEN USO DE LA ENERGIA	3	3	9	5	15	5	15	5	15
4	COSTO DE ENERGÍA	2	4	8	4	8	4	8	5	10
5	FACILIDAD DE FABRICACIÓN	2	5	10	5	10	2	4	5	10
6	ERGONOMÍA	2	4	8	4	8	4	8	5	10
7	ACCESORIOS	1	4	4	4	4	2	2	5	5
8	FACILIDAD DE MANEJO	1	4	4	4	4	4	4	5	5
9	FACILIDAD DE MONTAJE	1	5	5	5	5	4	4	5	5
10	COMPLEJIDAD	1	5	5	5	5	3	3	5	5
11	MANTENIMIENTO	1	4	4	4	4	4	4	5	5
Total = Σ (Fi x Pi)			-	81	-	87	-	79	-	100
Coefficiente Técnico = Puntaje Total / Puntaje Ideal			-	81%	-	87%	-	79%	-	100%

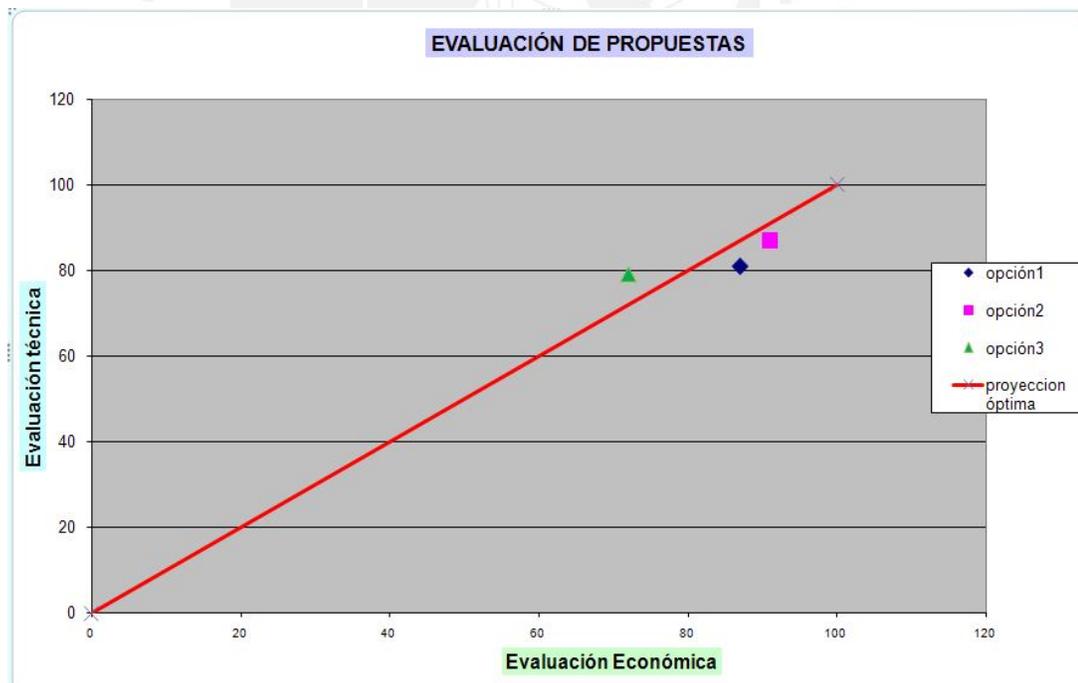


FIGURA II. 1 EVALUACIÓN ECONÓMICA

La selección más adecuada será la Opción que además de tener los coeficientes técnicos y económicos apropiados, mantenga un equilibrio entre estos. Por esto (**FIGURA II. 1**) el proyecto indicado a desarrollar será basado en la **OPCIÓN 2**.

Entre las principales variaciones con que cuenta la Opción 2 frente a sus rivales es sin duda la forma y distribución del intercambiador de calor, siendo este de forma tubular y con la cámara de combustión (hogar de fuego) interior.

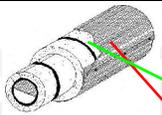
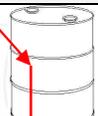
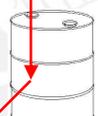
Esta opción permite por su geometría reposar toda el agua alrededor del hogar de fuego, lográndose así una gran superficie de contacto entre cámara de fuego y agua lo que nos permite suponer que el calentamiento sea sencillo y eficiente.

Tiene una mayor superficie de contacto para la transferencia de calor entre el agua y el hogar frente que las otras opciones y además de esto permite una buena conservación de los materiales que interviene en el proceso debido al control de la temperatura uniforme que da el diseño.

Luego de obtener nuestra opción más adecuada tendremos que trabajarla con la finalidad de obtener una máquina que cumpla con nuestros deseos y exigencias ya expuestos anteriormente, para lo cual realizaremos otra matriz morfológica más sencilla con el fin de obtener los materiales reciclables o no reciclables que se puedan utilizar y buscar así una mayor economía en nuestro diseño. También se tendrá en cuenta el impacto en el ambiente y la sencillez en la obtención de los materiales, así como en su construcción.

c) Selección de material para el Intercambiador de Calor.

Nuestro diseño óptimo nos recomienda el uso de un intercambiador de calor circular.
Realizaremos un análisis para determinar la mejor opción para los materiales del intercambiador de calor teniendo en cuenta que éste debe ser circular, fabricado con materiales de segunda condición, y su geometría debe estar adaptada a la cámara de combustión con la finalidad de aprovechar mejor el flujo de calor y aumentar la eficiencia.

FUNCIÓN		PORTADOR DE FUNCIÓN			
1	SISTEMA DE CALENTAMIENTO DEL FLUIDO				
1.1	Tipo intercambiador de calor				
		Tubular			
2.2	Carcasa exterior Intercambiador				
		Hierro fundido	Barril	Balón de gas	Tubo Comercial
2.	Carcasa interior Intercambiador				
		Tubo comercial	Barril	Extintor	
2.4	Ubicación del intercambiador de Calor				
		Cámara de combustión			
3	SISTEMA DE CIRCULACIÓN DE GASES				
3.2	Salida de gases Chimenea hecha				
		Circular Tubos	Circular de plancha		

■ OPCIÓN 1

■ OPCIÓN 2

■ OPCIÓN 3

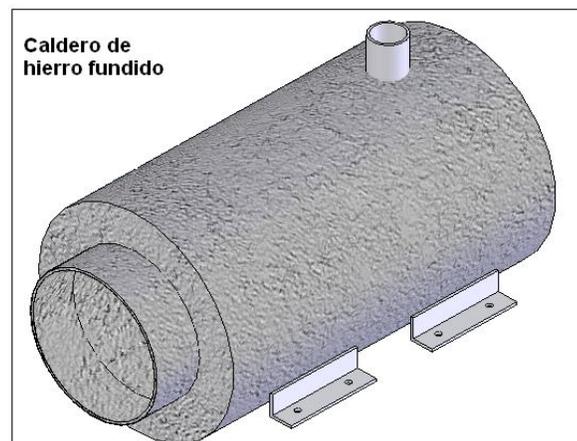
Luego de obtener tres posibles opciones, analizaremos sus principales características, con la finalidad de escoger la propuesta más adecuada.

Debate de ventajas y desventajas de cada opción.

Opción 1

- El prototipo1 cuenta con una carcasa exterior hecha de hierro fundido el cual es un material muy utilizado en hornos de carbón y leña similares a nuestro caso, por lo cual muestra una ventaja, dentro de este se encontrara el agua. Sin embargo esta opción eleva mucho su costo cuando se realizan en pequeña escala lo cual es una inconveniencia debido a que nuestra intención es que sea lo mas económica posible, además de que la fundición es un proceso que demanda más complejidad frente a las otras opciones.
- Dentro de la carcasa exterior se encontrará la carcasa interior que viene hacer el hogar, existirá un espacio vacío entre las paredes que es donde se depositará el agua, en la parte frontal estará la entrada de aire, esta carcasa será de tubo comercial de un diámetro que este entre los 150 y 200 mm.
- La chimenea estará hecha de tubo comercial, codos y niples, con la finalidad de que esta pueda ser desarmable dándonos la posibilidad de de tener una chimenea grande para facilitar el tiro de los gases de escape y cumpliendo con nuestro deseo de que sea portátil.

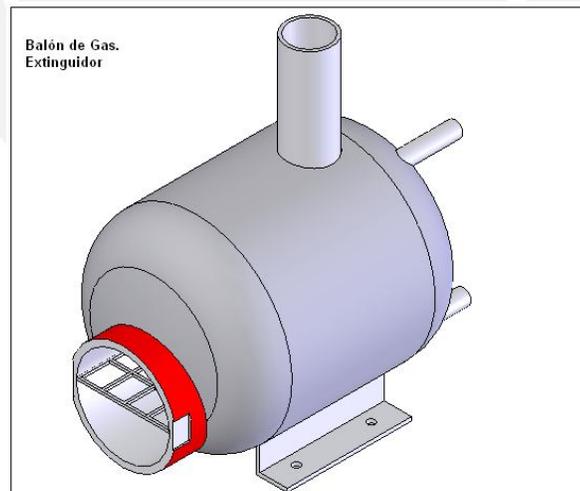
Opción #1 Carcasas de hierro fundido



Opción 2

- Su carcasa exterior estará hecha de un balón de gas, el cual es muy sencillo de conseguir además de que este puede ser de un segundo uso, cumpliendo así nuestra exigencia, además debido a la naturaleza del balón, cuenta éste con una ventaja frente a las demás opciones pues ha sufrido pruebas realizadas bajo presión y está diseñado para almacenar fluidos.
- La carcasa interior estará hecha de un extintor de agua, el cual nos permitirá también utilizar un material de segunda mano haciendo de esta opción una tentativa en la parte económica y cumpliendo con nuestras expectativas expuestas al comienzo de este capítulo.
- La chimenea estará hecha de tubo comercial, codos, y niples como en la opción anterior con la finalidad de que esta pueda ser desarmable, dándonos la posibilidad de tener una chimenea grande para facilitar el tiro de los gases de escape y cumpliendo con nuestro deseo de que sea portátil.

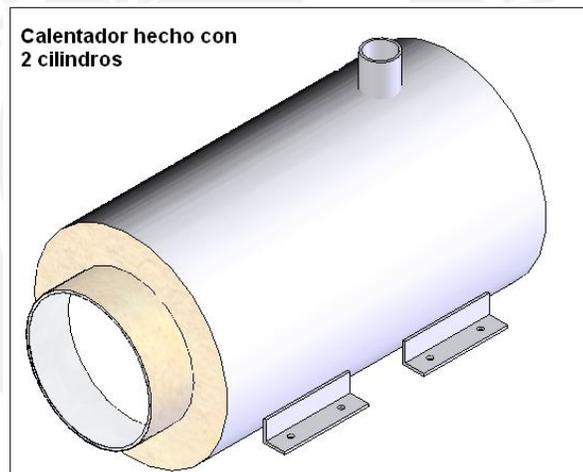
Opción #2 Balón de Gas - Extintor



Opción 3

- Su carcasa exterior estará hecha de un cilindro, el cual es muy sencillo de conseguir además de que este puede ser de un segundo uso, esta opción es quizá la más económica.
- Su carcasa interior estará hecha de un cilindro más pequeño, el cual también es muy sencillo de conseguir y puede ser de segunda condición.
- Su chimenea estará hecha de latón de acero en forma circular e unida por remaches la cual la hace la propuesta mas económica sin embargo esto no permitirá un sencillo transporte además de hacer de esta algo difícil su construcción.

Opción #3 Cilindros



d) Evaluación Técnico-económico de propuestas

Como explicamos anteriormente es puntaje va de la siguiente manera.

TABLA II. 5

SIGNIFICADO DEL PUNTAJE ASIGNADO				
MALO	REGULAR	BUENO	MUY BUENO	EXCELENTE
1	2	3	4	5

TABLA II. 6

SIGNIFICADO DEL FACTOR DE IMPORTANCIA		
IMPORTANTE	MUY IMPORTANTE	IMPRESINDIBLE
1	2	3

TABLA II. 7

EVALUACIÓN ECONÓMICA										
PUNTOS DE EVALUACIÓN		Factor de Importancia (Fi)	PUNTAJE (Pi)							
			Opción 1		Opción 2		Opción 3		Proyecto Ideal	
			P	PxFi	P	PxFi	P	PxFi	P	PxFi
1	MATERIALES	3	2	6	5	15	5	15	5	15
2	FABRICACIÓN	3	2	6	4	12	4	12	5	15
3	TRANSPORTE	3	2	6	4	12	4	12	12	15
4	MONTAJE	3	5	15	5	15	5	15	5	15
Total = $\Sigma (Fi \times Pi)$			-	39	-	54	-	54	-	60
Coefficiente Técnico = Puntaje Total / Puntaje Ideal			-	65%	-	90%	-	90%	-	100%

TABLA II. 8

EVALUACIÓN TÉCNICA										
PUNTOS DE EVALUACIÓN		Factor (Fi)	PUNTAJE (Pi)							
			Opción 1		Opción 2		Opción 3		Proyecto Ideal	
			P	PxFi	P	PxFi	P	PxFi	P	PxFi
1	SEGURIDAD	3	5	15	4	12	3	9	5	15
2	TRANSPORTE	3	4	12	4	12	3	9	5	15
3	MATERIALES ACCESIBILIDAD	3	3	9	5	15	5	15	5	15
4	FACILIDAD DE FABRICACIÓN	2	3	6	5	10	5	10	5	10
5	FACILIDAD DE MONTAJE	1	4	4	5	5	5	5	5	5
6	IMPACTO	1	3	3	5	5	4	4	5	5
Total = $\Sigma (Fi \times Pi)$			-	49	-	59	-	57	-	65
Coefficiente Técnico = Puntaje Total / Puntaje Ideal			-	75%	-	91%	-	88%	-	100%

NOTA: El impacto se refiere a la curiosidad que puede despertar nuestro diseño al usar materiales que reconocen y usan los pobladores, y el incentivo que brinda este para ser desarrollado, pues despierta en el observador un impacto positivo.

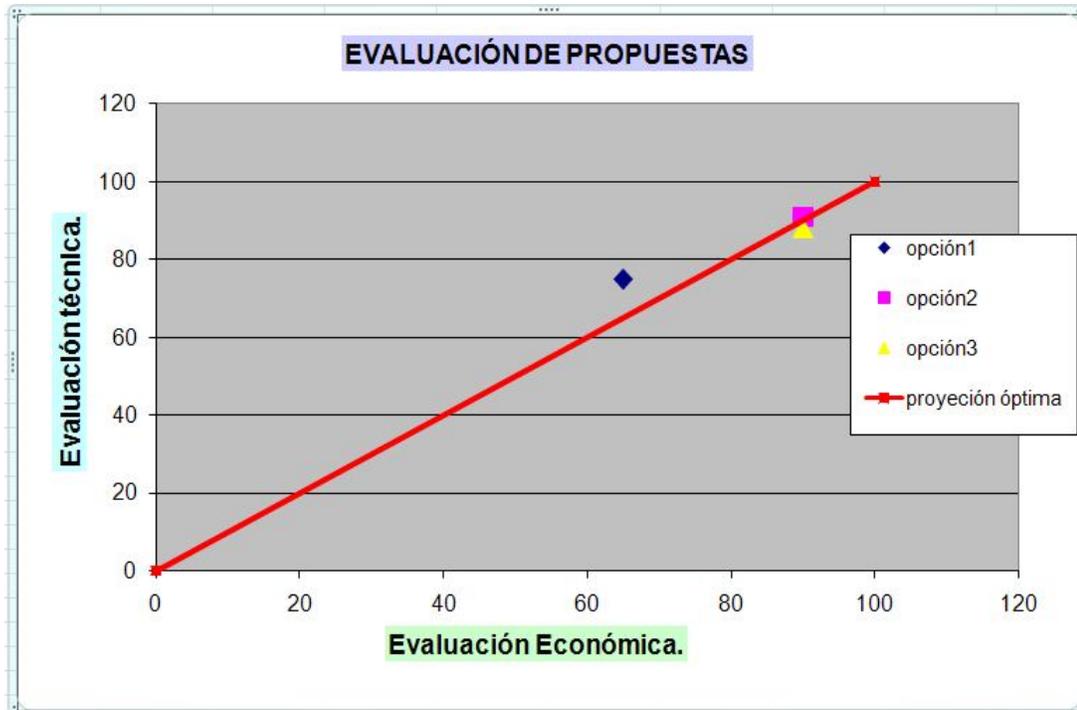


FIGURA II. 2 EVALUACIÓN ECÓNOMICA

Como notamos en el Figura II.2 la opción más adecuada después de nuestra minuciosa evaluación es la opción 2, la cual será un calentador con un intercambiador circular exterior a la cámara de combustión, hecho de un balón de gas y un extintor de agua, con una chimenea capaz de desmontarse para un fácil transporte.

e) Diseño preliminar:

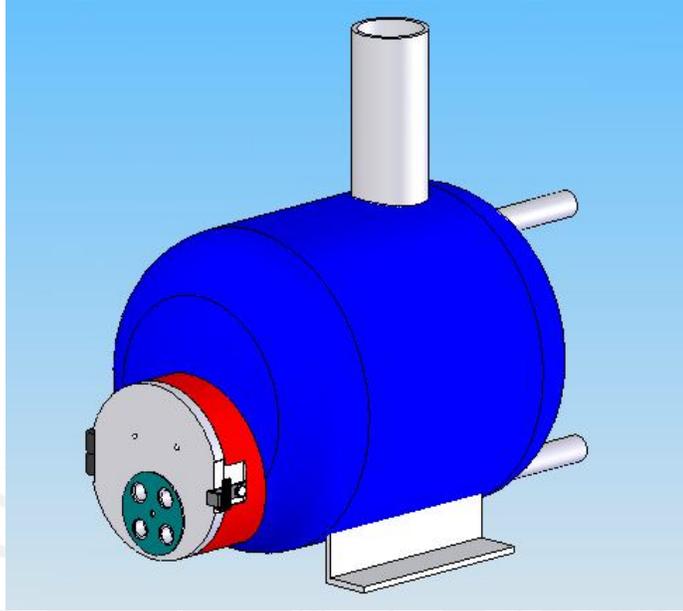


FIGURA II. 3

Diseño del calentador de agua a leña: Isométrico.

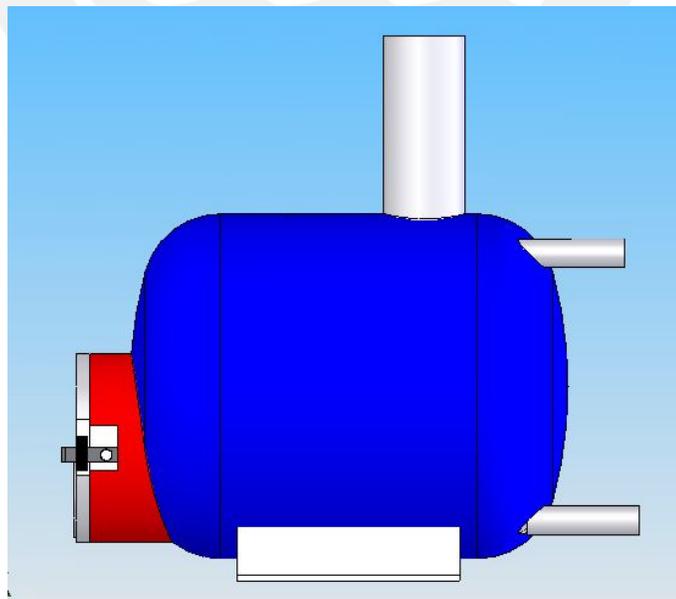


FIGURA II. 2

Diseño del calentador de agua a leña: vista de perfil.

CAPITULO III

CÁLCULOS

1) ESTUDIO DE LAS NECESIDADES A CUBRIR.

Debido a las bajas temperaturas que muchos poblados en nuestro país afrontan, existe una gran demanda de agua caliente sanitaria. Nuestro objetivo es satisfacer esta necesidad por medio de un calentador de agua a leña.

La determinación del consumo de agua caliente sanitaria y su correspondiente temperatura de confort son datos que se obtienen a través de cuadros estadísticos obtenidos mediante encuestas o censos.

La cantidad de agua caliente necesaria para una persona, se ha determinado a partir de los siguientes datos de necesidad diaria, obtenidos de las siguientes tablas, donde se ve el consumo por aparato individual y por persona.

TABLA III.1
CONSUMO DE VIVIENDAS POR APARATOS DIARIO POR PERSONA.

APARATO	CONSUMO (litros)	TEMPERATURA °C
FREGADERO	20	40
DUCHA	35 – 40	40 – 45
LAVADO	6	40
BAÑERA	110 – 128	40 – 45

Los autores, 1999; © Edicions UPC, “Capítulo 4 Cálculo de Cargas Térmicas” pág. 27
<<http://www.edicionsupc.es/ftpublic/pdfmostra/FI00702M.pdf>>

De la tabla III.1 concluimos que la temperatura de confort máxima de las personas es de aproximadamente 45°C.

Nuestro calentador será adaptado a una bañera personal para las pruebas en la Casa Ecológica, el volumen con el que se trabajaremos será de 210 litros, volumen que utilizaremos para nuestros cálculos, tengamos en cuenta que este volumen de agua que manejaremos es del 68% más del que utiliza normalmente una persona para bañarse (125l), también tengamos en cuenta que todos los resultados obtenidos más adelante son validos para pruebas a nivel del mar, ya que en el altiplano la presión influirá de forma determinante en la eficiencia del calentador.

2) CÁLCULO DEL CONSUMO DE LEÑA.

La temperatura inicialmente del agua (procedente de la red o de un depósito de almacenamiento) la asumiremos a 25°C condición que tomaremos para realizar el diseño ya que esta es la temperatura promedio de la ciudad de Lima en época de verano, ciudad donde se realizará las pruebas de nuestro calentador a leña. Sabemos que la temperatura a la que debemos llegar es de 45°C (temperatura de confort). Queda claro que existe una diferencia entre la temperatura que deseamos llegar y la del ambiente por lo cual, con un sencillo cálculo, llegaremos a obtener la cantidad de energía que necesitamos para alcanzar dicha temperatura y con esto obtener nuestro consumo de leña aproximado. Cabe resaltar que de utilizar el calentador en localidades que presenten un clima más agresivo (menor temperatura ambiente) la cantidad de energía necesaria (leña) será mucho mayor.

Como sabemos el calor específico es la cantidad de energía (en Joule) que es necesaria para elevar 1°C la cantidad de 1kg de cualquier sustancia dada.

En nuestro caso tenemos:

Calor específico es $Cp_{amb} = 4.184663 kJ/kg^{\circ}C$ por ser agua.

Y el volumen de trabajo será = 210 litros de agua.

Asumiremos que esta cantidad de agua se calentará en 3 horas, valor referencial apropiado para fines de cálculos. De dar nuestro calentador un menor tiempo de respuesta concluiremos que este tiene una mayor eficiencia que la estimada y viceversa.

$$m_{agua} = \frac{210}{3600 \times 3} = 0.0194 \text{ kg/s}$$

El flujo calor necesario, que se entrega a la masa de agua viene dado por:

$$\dot{Q} = \dot{m} \times C_p \times \Delta T$$

$$T_1 = 25^\circ C$$

$$T_2 = 45^\circ C$$

$$\dot{Q} = 0.0194 \times 4.184663 \times (45 - 25) = 1.63 \text{ kW}$$

Este calor será el necesario si tenemos una eficiencia del 100% fenómeno que no se produce en ningún proceso con intercambio de energía, por lo cual debemos asumir una pérdida de eficiencia que tendremos que comprobar más adelante. Para asumir dichas pérdidas partiremos de los siguientes supuestos:

- La eficiencia de la combustión estará en el orden del 60% dato que recogemos de la de la tabla III.2 y que coincide con lo publicado por el foro infomadera.com que rescata que la combustión lenta de la leña tiene una eficiencia del orden del 55%, asumiremos para nuestros cálculos 55% como eficiencia de combustión de la leña.
- Asumiremos que la eficiencia por transferencia de calor estará en el orden del 70%, dato que comprobaremos con el desarrollo de los cálculos en el capítulo de pruebas.

TABLA III.2

TABLA COMPARATIVA DE LA EFICIENCIA DE LA COMBUSTION ¹

COMBUSTIBLE	PODER CALORIFICO INFERIOR kcal/kg	EFICIENCIA DE LA COMBUSTION %
GAS LICUADO	11.010	95
DIESEL	10.133	85
LEÑA EUCALIPTO	3.000	60
ELECTRICIDAD kw	–	100
ENERGÍA SOLAR	–	100

Concluimos que la eficiencia asumida por nuestro sistema será:

$$\eta = 100\% * 0.70 * 0.55 = 38.5\%$$

Esta eficiencia 38.5% es bastante cercana a la realidad teniendo en cuenta que las cocinas y estufas a leña mejoradas tienen una eficiencia que oscila en el orden del 15 al 35% y éstas utilizan la misma fuente de aporte energético que nuestro calentador.

Calor de la leña $\dot{Q}_L = \frac{\dot{Q}}{\eta}$

Donde: $\dot{Q}_L = \frac{1.63kW}{0.385}$

$$\dot{Q}_L = 4.234kW$$

¹ CREAPOR S.A., “Calefacción y Agua Caliente Sanitaria Sistema Tri Energía” [En Línea] s/f <<http://www.creapor.cl/trienergia.pdf>>

Por otro lado el Poder calorífico de una sustancia se define como la cantidad de energía que la unidad de masa puede desprender al producirse una reacción química de oxidación (combustión).

Para nuestro caso, el calentador trabajará con leña utilizaremos las siguientes tablas:

TABLA III.3
Poder calorífico inferior de la leña seca 0% Humedad

Especie	PC (kJ/kg)
Eucalipto	19228
Pino	20482
Cedro	18066
Ciprés	21443
Encino	19500
Media	19744

FAO., “*Secado de Granos a Altas Temperaturas*” [En Línea] Cap.4 Calentamiento del Aire 1991 < http://www.cd3wd.com/cd3wd_40/inpho/vlibrary/x0059s/ES/X0059S00.HTM >

Utilizaremos como fuente de aporte energético la leña del eucalipto como se puede apreciar TABLA III.3 el poder calorífico del eucalipto con 0% de humedad es de 19228kJ/kg sin embargo es muy difícil encontrar una leña completamente seca.

TABLA III.4
Poder calorífico inferior de la leña en función del contenido de humedad.

Contenido de humedad	PC (kJ/kg)
0	19880
10	17644
20	15412
30	13180
40	10947
50	8715
60	6483

FAO., “*Secado de Granos a Altas Temperaturas*” [En Línea] Cap.4 Calentamiento del Aire 1991 < http://www.cd3wd.com/cd3wd_40/inpho/vlibrary/x0059s/ES/X0059S00.HTM >

Vemos que el poder calorífico de la leña depende directamente del contenido de humedad, por tal motivo se recomienda trabajar siempre con leña seca para aumentar su eficiencia.

Nuestras pruebas se realizarán en Lima, en la Casa Ecológica ubicada en la Pontificia Universidad Católica del Perú. Utilizaremos leña del tipo eucalipto para las pruebas. El poder calorífico y su respectiva humedad se obtuvieron de una muestra que se mando analizar al laboratorio de Energía de la Sección de Minas de la Pontificia Universidad Católica del Perú para la investigación del mejoramiento de cocinas a leña (Anexos 1 Sr: Harold Alvarez Pablo).

TABLA III.5 ANALISIS DEL EUCALIPTO

COMBUSTIBLE – LEÑA		MÉTODO DE ENSAYO
PODER CALORIFICO cal/g	4076.200	ASTM 2015
HUMEDAD (base húmeda)	12.74%	ASTM 3173

$$PC = 4076.2 \text{ cal/g} = 17066.23 \text{ kJ/kg}$$

Entonces tenemos lo siguiente:

$$\dot{Q}_{leña} = \dot{Q}_{combustió.}$$

Donde:

$$\dot{Q}_{leña} = \dot{m}_{leña} \times PC_{Leña}$$

$$4.227 = \dot{m}_{leña} \times 17066.23$$

$$\dot{m}_{leña} = 0.00024809 \text{ kg / s}$$

$$\dot{m}_{leña} = 0.89 \text{ kg / h}$$

Teniendo en cuenta que nuestro calentador logre llegar a los 45°C en 3 horas como lo asumimos, necesitaremos 2.68 kg leña.

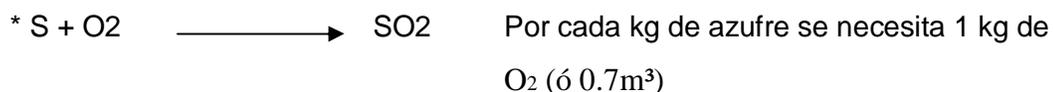
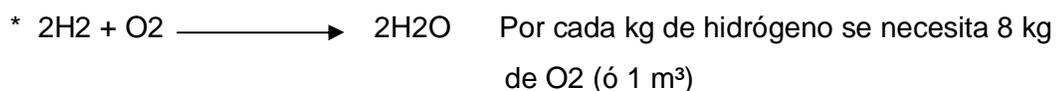
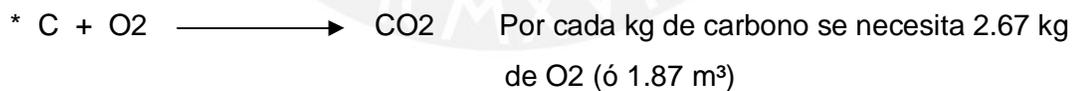
3) DIMENSIONAMIENTO DEL CALENTADOR A LEÑA.

Esta es la parte de nuestros cálculos donde por medio de ecuaciones y correlaciones trataremos de encontrar las dimensiones más adecuadas de los componentes de nuestro calentador.

Debido a que una de las exigencias de diseño de nuestro calentador, es que sea construido con materiales reciclados, lo más barato posibles, que sean fáciles de conseguir y que tengan una forma constructiva sencilla, se escogió como materiales para el intercambiador de calor, un balón de gas y un extintor, por tal motivo obviaremos el dimensionamiento de las paredes del intercambiador, por ser éstas ya fijas debido a que el balón de gas como el extintor tienen un espesor de pared que viene de fábrica según norma de construcción, por tal motivo solo nos centraremos en el cálculo de las dimensiones de la chimenea, ductos de admisión de aire y ductos de salida de los gases de combustión; para lo cual primeramente debemos calcular, los flujos de éstos.

a) Cálculo de la relación aire/combustible. ²

Empezaremos por conocer la cantidad de aire necesaria para la combustión, para lo cual tomaremos las reacciones químicas ideales de la combustión con oxígeno considerando los principales elementos de los reactivos como los productos.



² Referencia: Jaime Postigo/Juan F. "Termodinámica Aplicada" pág. 5-17.

Conociendo la composición química del combustible por medio de un análisis elemental de C, H, S, O, se podría determinar la cantidad de aire necesaria para 1kg combustible haciendo un balance de ecuaciones de combustión, para esto tomaremos los datos de la siguiente tabla III.6 que presentamos a continuación.

TABLA III.6

Composición Química porcentual de la leña función del contenido de humedad, en porcentaje, en peso³

Compuesto Químico	Contenido de humedad (% b.h)		
	0	20	40
Carbono	50.30	40.24	30.18
Hidrógeno	6.20	4.96	3.72
Oxígeno	43.08	34.46	25.85
Nitrógeno	0.04	0.03	0.02
Azufre	0.00	0.00	0.00
Cenizas	0.37	0.31	0.23
Total	100.00	100.00	100.00

De la tabla III.6 podemos desprender el análisis gravimétrico de la leña, con diferentes % de humedades simplemente extrapolando o interpolando los datos.

En este caso nosotros tenemos el análisis gravimétrico de biomasa (leña eucalipto) con un 12.74% de humedad.

De dicha tabla interpolando obtenemos lo siguiente: 43.89%C, 5.41%H₂, 37.59%O₂, despreciaremos el 1 % de azufre, nitrógeno y cenizas.

Entonces concluimos que en 100kg de combustible tenemos 43.89kg de C 5.41kg de H₂ y 37.59kg de O₂.

³ FAO., “Secado de Granos a Altas Temperaturas”[En Línea] Cap.4 Calentamiento del Aire 1991 < http://www.cd3wd.com/cd3wd_40/inpho/vlibrary/x0059s/ES/X0059S00.HTM >

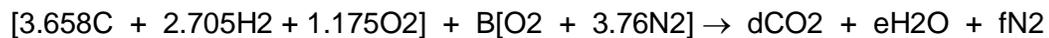
- El número de moles de cada uno será.

$$C = 43.89/12 = 3.658 \text{ kmoles.}$$

$$H_2 = 5.41/2 = 2.705 \text{ kmoles.}$$

$$O_2 = 37.59/32 = 1.175 \text{ kmoles.}$$

- Reacción con aire estequiométrico:



$$\text{Balance del carbono: } d = 3.658$$

$$\text{Balance del hidrógeno: } e = 2.705$$

$$\text{Balance del oxígeno: } 1.175 \times 2 + B \times 2 = 3.658 \times 2 + 2.705$$

$$B = 3.8355$$

$$\text{Balance del nitrógeno: } f = 3.8355 \times 3.76 = 14.42$$

La reacción queda así:



Luego tendremos que la relación aire / combustible será:

$$(r_{a/c})_r = \frac{3.8355 \times (32 + 3.76 \times 28)}{100} = 5.27$$

$$(r_{a/c})_r = 5.27 \text{ kg aire/kg combustible.}$$

Sin embargo esta relación contempla una combustión con 100% de aire teórico, fenómeno que no es real pues la combustión real siempre presenta un % de exceso de aire que facilite la obtención de oxígeno al combustible. La siguiente ecuación⁴ también es válida para la obtención del aire teórico en combustibles sólidos, conociendo el poder calorífico y el agua higroscópica (%humedad) del combustible como es nuestro caso.

⁴ Calver Salas Mariano., "Termotecnia" 1946, pág. 140 En Matsusita Manabe Juan., "Estudio Experimental De La Transferencia De Calor En Un Calentador De Agua Con Briquetas de Carbón" PUCP 1990 Cap. III pag. 105 -106

$$AIRE = a \frac{PC + (600 \times W)}{1000} \text{ (kg.aire / kg.combustible)}$$

Donde:

PC : Poder calorífico del combustible (kcal/kg)

W : Contenido del agua higroscópica (kg/kg de combustible)

a : Coeficiente que toma los valores de la tabla 3.7

TABLA III.7

COMBUSTIBLE	a
Coke	1.40
Antracita	1.39
Hulla	1.38
Lignito	1.37
Turba	1.36
Leña	1.35

Tomamos los datos de la TABLA III.5 y TABLA III.7 y reemplazando tenemos lo siguiente:

$$AIRE = 1.35 \frac{4748.27 + (600 \times 0.1274)}{1000} \text{ (kg.aire / kg.combustible)}$$

$$AIRE = 6.51 \text{ (kg.aire / kg.combustible)}$$

Comparando con los cálculos anteriores la cantidad de aire teórico necesaria oscila en el orden 5.27|kg. – 6.51kg. Asumiremos para nuestros cálculos un exceso de aire del 350% en los ductos con la finalidad de evitar una combustión baja en oxígeno tanto en tierras bajas como en el altiplano.

En conclusión para 1kg de combustible será necesario 6.51kg de aire teórico ó 22.79 kg de aire real.

b) Cálculo del flujo de aire.

Primeramente necesitamos el consumo de leña que ya lo teníamos calculado.

$$m_{leña} = \frac{2.676}{3horas} = 0.89 \text{ kg.leña/hora}$$

En la chimenea del calentador se tiene un flujo de gas combustible que viene dado por:⁵

$$m_{gc} = (m_{leña} + m_{aire.real} - m_{cenizas})$$

$$m_{gc} = (m_{leña} + m_{aire.teórico} * exceso - m_{cenizas})$$

De la tabla III.7 interpolando para 12.74% humedad tenemos que el % de cenizas es 0,333

Para 1 Kg de leña, entonces tenemos :

$$m_{gc} = (1 + 6.51 \times 3.50 - 0.333) \text{ kg}$$

$$m_{gc} = 23.45 \text{ kg.}$$

Sabemos que la relación entre masa de leña y gases de combustión es :

$$r : masa_{chimenea} / masa_{leña}$$

$$r = 23.45 / 1 = 23.45$$

La masa de los gases de combustión que se producen por un 1kg. de leña es 23.45kg. Teniendo en cuenta de que flujo por hora es de 0.89kg.leña/hora tenemos que el flujo de los gases combustibles para 1 hora es:

$$m_{gc} = m_{leña} \frac{\text{kg.leña}}{\text{hora}} \times (m_{gc} r \frac{\text{kg.gc}}{\text{kg.leña}})$$

$$m_{gc} = 0.89 \frac{\text{kg.leña}}{\text{hora}} \times (23.45 \text{ kg})$$

$$m_{gc} = 20.87 \frac{\text{kg.g.comb}}{\text{hora}}$$

⁵ Jiménez Ugarte Fernando Octavio, "Diseño De Una Terma A Carbón", Capitulo II pág. 24
Lima PUCP 1986

Por otro lado se tiene que la densidad aproximada de los gases de combustión a 250°C (temperatura asumida de acuerdo a los datos recogidos de los gases de escape de las cocinas mejoradas “GRUPO PUCP”) de temperatura es de 0.606kg/m³ tomando como referencia el comportamiento del carbón. (Ver figura III.1), ya que no contamos con la gráfica de la leña con lo que se obtiene un flujo volumétrico de los gases de combustión:

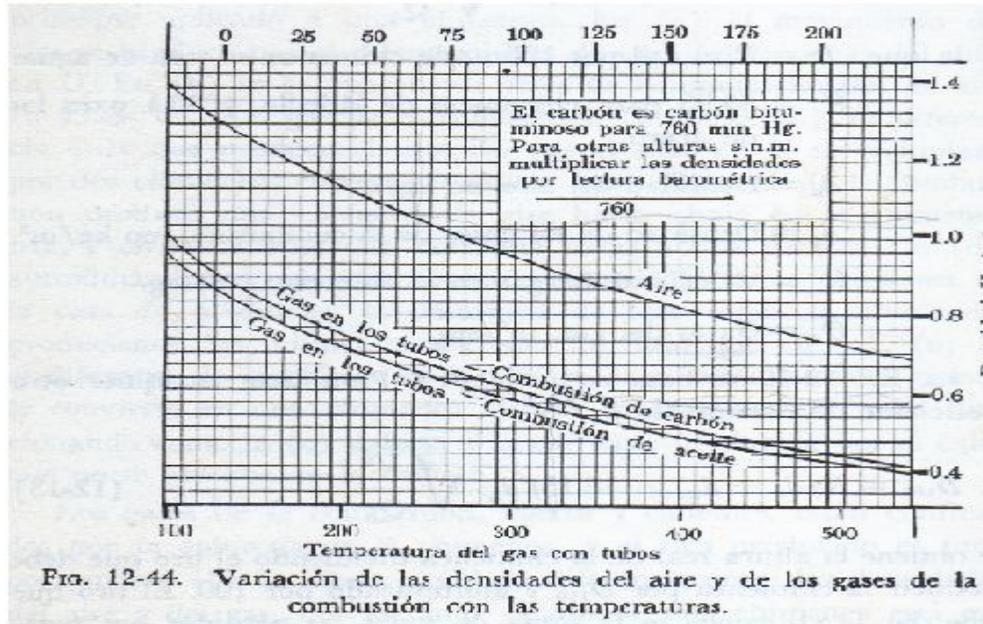


Figura III.1 – Densidad de aire y gases de combustión

Ref. Morse, F. Centrales Eléctricas, 3ra, Ed, CECSA 1971, Barcelona (P. 708)

$$\dot{V}_{gc} = \frac{20.87 \text{ kg / hora}}{0.606 \text{ kg / m}^3}$$

$$\dot{V}_{gc} = 34.44 \text{ m}^3 \text{ gases.comb. / hora}$$

$$\dot{V}_{gc} = 9.567 \times 10^{-3} \text{ m}^3 \text{ gases.comb. / s}$$

De la misma figura podemos obtener la densidad aproximada del aire a 250°C de temperatura que es 1.08 kg/m³ con lo que podemos obtener el flujo de aire necesario en la admisión

$$\dot{V} = \frac{\% \text{exceso aire} * r_{a/c} * m_{\text{combustible}} / \text{hora}}{\rho_{\text{aire}}}$$

$$\dot{V}_{AC} = \frac{3.50 * 6.51 * 0.89 \text{ kg} / \text{hora}}{1.08 \text{ kg} / \text{m}^3}$$

$$\dot{V}_{AC} = 18.78 \text{ m}^3 \text{ aire} / \text{hora}$$

$$\dot{V}_{AC} = 5.217 * 10^{-3} \text{ m}^3 \text{ aire} / \text{s}$$

c) Dimensionamiento de la chimenea.

Al ser este un equipo de servicio doméstico se recurre a la chimenea como elemento productor de tiro, para no tener que usar ventiladores que implicarían el uso de otra fuente de energía, pues como se explicó en el capítulo II, el diseño de nuestro calentador contempla como única fuente de energía la leña, ya que otra fuente de energía no siempre estará disponible en el sector rural, además que aumentaría considerablemente la inversión en nuestro equipo.

Para la obtención del tiro determinaremos la altura adecuada de nuestra chimenea por medio de las siguientes recomendaciones.

La altura de la chimenea para una buena dispersión de los gases contaminantes, debe ser 1.3 veces la altura del edificio donde se instale para una buena dispersión de gases, en este caso la instalaremos al aire libre por lo que esta recomendación no aplica.

Ref. Comité de Ventilación Industrial, Industrial Ventilation. Michigan, 1979, pag 6-40⁶

Tenemos que para equipos que utilizan briquetas de antracita, se recomienda que la altura de la chimenea sea como mínimo de 2,5 metros, debido a que la antracita es un combustible sólido que tiene un comportamiento muy parecido a la leña utilizaremos esta recomendación para nuestro caso.

Ref. PROCARBON. Informe Interno, 1986⁵

⁶ En Jiménez Ugarte Fernando Octavio, "Diseño De Una Terma A Carbón", Capítulo II pág. 25 Lima PUCP 1986

El tiro, Z en mm. de columna de agua, que produce una chimenea puede ser relacionado con la altura de la chimenea, H en metros.

Ref. Huitte, Manual del ingeniero, tomo II, Ed. G. Pili Barcelona, pag. 474.

$$Z = 0.4 H$$

$$Z = 0.4 \times 2.5 = 1 \text{ mm}$$

Donde concluimos que nuestra chimenea tendrá 2.5m de alto como mínimo con un tiro de 1mm. de columna de agua (10Pa) de tiro, con lo que solo nos faltaría el diámetro de la chimenea para tener toda su geometría, la cual será calculada más adelante en el dimensionamiento de los ductos de gases de combustión.

d) Dimensionamiento de la entrada de aire primario.

La entrada de aire será colocada en la parte frontal de nuestro calentador, debe contar con un diámetro adecuado el cual permita al aire que ingresa alimentar al fogón que se formará con la combustión de la biomasa (leña).

Estas entradas estarán distribuidas en la tapa del calentador por medio de 4 orificios que permitirán al aire formar parte de la combustión y así poder aportar la cantidad de oxígeno necesaria.

Sabemos que la velocidad de combustión del flujo de gases es relativamente baja y con ello las pérdidas por fricción serán despreciables, entonces es posible considerar que todo el tiro de la chimenea es el que permite el ingreso de aire al fogón. Así, se puede plantear que el flujo volumétrico del aire viene dado por:

$$\dot{V}_{AC} = Cx A_{DA} x \sqrt{\frac{Z}{\rho_A}}$$

Donde tenemos que el área de entrada A_{DA} la podemos relacionar con la densidad y el diámetro, haciendo un arreglo a la ecuación por lo que tenemos:

$$D_{DA} = \sqrt{\frac{4x\dot{V}_{AC}}{Cx\pi x \sqrt{\frac{Z}{\rho_A}}}}$$

El flujo de aire tiene que pasar por 4 orificios ubicados en la entrada, por lo que el flujo es:

$$\dot{V}_{AC}/4 = 18.78/4 = 4.70m^3 \text{ aire / hora}$$

$$\dot{V}_{AC} = 1.3 \times 10^{-3} m^3 \text{ aire / s}$$

- C = coeficiente de flujo

Reemplazando los valores, con un valor de C igual a 1, ya que asumiremos que el flujo es unidimensional y que el diferencial de Presión (ΔP) será nulo por ser un tubo abierto, tenemos:

C= 1 Manual de Ingeniero Mecánico Tubos de Pitot Mecánica de fluidos pag 3-72

$$D_{DA} = \sqrt{\frac{4x1.3 \times 10^{-3} (m^3 / s)}{1x\pi x \sqrt{\frac{10Pa}{1.08kg / m^3}}}}$$

$$D_{DA} = 0.02332m$$

$$D_{DA} = 23.32mm.$$

Concluiremos que nuestra tapa de ingreso de aire contará con 4 orificios de 24mm cada uno, con lo cual aseguramos la presencia de suficiente oxígeno.

e) **Cálculo del diámetro del ducto de los gases de combustión.**

Para determinar la sección del ducto de los gases de combustión se considerará que la ecuación de la velocidad es la misma que para el caso de la entrada de aire, de donde D_{GC} viene dado por:

$$D_{GC} = \sqrt{\frac{4x\dot{V}_{GC}}{Cx\pi x \sqrt{\frac{Z}{\rho_A}}}}$$

$$D_{GC} = \sqrt{\frac{4x9.567x10^{-3} m^3 / s}{1x\pi x \sqrt{\frac{10}{0.606}}}}$$

$$D_{GC} = 0.0548m.$$

$$D_{GC} = 54.80mm.$$

Concluyendo que la dimensión mínima de la chimenea será de 2.5m de alto y un diámetro de 54.80mm.

Se recomienda utilizar para la chimenea tubería de 2 ½" por ser comercial.

4) BALANCE ENERGÉTICO ECUACIONES Y CORRELACIONES ⁷

Aquí analizaremos las ecuaciones y correlaciones del balance de energía el cual nos proporcionará información fundamental para la evaluación de la eficiencia del calentador y compararemos con las asumidas.

Permitirá determinar las pérdidas del sistema con el fin de reducirlas posteriormente, aplicando técnicas de recuperación de energía, mejoras en aislamientos y materiales.

En esta parte de los cálculos plantearemos las ecuaciones teóricas necesarias para realizar el balance de energía, así como los datos que recogeremos de evaluación y mediciones que realizaremos en el capítulo de pruebas.

BALANCE ENERGÉTICO.

La energía liberada por la leña, se manifestará en forma de calor y luz, este calor generado es el que tiene que ser absorbido en su mayoría por nuestro sistema a través de:

- La masa de los diferentes materiales que componen nuestro calentador portátil.
- El agua con la que trabajará el calentador.
- Pérdidas de los gases de escape (chimenea).
- Pérdidas de calor a través de las superficies del sistema (calentador, tanque de agua “bañera” y conductos de recirculación), hacia el medio ambiente.

En la figura III.2 se presenta en forma gráfica los flujos de energía que entran y salen de sistema, conocido como el diagrama de Sankey el cual nos permitirá ver rápidamente y a escala las pérdidas de calor y poder analizar el rendimiento de nuestra máquina.

⁷ Matsusita Manabe Juan, “*Estudio Experimental De La Transferencia De Calor En Un Calentador De Agua Con Briquetas De Carbón*” Capitulo 3 pág. 99 - 115 (Lima Pontificia Universidad Católica Del Perú 1990)

DIAGRAMA DE SANKEY DEL CALENTADOR A LEÑA

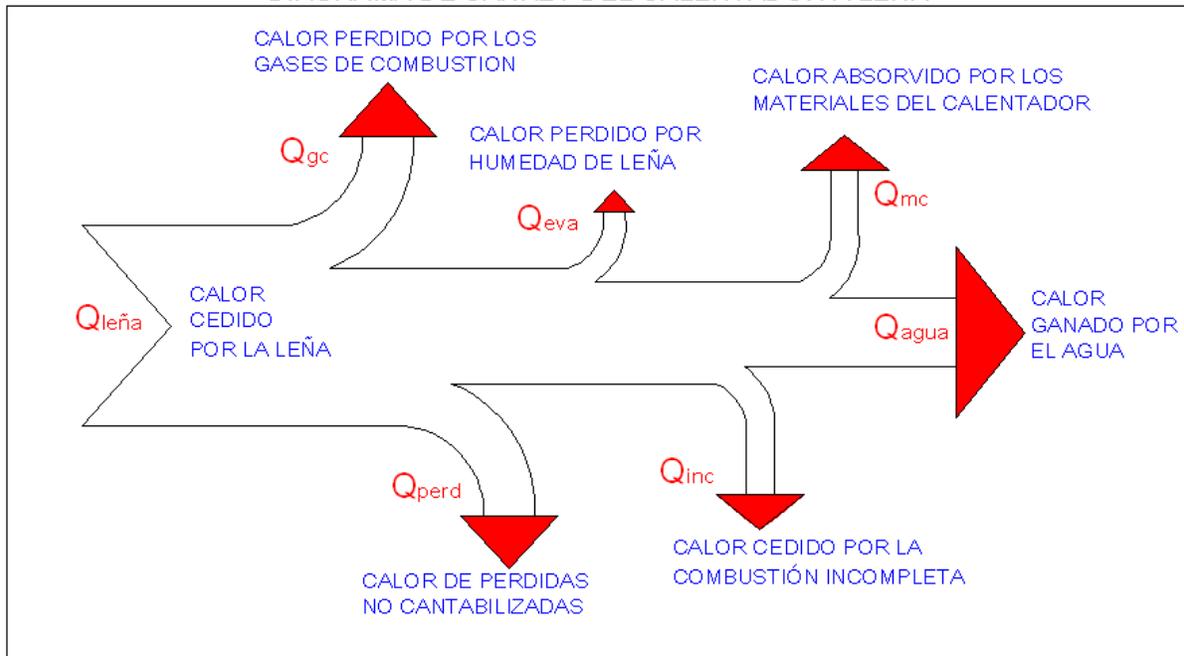


FIGURA III.2

A continuación, se describen las relaciones y fórmulas que permitirán realizar el balance energético del sistema y que con la ayuda de las pruebas nos permitan analizar las magnitudes de las pérdidas que se dan en el calentador con el fin de disminuir las más críticas.

De la Primera Ley de la Termodinámica tenemos:

$$E_{suministrada} = \Delta E_{sistema} + \Delta E_{evacuada}$$

En nuestro caso tendremos lo siguiente:

$$Q_{leña} = Q_a + Q_{mc} + Q_{gc} + Q_{pérd.}$$

Donde tenemos:

- $Q_{leña}$: Calor generado por la leña
- Q_a : Calor ganado por el agua que se encuentra en la bañera.

- Q_{mc} : Calor absorbido por los materiales del calentador.
- Q_{gc} : Calor evacuado por los gases de combustión.
- $Q_{pérd}$: Calor evacuado a través de las superficies de calentador en contacto con el medio ambiente.

a) **Calor generado por la leña. ($Q_{leña}$)**

$$Q_{leña} = (m_{leña1} - m_{leña2}) \times PC_{leña} \quad (kJ)$$

Donde tenemos:

- $m_{leña1}$: masa de la leña al inicio de la prueba (kg).
- $m_{leña2}$: masa de la leña al final de la prueba (kg).
- $PC_{leña}$: Poder calorífico de la leña (kJ/kg).

Donde la masa de nuestra leña la obtendremos pesando nuestra masa inicial y final con la ayuda de una balanza y el poder calorífico de la leña se tomará a 12.47% de humedad.

b) **Calor ganado por el agua (Q_a).**

$$Q_a = m_a \times C_{pa} \times (T_{af} - T_{ai}) \quad (kJ)$$

Donde tenemos:

- m_a : masa de agua a calentar (kg).
- C_{pa} : Calor específico promedio del agua (kJ /kg / °C)
- T_{af} : Temperatura del agua al final de la prueba (°C).
- T_{ai} : Temperatura del agua al inicio de la prueba (°C).

Las temperaturas podrán ser medidas utilizando un registrador electrónico, provisto de termocuplas y verificando nuestras mediciones con un termómetro de mercurio.

La masa del agua se obtendrá por intermedio de una conversión entre el volumen de agua almacenado dentro de la bañera para calentar con el valor de la densidad del agua (se tomará el valor: $\delta_{\text{agua}} = 1\,000\text{kg} / \text{m}^3$ o simplemente teniendo en cuenta que 1 litro de agua es equivalente a 1kg).

c) Calor absorbido por los materiales del calentador. (Q_{mc})

El calor que absorben los diferentes materiales que componen el calentador (horno, parrilla, niples, etc.), se pueden determinar de la siguiente manera:

$$Q_{mc} = \sum_j m_{cj} \times C_{pcj} \times (T_{cfj} - T_{cij}) \quad (\text{kJ})$$

- m_{cj} : Masa de algún material “j” del calentador (Kg)
- C_{pcj} : Calor específico promedio de algún material “j” del calentador (kJ/kg/°C).
- T_{cfj} : Temperatura promedio de un material “j” del calentador al final de la prueba (°C).
- T_{cij} : Temperatura promedio de un material “j” del calentador al inicio de la prueba (°C).

Esta ecuación nos permitirá calcular, la cantidad de energía que absorben los diferentes materiales que constituyen el calentador, antes de permitir el paso de un flujo de calor constante a través de ellos.

Por la dificultad de las mediciones de temperatura de los componentes internos del calentador, este cálculo no será realizado, pues el cálculo se realiza ya con el calentador caliente es decir como un volumen de control estacionario, por lo tanto no se tomarán los datos durante nuestra evaluación, así que dicho flujo de energía será considerado como pérdidas no contabilizadas y serán hallados al igualar la ecuación de la conservación de la energía para hallar la eficiencia (Primera Ley de la Termodinámica).

d) Calor evacuado para absorber la humedad. (Q_{eva})

Aquí calcularemos el calor necesario para evaporar la humedad contenida en el combustible, en nuestro caso la leña, para lo cual tenemos:

$$Q_{eva} = (9.h+w) \times ((100-T^\infty) + 540 + 0.256 \times (T_g - 100)) \quad (\text{kJ})$$

Donde:

- h : Porcentaje de hidrógeno por kg de combustible quemado. (%)
- W : Humedad contenida en 1kg de combustible. (kg)
- T_g : Temperatura promedio de salida de los gases de escape. ($^\circ\text{C}$)
- T^∞ : Temperatura promedio de entrada de aire de combustión. ($^\circ\text{C}$)

e) Calor evacuado por los gases de combustión. (Q_{gc})

La energía perdida por los gases calientes de escape será la siguiente:

$$Q_{gc} = m_g \times C_{pg} \times (T_g - T^\infty) \quad (\text{kJ})$$

Donde :

- m_g : Masa de los gases calientes. (Kg)
- C_{ps} : Calor específico de los gases de combustión (kJ/kg/ $^\circ\text{C}$)
- T_g : Temperatura promedio de salida de los gases de escape. ($^\circ\text{C}$)
- T^∞ : Temperatura promedio de entrada de aire de combustión. ($^\circ\text{C}$)

Para la obtención de m_g (masa de los gases calientes kg) utilizaremos la siguiente relación:

$$m_g = (m_{leña1} - m_{leña2}) \times M_g$$

Donde tenemos:

- $m_{leña1}$: masa de la leña al inicio de la prueba (kg).
- $m_{leña2}$: masa de la leña al final de la prueba (kg).
- M_g : r a/comb. (kg.aire/kg.vomb).

f) **Calor perdido por la combustión incompleta de la leña. (Q_{inc})**

La energía perdida por la combustión incompleta de la leña se podrá obtener con un análisis de los productos de la combustión (humos) utilizando un analizador tipo ORSAT y utilizando la siguiente relación:

$$Q_{inc} = \frac{CO}{(CO + CO_2)} x (Q_{cc} + Q_{co}) x W_c \text{ (kJ)}$$

CO : Porcentaje de monóxido de carbono obtenido en el análisis de humos (%)

CO₂ : Porcentaje de anhídrido carbónico obtenido en el análisis de humos (%)

Q_{cc} : Calor de combustión del carbono (CO₂) (kJ/kg)

Donde Q_{cc} = 7863 kcal/kg = 32921 kJ/kg

Q_{co} : Calor perdido al convertir carbono en CO (kJ/kg)

Donde Q_{co} = 2200 kcal/kg = 9211 kJ/kg

W_c : Peso de carbono en 1 kg de combustible quemado.

g) **Calor evacuado a través de las superficies en contacto con el medio ambiente.**

Existe un gradiente de temperatura entre las superficies calientes del calentador portátil a leña y el medio ambiente, es por este motivo que se producirá un intercambio de calor, originados por los efectos combinados de convección y radiación.

La magnitud del calor evacuado, se puede determinar mediante la siguiente relación:

$$Q = \alpha_{total} \times AT \times (T_w - T_{\infty}) \times t \quad \text{(kJ)}$$

Donde:

α_{total} : Coeficiente total de transferencia de calor que incluye los efectos combinados de convección y radiación (kW/m²/ °C)

- A_T : Área de transmisión de calor (m^2)
 T_w : Temperatura promedio de la superficie del calentador de agua ($^{\circ}C$)
 T_{∞} : Temperatura del medio ambiente ($^{\circ}C$)
 t : tiempo de duración de la prueba (s)

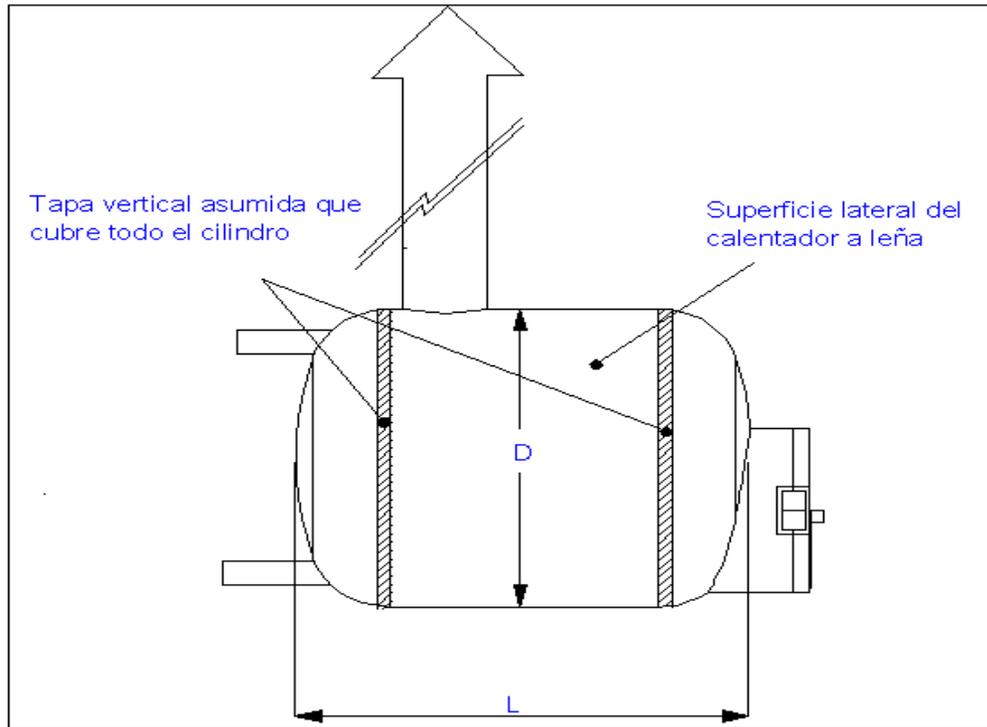


FIGURA III.3 Esquema del calentador a leña

- Calor evacuado a través de área lateral (Q_L).

$$Q_L = \alpha_{total} \times \pi \times D \times L \times (T_{wL} - T_{\infty}) \times t \quad (\text{kJ})$$

$$\alpha_{total} = \alpha_c + \alpha_r$$

Donde:

- α_c : Coeficiente de convección ($kW/m^2/ ^{\circ}C$)
 α_r : Coeficiente de radiación ($kW/m^2/ ^{\circ}C$)
 T_{wL} : Temperatura promedio de la superficie lateral ($^{\circ}C$)
 D : Diámetro del cilindro (m).
 L : Longitud del cilindro (m).

Se sabe que por lo general el aire, es un fluido que comúnmente es sometido a una convección natural, situación que se asemeja a nuestro diseño ya que la transferencia de calor que se produce entre la superficie del calentador y el medio ambiente no es ocasionada por la presencia de una máquina o dispositivo externo.

Para determinar el α_c , afirmaremos que la transferencia se produce por convección natural y utilizaremos las relaciones simplificadas para el aire que proporcionan el coeficiente de convección en función de la geometría del sistema (D) y de la diferencia de temperatura ($\Delta T = T_w - T_\infty$)

CILINDROS HORIZONTALES:

- Régimen laminar: $\alpha_c \text{ (W/m}^2/\text{ }^\circ\text{C)} = 1.32 (\Delta T/D)^{1/4}$
- Régimen turbulento: $\alpha_c \text{ (W/m}^2/\text{ }^\circ\text{C)} = 1.24 (\Delta T)^{1/3}$

Estas correlaciones son válidas para una presión atmosférica normal ⁸ (1.01325bar)

Para determinar el coeficiente de radiación tomaremos en cuenta que la transferencia viaja desde un medio pequeño hacia el medio ambiente por lo tanto consideraremos:

- Área medio ambiente = ∞
- $\epsilon_\infty = 1$ ideal

Además consideraremos que el medio ambiente envuelve por completo a nuestro calentador por lo que el factor de forma radiante ($F_{12} = 1$) será ideal

⁸ Fuente: MEC236 Transferencia de calor convección Ing. Enrique Barrantes separatas de clase PUCP 2006

De todas estas consideraciones determinaremos el coeficiente de radiación α_r :

$$\alpha_c = \sigma * \epsilon * \frac{(T_{WL}^4 - T_{\infty}^4)}{(T_{WL} - T_{\infty})} \text{ (kW / m}^2 \text{ / } ^\circ\text{C)}$$

Donde:

σ : Constante de Stefan-Boltzman = $5,6697 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$

ϵ : Emisividad del material de la pared.

Consideraremos los siguientes valores de emisividad:

Fierro Galvanizado ligeramente oxidado: 0.30

Superficies oxidadas: 0.70

- **Calor evacuado a través de las superficies verticales (tapa y contratapa).**

$$Q_T = \alpha_{total} \times \pi \times A \times (T_{WL} - T_{\infty}) \times t \quad \text{(kJ)}$$

$$\alpha_{total} = \alpha_c + \alpha_r$$

Donde:

α_c : Coeficiente de convección (kW/m²/ °C)

α_r : Coeficiente de radiación (kW/m²/ °C)

T_{WL} : Temperatura de la superficie lateral (°C)

A : Área de la placa.

Para la tapa y contratapa al estar estas sometidas únicamente a un campo originado por la gravedad la convección será natural, por fines prácticos de cálculo la consideraremos como una placa vertical que cubre todo el cilindro.

Para hallar el α_c utilizaremos las siguientes relaciones:

$$Nu = 0.664(Re^{0.5}) * (Pr^{0.33})$$

$$Nu = (\alpha_c * L) / k \quad Re = (v * L * \rho) / \mu < 10^5$$

$$0.1 = Pr = \frac{\mu C_p}{K} \leq 1000$$

Donde las propiedades del aire ν , ρ , μ , k , Pr , C_p se calcularán T_{flim} .

$$T_{flim} = (T_w - T_{\infty}) / 2$$

Donde:

- L : longitud de la placa.
- T_{flim} : Temperatura de capa límite ($^{\circ}C$)
- Nu : Número adimensional de Nusselt.
- Pr : Número adimensional de Prandtl.
- Re : Número adimensional de Reynolds.
- ν : velocidad del flujo relativa a la placa (m^2 / s)
- μ : viscosidad dinámica del flujo ($N*s/m^2$)
- k : conductividad térmica del aire.
- C_p : Calor específico del fluido ($kJ/kg/^{\circ}C$)

Sin embargo también existen relaciones simplificadas para este sistema que proporcionan el coeficiente de convección en función de la geometría.

PLACAS VERTICALES:

- Régimen laminar: $\alpha_c (W/m^2 / ^{\circ}C) = 1.42 (\Delta T/L)^{1/4}$
- Régimen turbulento: $\alpha_c (W/m^2 / ^{\circ}C) = 1.31 (\Delta T)^{1/3}$

Similarmente el coeficiente de radiación α_r viene dado por:

$$\alpha_c = \sigma * \epsilon * \frac{(T_{WL}^4 - T_{\infty}^4)}{(T_{WL} - T_{\infty})} (kW / m^2 / ^{\circ}C)$$

Donde:

- σ : Constante de Stefan-Boltzman = $5,6697 \times 10^{-8} W/m^2K^4$
- ϵ : Emisividad del material de la pared.

Consideraremos los siguientes valores de emisividad:

Fierro Galvanizado ligeramente oxidado: 0.30

Superficies oxidadas: 0.70

Fuente: MEC236 Transferencia de calor correlaciones en convección Ing. Enrique Barrantes., separatas de clase PUCP 2006

j) **Calor evacuado a través de los conductos de recirculación.**

Este cálculo no será considerado por que su geometría y forma dependen directamente de las instalaciones de albañilería que necesite implementar el usuario para la correcta instalación de calentador de agua portátil (distancias, formas, geometrías, etc.), además que estas instalaciones de ductos de recirculación del agua no forman parte del diseño del calentador. Su magnitud será considerada como $Q_{pérd.}$ no calculado.

5) **CÁLCULO DE LA EFICIENCIA TOTAL DEL SISTEMA:**

Definiremos como eficiencia total del sistema a la relación entre la energía recibida y la energía suministrada.

En este caso, la energía recibida está dada por la cantidad de calor que absorbe el agua. La energía suministrada es la que proporciona la leña o bosta.

Entonces:

$$Eficiencia(\%) = \frac{Q_a}{Q_{leña/bosta}} = \frac{m_a * C_p * (T_{af} - T_{ai})}{(m_{leña} - m_{fleña}) * PC_{leña}}$$

CAPÍTULO IV

FABRICACIÓN

Todo trabajo siempre se debe realizar con suma seguridad y en condiciones adecuadas.

1) Partes principales del Calentador a leña:

a) **Carcasa Exterior:**

Esta carcasa exterior esta formada por un balón de gas de 10kg, construido según la NTP 350 011 donde se especifica sus dimensiones.

b) **Carcasa Interior:**

Esta carcasa interior (hogar) estará formada por un extintor de agua de 9Kg modelo ENP 009 el cual según TABLA IV.1 tienen un diámetro de 180mm.

TABLA IV.1 Características Extintores

ENP	001	002	003	006	A06	009	012
Eficacia	5A-21B-C	8A-34B-C	13A-55B-C	21A-113B-C	34A-233B-C	34A-144B-C	43A-233B-C
Agente Extintor	1 Kg. POLVO ABC	2Kg. POLVO ABC	3 Kg. POLVO ABC	6 Kg. POLVO ABC	6 Kg. POLVO ABC	9 Kg. POLVO ABC	12Kg. POLVO ABC
Agente Propulsor	N2						
Altura máxima (mm)	353	368	470	528	528	605	620
Diámetro	80	110	110	150	150	180	190
Peso (kg)	2.15	3.80	5.15	9.22	9.22	13.47	16.75
Temperatura Utilización	-20°C/ +60°C						
Presión Prueba	23 bar.						

Referencia www.climacity.com

c) Chimenea.

Será construída, con un tubo de 2 ½" de diámetro con un extremo roscado de longitud de 2.5m. aprox. para cumplir con la especificación del tiro necesario material ASTM A - 36.

d) Tapa del hogar.

El hogar (carcasa interior) contará con una tapa, confeccionada por una plancha circular de diámetro 185mm aprox. y espesor de 1/2" de material ASTM A-36.

e) Bisagra.

La bisagra es el elemento de unión entre la tapa y la carcasa interior, es la que permitirá el giro de la tapa, será hecha en el torno, contará con dos elementos un macho y una hembra, se hará de una barra lisa ASTM-36 de ½" de 40mm longitud.

f) Patas inferiores.

Estarán formados por perfiles en L de 1/2"x1/2"x1/4" con una longitud de 200mm, con lo que se buscará que nuestro calentador tenga estabilidad y que además pueda permanecer parado sobre una superficie plana.

g) Conductos de agua.

Los conductos de agua fría y caliente que se ubicarán en la parte posterior del calentador estarán confeccionados por niples de fierro galvanizados de 1" x4" y la toma de muestras o entrada para el manómetro estará confeccionada por un niple de 1/2" x2".

h) **Manijas.**

Serán hechas con platina de 1/8" doblada en forma de U con un ancho de 20mm y una longitud de 180mm aproximadamente ya que sus dimensiones no son relevantes, sólo se busca su funcionalidad por lo que se puede confeccionar con cualquier otro retazo de material metálico resistente. Se colocará en la parte superior del calentador.

i) **Parrilla.**

Es un elemento adicional que se añade al calentador para facilitar la entrada de aire primario a la leña y mejorar la combustión. Estará confeccionado por una platina 1/8 doblada en una fracción circular de 110° aproximadamente y otra platina 1/8" también soldada encima de ésta, la segunda platina estará llena de agujeros por donde ingresará el aire para arder sus dimensiones se verá en los planos.

2) **Consideraciones para soldar:**

El soldeo es el proceso de unión por lo que se establece continuidad entre las partes a unir con o sin calentamiento, con o sin aplicación de presión y con o sin aportación de material.

En nuestro caso el proceso de soldadura se realizará por medio de soldeo por arco con electrodos revestidos SMAW (ANSI/AWS A3.0).

Como metal de aportación utilizaremos el electrodo E6010 (Electrodo para acero dulce al carbono AWS A5.1), este electrodo permite soldar en todas las posiciones, permite una velocidad de depósito mayor y una aplicación sencilla. Sus aplicaciones típicas son el soldeo de estanques, estructuras, barcos, tuberías de presión, cañerías, planchas corrientes y galvanizadas por lo cual es ideal para nuestro diseño.

SEGURIDAD.

Para soldar con arco eléctrico debemos verificar que el soldador cuente con los elementos mínimos para realizar una tarea segura (máscara de soldar, guantes de cuero, mandil de cuero, polainas, zapatos de seguridad). La máquina soldadora debe tener una salida conectada a tierra ya que estas trabajan con grandes intensidades de corriente, los cables, interruptores y controles deben estar en buenas condiciones para evitar un riesgo de electrocución.

PROCEDIMIENTO PARA SOLDAR.

Es necesario dar algunas recomendaciones que pueden ayudar al proceso de soldeo. Para obtener los mejores resultados, se recomienda un arco de longitud mediana que permita controlar mejor la forma y aspecto del cordón.

Para la soldadura se recomienda mantener el electrodo a 45°, oscilado en el sentido del avance, movimiento adelante para buena penetración y atrás para evitar socavación y dar forma al cordón. Se inserta procedimiento utilizado.

WPS GPT 001	ESPECIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA PARA EL CALENTADOR PORTÁTIL A LEÑA	
-------------	---	--

CLIENTE: **GRUPO PUCP**
TÍTULO: **CALENTADOR DE AGUA PORTÁTIL A LEÑA**

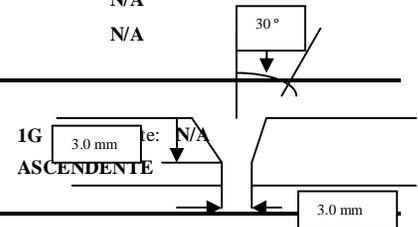
PRECALENTAMIENTO
Temp. de precalentamiento min. **N/A**
Temp. interpasos min. **N/A**
Tipo: **N/A**

DISEÑO DE LA JUNTA USADA

Tipo: **BISEL EN V**
Simple: **SI** Doble soldadura:
Backing: **NO**
Back weld: **NO**
Abertura de raíz: **3.0mm** Dimensión de la cara de raíz: **3.0 mm**
Angulo del bisel: **60°** Radio (J-U): **N/A**
Back Gouging: **NO**

POSICIÓN

Posición del bisel: **1G**
Progresión vertical: **ASCENDENTE**



CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS

Modo de transferencia(GMAW): **N/A**
Corriente: **CC+**
Otros:

METAL BASE

Especificación del material: **ASTM A 36**
Tipo de grado: **P1 a P1**
Espesor: Bisel **3.18 mm** Filete: **N/A**
Resistencia a la tracción mín. **58 KSI**

TÉCNICA

Recto u oscilante **AMBOS**
Multipaso ó paso simple (por lado) **MÚLTIPLE**
Número de electrodos **UNO**

METAL DE APORTE

Especificación AWS **SFA - 5.1**
Clasificación AWS **E 6010**
F - N° Tamaño electrodo: **3/32" - 5/32"**
Tipo de material de aporte **Varilla sólida**

Electrodo Spacing Longitudinal
Lateral
Ángulo longitudinal
Limpieza inicial y entre pases: **ESCOBILLA Y ESMERIL**
Distancia de trabajo: **N/A**
Stickout: **N/A**

PROTECCIÓN

Flux **N/A** Gas **N/A**
Composición **N/A**
Electrode-Flux(Class) Flow rate **N/A**
Gas cup size **N/A**

TRATAMIENTO TÉRMICO POST SOLDADURA

Temp. **N/A**
Tiempo **N/A**

MÉTODO DE REPARACION

PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA

Pase o capa(s) de soldadura	Proceso	Clase	Diámetro	Corriente		Voltaje	Velocidad de avance (Pulg./min.)	Detalle de la junta
				Tipo y polaridad	Amperios			
1	SMAW	E 6010	3/32"	DCEP	60-90	21-23	4,5-6,2	
2	SMAW	E 6010	1/8"	DCEP	80-110	21-23	5,0-6,0	
3	SMAW	E 6010	1/8"	DCEP	80-110	21-23	4,5-5,5	
Elaborado por: RICHARD LAYSECA GARCIA								

3) Instrucciones de Fabricación:

Primero se comenzará con la carcasa exterior, es preferible utilizar un balón de gas nuevo para la confección del calentador. De utilizar un balón de gas de segunda condición, antes de manipularlo debe cerciorarse de que este no contenga gas en su interior, esto es imposible lograrlo en un 100% por que siempre quedará un residual dentro de él, es por esto que antes de manipularlo se debe seguir los siguientes pasos:

Corte la válvula y las manijas (protector de válvula) con un arco de sierra, no intenté hacerlo con ningún tipo de herramienta eléctrica, ni mucho menos con oxicorte pues esto podría ocasionarme un accidente, además se recomienda utilizar una mascarilla nasal pues a pesar de que el gas residual es mínimo el olor es muy fuerte y es tóxico para nosotros, si es posible realizar dicho corte en un ambiente abierto.

Una vez cortadas las manijas se procederá al corte de la válvula, es normal que el olor a gas aumente en esta etapa, sin embargo no tenga miedo pues el aumento del olor es algo natural mientras uno está cortando, una vez terminado el corte de la válvula el balón de gas tendrá un orificio en la parte superior como en la FIGURA IV.1, debido a la ausencia de la válvula.



FIGURA IV.1 Balón de gas sin manijas ni válvula

Ya realizado el corte lave muy bien el balón de gas con abundante agua y detergente, el olor a gas en esta paso es más agresivo, por lo que se recomienda hacer su limpieza en un ambiente abierto y de forma pausada, el

agua que saldrá será de color negra, siga lavando el balón hasta que el color negro desaparezca.

Dejar el balón al aire libre por unas 48 horas como mínimo para que su olor disminuya y facilite el trabajo, sin embargo no se sorprenda de que el olor permanezca pues esto también es algo normal.

El siguiente paso es desprender la base inferior del balón de gas, este corte se puede realizar con esmeril, pues a estas alturas del proyecto el balón ya se encuentra sin ningún residual de gas si es que usted a seguido todas las recomendaciones expuestas anteriormente, haga este corte sin ningún temor a pesar de las chipas que producirá la herramienta, al final nuestro balón deberá quedar como la FIGURA IV.2

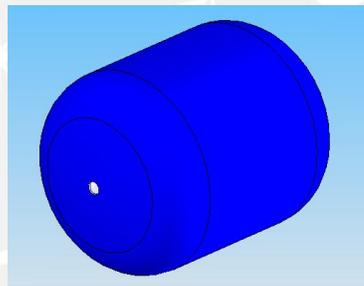
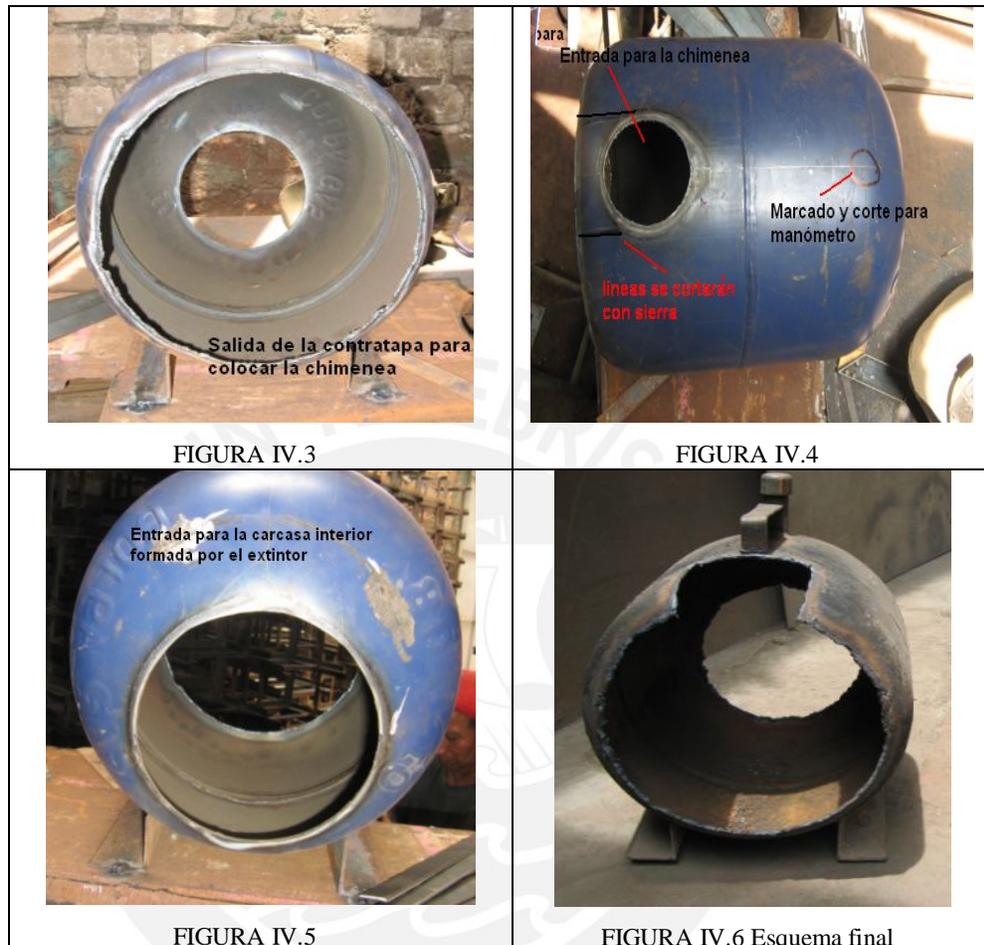


FIGURA IV.2

Balón de gas sin manijas, válvula ni base inferior

Continuaremos con el corte de la contratapa del balón es decir cortar alrededor de toda la base inferior que desprendemos, esto nos dará facilidad para la implementación de la chimenea, utilice oxicorte en la tarea (Ver figura IV.3), una vez cortada la base debe realizar el marcado de la entrada de agua fría y caliente en la contratapa y luego el corte de estas, además el balón de gas en la parte superior debe contar con agujeros para la chimenea y el manómetro cortar y marcar (Ver figura IV.4) y en la parte delantera para la carcasa interior (Ver figura IV.5). Este paso también se realizará con oxicorte, no tenga temor de manipular el balón de gas, a estas alturas el gas residual ya no es peligro solamente quedará un olor que con el paso de los días desaparecerá.

Luego de realizados los corte se soldarán las patas es la parte inferior del balón nuestro calentador debe quedar como en la Figura IV.6.



Las dimensiones y las cotas las podrá ver con mayor detalle en los planos de construcción, para terminar con la carcasa exterior, una vez hechos los cortes respectivos se utilizarán 2 Niples galvanizado de 1" x 4" que se deben soldar tanto en la entrada del agua fría como en la del agua caliente que se ubicarán en la contratapa, recuerde que se debe soldar todas las partes del calentador según el procedimiento recomendado. En la parte superior del calentador se soldará un niple de 1/2"x2" para el manómetro. Debe tener en cuenta que el cordón soldadura sea continuo e impermeable para evitar posibles fugas.

Seguidamente trabajaremos con la carcasa interior. Ésta estará fabricada por un extintor por lo que antes de trabajarlo debemos vaciarlo totalmente ya sea

de agua o polvo, una vez vacío el extintor, se debe proceder a eliminar la válvula de escape del fluido (refrigerante), esta válvula es roscada por lo que puede ser sacada con el uso de una llave de tipo Stillson.

Ya sacada la válvula del extintor, se proceda a cortar la base inferior, la distancia que se utilizará para el corte de la base es aprox. 375mm, la boca que quedará al sacar la válvula de salida del refrigerante se debe tapar para que no entre agua a nuestro horno; la boca que queda después de desprender la base es la que servirá como entrada de los leños para la combustión en su interior. Luego se debe marcar el diámetro de 2 ½" en su parte superior ahí se soldara el niple que servirá como conducto de los gases de escape, mas adelante será unido mediante una unión normal de 2 ½" al brazo que conformará la chimenea.

Una vez marcado el diámetro para la chimenea en la carcasa interior, este se cortará y se soldará el niple de acero de 2 1/2" como se ve en las fotografías. Este niple se le debe soldar de forma continua e impermeable ya que tendrá contacto directo con el agua a calentar. El niple debe sobresalir como mínimo unos 100mm aproximadamente cuando se una al balón de gas. Si usted utilizó un tubo en vez del extintor debió soldarle su tapa junto con él. (Ver figura IV.7 y IV.8)



FIGURA IV.7



FIGURA IV.8

Para fijar la carcasa interior con el balón de gas, el niple se soldará en la parte superior del balón y la carcasa interior en la parte delantera por el agujero que se le hizo al balón en pasos previos, finalmente soldaremos la contratapa con los nipples de 1" al balón.

La soldadura se debe verificar que sea hermética para evitar que el agua filtre al hogar (carcasa interior).

Para la tapa delantera se utilizará un disco de 180mm, al cual se le rebajará una pestaña de aprox. 2mm de profundidad. Esta pestaña servirá para sellar la unión entre el hogar (carcasa interior) y ésta,

Para trabajar la tapa con facilidad en el torno se debió soldar un pedazo de tubo en la parte central para que éste pueda ser montado con la ayuda del chuck universal ya que la tapa tiene un espesor de solo 1/2" por lo cual se hace difícil su montaje, luego de hacer este montaje se procederá a la rebaja de la pestaña de 2mm profundidad con un diámetro final de 170mm, luego se procederá a quitar el tubo y limpiar los residuos de los puntos de soldadura con un esmeril.

Esta tapa tiene 4 orificios en su parte inferior para la entrada del aire primario, los cuales tendrán un diámetro de 24mm aprox. que será realizados con la ayuda de un taladro vertical.

Finalmente se soldará la bisagra, la hembra a la carcasa interior del calentador (horno) a un costado y el macho en la tapa de tal manera que esta pueda girar.

4) Control de Calidad:

PRUEBAS DE CONFORMIDAD

Una vez culminado todo el proceso constructivo de deberá verificar la calidad de la soldadura haciendo una inspección visual, éstas juntas deben tener un cordón uniforme y una buena penetración.

Por último realizamos una prueba hidrostática que consiste en llenar el calentador de agua dulce, tapar los escapes y subir su presión a 30p.s.i a fin de garantizar hermeticidad en todas la uniones soldadas, para su realización utilizamos una bomba de pie con la cual elevamos la presión del agua dentro del calentador a 2 veces la presión de diseño (15p.s.i presión de operación).

Se colocó un tapón hembra de 1" en la salida del agua caliente y la bomba se conecto en la entrada de agua fría previamente se lleno el caldero de agua y se coloco un manómetro de 100p.s.i con rosca de 1/2" en la toma que se dejo para éste, el cual nos permitió tomar registro de la presión durante de la prueba.

A continuación adjuntamos los datos recogidos durante la prueba, estos datos fueron tomados con un intervalo de 5 minutos durante los 60 minutos que duró la prueba.

La prueba hidrostática nos permite garantizar el correcto funcionamiento de nuestro caldero en caso de una sobrepresión de hasta 2 veces la presión de operación. Tengamos en cuenta que es muy difícil que el calentador se sobrepresione ya que la toma y salida del agua permanecen abierta durante su funcionamiento

TABLA IV.2 DATOS DE PRUEBA HIDROSTÁTICA

ITEM	FECHA	HORA	PRESION PSI	OBSERVACIONES
1	25/02/2008	15:15:00	15	Sin fuga.
2	25/02/2008	15:20:00	20	Sin fuga.
3	25/02/2008	15:25:00	28	Sin fuga.
4	25/02/2008	15:30:00	31	Sin fuga.
5	25/02/2008	15:35:00	31	Sin fuga.
6	25/02/2008	15:40:00	31	Sin fuga.
7	25/02/2008	15:45:00	30	Sin fuga.
8	25/02/2008	15:50:00	30	Sin fuga.
9	25/02/2008	15:55:00	30	Sin fuga.
10	25/02/2008	16:00:00	30	Sin fuga.
11	25/02/2008	16:05:00	30	Sin fuga.
12	25/02/2008	16:10:00	30	Sin fuga.
13	25/02/2008	16:15:00	30	Sin fuga.



GRÁFICA IV.1



CORROSIÓN.

Sabemos que la corrosión es la destrucción de un material por una interacción química o electroquímica entre un medio y un material. En nuestro caso al estar nuestro calentador expuesto al ambiente y además de tener un contacto permanente con agua que es un electrolito, la corrosión puede llegar a ser muy agresiva.

Por tal motivo es que se le debe dar una gran importancia a la corrosión. La corrosión se da principalmente en las discontinuidades, uniones soldadas (diferencia de potencia entre los materiales) y en los materiales superpuestos. Sin embargo el fierro es un material anódico medio, que con técnicas industrializadas para evitar la corrosión se puede prolongar su vida útil.

Medidas para evitar la corrosión en el calentador:

- El metal de aporte de la soldadura debe ser compatible con el material a soldar, en nuestro caso utilizamos un electrodo revestido E6010 que es el idóneo para este material por su homogeneidad.
- Se disminuyó las discontinuidades al diseñar el calentador de forma cilíndrica.
- Se hizo una inspección visual de los cordones de soldadura y de la superficie del calentador.

Otras Medidas:

- Realizar una protección catódica al calentador por medio de un baño de algún material que este por encima de él en la serie galvánica, los materiales utilizados generalmente para proporcionar este tipo de protección son zinc y magnesio. Se recomienda hacer este baño al calentador (arenado y zincado).

- Utilizar el empleo de inhibidores o revestimientos superficiales, como pinturas, películas de óxido y sal o revestimientos metálicos, para nuestro caso debido a que el calentador está expuesto a temperaturas altas se debe utilizar pinturas ricas en zinc y resistentes a las temperaturas según recomendación de CPPQ en su línea AMERON JET lo ideal es una combinación de una primera capa de Dimetcote9 (zinc-inorgánico alta resistencia a la temperatura 400°C) 1 a 3 mils y un acabado de PSX 892HS (Polisiloxano – alta temperatura 400°C compatible con imprimantes de zinc inorgánico) 1 a 2 mils. Esto prolongaría a una vida útil de 6 a 8 años de uso continuo.



CAPITULO V

PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO:

A continuación, se detallarán los resultados obtenidos en las pruebas que se realizaron al calentador a leña en la Casa Ecológica del GRUPO PUCP, donde se instaló el calentador y se probó su funcionamiento. Para las pruebas se instaló una bañera con 210 litros de agua y se adaptó el calentador de forma sencilla. (Figura V.1). Tenemos que tener en cuenta que los resultados sirven para diseños aplicados en la costa a nivel del mar, en el caso de utilizar el caldero en el altiplano la eficiencia será menor.



Figura V.1

Esquema de instalación

1) HERRAMIENTAS, MATERIALES Y EQUIPOS.

Para la instalación se utilizaron las siguientes herramientas, materiales y equipos.

Herramientas utilizadas en la instalación:

- Desarmador plano.
- Desarmador estrella.
- Alicata universal.
- Pala.
- Pico.

Material utilizado en la Instalación.

- Codo 90 de 1" Galvanizado.
- Cinta de teflón.
- Abrazaderas de 1 ½". (4 unidades)
- Alambre de amarre. (5m)
- Manguera de 1 ¼". (1m)

Equipos utilizados para la Pruebas y medición.

- Multímetro.
- Cronómetro.
- Balanza.
- Manómetro (0 a 100 p.s.i.)

Características de Equipo de medición.

Equipo: Multímetro Digital
 Marca: Meterman.
 Modelo: 38XR
 Precisión: 0.25%
 Termocupla: tipo K
 Rango: Hasta 1300 °C



2) CONDICIONES DE PRUEBA:

La prueba se realizó en la Casa Ecológica del GRUPO PUCP, ubicada en la Pontificia Universidad Católica del Perú en la ciudad de Lima, en la estación de verano, mes de febrero del 2008, con una temperatura promedio de 26 °C, humedad de 65% y presión atmosférica de 1.013 bar y con 210 litros de agua en la bañera.

3) PUNTOS DE MEDICIÓN:

Para las pruebas se tomaron los siguientes puntos de medición como registros: (Ver Figura V.2 y V.3)

- **Temperatura promedio del agua en la bañera:** Se tomó registro de la temperatura del agua luego de agitarla.
- **Temperatura del sifón:** El agua que sale por el conducto de agua caliente.
- **Temperatura en la superficie lateral del calentador:** Se tomó la temperatura a la parte externa del balón de gas.
- **Temperatura promedio en la superficie la tapa y contratapa:** Se consideró un promedio de ambas Temperaturas en los cálculos.
- **Temperatura de los gases de combustión:** La chimenea contaba con un orificio para toma de muestras.



FIGURA V.2



FIGURA V.3

4) DESCRIPCIÓN DE LAS PRUEBAS:

Una vez instalado el calentador a leña (adaptado a la bañera), se procedió a la siguiente secuencia para realizar la prueba.

- Se procedió a llenar la bañera con agua de la red, exactamente 210 litros, para su medición se utilizó cilindros de agua de 20 litros, una vez lleno la bañera se midió la temperatura del agua, de la superficie lateral del calentador, tapa y contratapa, y el aire interior en la chimenea. (Ver fotografía V.4)



FIGURA V.4. Llenado de la bañera con 210 litros.

- Seguidamente se procedió a encender el calentador para esto se colocó 850g de leña al calentador y se utilizó cerillos, papel y kerosene para facilitar el encendido.
- Se tomó el registro de los cambios de temperatura en los puntos de medición antes mencionado con un intervalo de 10 minutos en promedio, además que se llevó el registro del consumo de leña utilizado durante la prueba.
- Al llegar a las 3 horas se procedió al apagado del calentador.

5) RESULTADOS DE LAS PRUEBAS.

a) PRUEBA 1

En la prueba se registraron las temperaturas en todos los puntos antes mencionados con la ayuda del Multímetro Meterman, además se registró también el consumo de leña que se iba incorporando obteniendo los siguientes resultados:

Condiciones iniciales:

Cantidad de agua: 210litros.

Temperatura ambiente: 28 °C.

TABLA V.1 REGISTRO DE LA PRUEBA 1

Tiempo	Temperatura °C					Observaciones
	Hora	T agua	T del sifón	T superficie lateral	T superficie tapa contratapa	
00:00	25	25	27	27	27	Masa leña=850gr.
00:10	26	40	59	53	267	
00:20	28	44	57	52	430	
00:30	30	44	59	54.5	255	
00:40	31	49	63	57.5	427	Se añadió leña 350gr.
00:50	32	49	52	50	310	
01:00	34	53	62	55	343	Se añadió leña 300gr.
01:10	36	55	64	58	420	Se añadió leña 350gr.
01:20	37	53	62	58	200	
01:30	38	54	75	68.5	272	Se apagó se quedo sin leña.
01:40	39	50	58	50.5	200	Se añadió 300gr de leña.
01:50	40	53	58	50.5	234	
02:00	41	59	62	55	447	Se añadió 400gr leña.
02:10	41	55	68	58	410	
02:20	42	58	64	56	326	
02:30	43	55	71	62.5	245	
02:40	43	55	65	58.5	340	Se añadió 300gr de leña.
02:50	44	60	63	56	410	
03:00	44	60	68	59	480	Se recuperó 350gr de cenizas.

De la prueba 1 podemos concluir que en 3 horas se llegó a 44°C con un consumo de 2.85kg de leña muy cercano a lo esperado que era llegar a 45 °C en 3 horas con un consumo de leña de 2.68kg. Se elevó en 19 °C la temperatura de los 210 litros de agua.

b) PRUEBA 2

Condiciones iniciales:

Cantidad de agua: 210litros.

Temperatura ambiente: 26 °C.

TABLA V.2 REGISTRO DE LA PRUEBA 2

Tiempo	Temperatura °C					Observaciones	
	Hora	T agua	T del sifón	T superficie lateral	T superficie tapa contratapa		T gases de combustión
00:00		23	23	26	26	26	Masa leña=900gr.
00:10		25	40	61	54	287	
00:20		27	40	62	54	456	Se añadió leña 350gr.
00:30		29	43	58	53	220	
00:40		31	46	48	47.5	410	Se añadió leña 350gr.
00:50		33	49	58	53	286	
01:00		34	53	74	64	284	Se añadió leña 300gr.
01:10		34	50	68	60	220	
01:20		35	51	58	54	208	
01:30		35	53	63	56.5	220	
01:40		37	54	68	60	310	Se añadió 500gr de leña.
01:50		38	57	69	58.5	270	
02:00		38	54	72	62	187	Se añadió 400gr leña.
02:10		39	56	71	61.5	420	
02:20		39	54	52	51	238	
02:30		40	54	55	53.5	189	
02:40		41	50	65	58.5	340	Se añadió 300gr de leña.
02:50		42	56	63	56.5	320	Se añadió 300gr de leña.
03:00		43	58	68	58	410	Se recuperó 450gr de cenizas.

De la prueba 2 podemos concluir que en 3 horas se llegó a 43°C con un consumo de 2.95kg. Se elevó en 20°C la temperatura de los 210 litros de agua teniendo en cuenta que en esta prueba la temperatura inicial fue de 23°C.

c) PRUEBA 3

Condiciones iniciales:

Cantidad de agua: 210litros.

Temperatura ambiente: 27 °C.

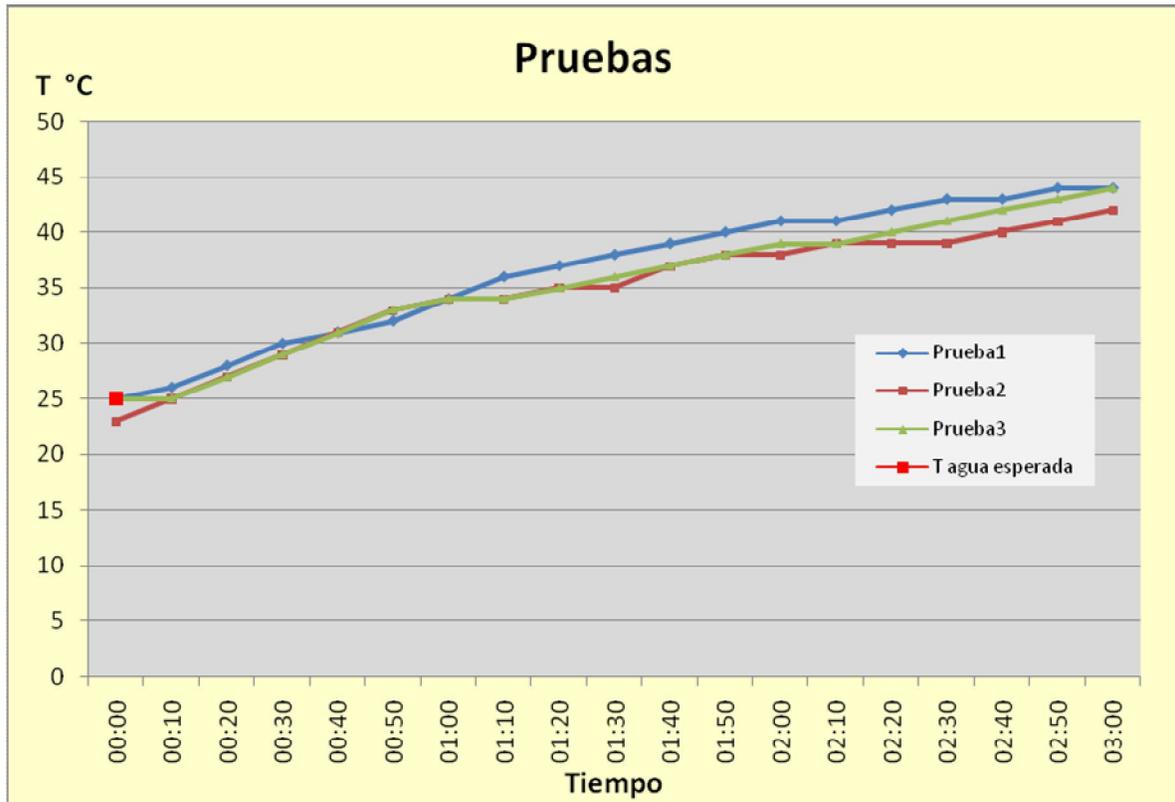
TABLA V.3 REGISTRO DE LA PRUEBA 3

Tiempo	Temperatura °C					Observaciones
	Hora	T agua	T del sifón	T superficie lateral	T superficie tapa contratapa	
00:00	25	25	27	27	27	mleña=900gr
00:10	25	30	61	54.5	380	
00:20	27	40	62	55	464	Se añadió leña 300gr
00:30	29	43	58	55	234	
00:40	31	45	56	54	410	Se añadió leña 300gr
00:50	33	48	52	50	290	
01:00	34	50	68	60	310	Se añadió leña 300gr
01:10	34	51	66	59	234	
01:20	35	51	60	55	220	
01:30	36	53	56	53	208	
01:40	37	54	68	59.5	310	Se añadió 400gr de leña
01:50	38	55	69	61.5	256	
02:00	39	54	72	63	142	
02:10	39	56	71	62.5	456	Se añadió 500gr leña
02:20	40	56	65	57.5	380	
02:30	41	54	53	51.5	265	
02:40	42	53	65	57.5	340	Se añadió 300gr de leña
02:50	43	56	68	60	320	Se añadió 300gr de leña
03:00	44	60	72	62	410	Se recuperó 400gr de cenizas

De la prueba 3 podemos concluir que en 3 horas se elevó en 19 °C la temperatura de los 210 litros de agua llegando a los 44°C con un consumo de 2.90kg.

De los datos obtenidos en todas las pruebas realizaremos una gráfica comparativa para ver el comportamiento del calentador.

GRAFICA V.1 SINTESIS DE PRUEBAS



De los datos obtenidos en las pruebas realizadas tomaremos un ponderado de nuestros datos para realizar el balance energético con un temperatura ambiente de 27 °C.

Síntesis de las pruebas TABLA V.4

Temperatura	°C
T agua inicial	24.33
T agua final	43.33
T del sifón inicial	24.33
T del sifón final	59.33
T superficie lateral promedio	63.06
T superficie tapa / contratapa promedio	56.64
T gases de combustión promedio	313.33

Es importante también conocer la cantidad de leña que se utilizó

Masa de leña utilizada: $(m_{leña\text{prueba}1} + m_{leña\text{prueba}2} + m_{leña\text{prueba}3}) / 3$

Masa de leña Total = 2.90 Kg.

6) BALANCE TÉRMICO DE LA PRUEBA.

a) Calor aportado por la leña:

$$Q_{leña} = (m_{leña1} - m_{leña2}) \times PC_{leña}$$

(kJ)

Donde tenemos:

$$- PC_{leña} : 17066.23\text{kJ/kg.}$$

$$Q_{leña} = (2.9) \times 17066.23\text{kJ}$$

$$Q_{leña} = 49492.07\text{kJ}$$

$$Q_{leña} = 49.49\text{MJ}$$

b) Calor ganado por el agua:

$$Q_a = m_a \times C_{pa} \times (T_{af} - T_{ai}) \quad (\text{kJ})$$

Donde tenemos:

$$- m_a : 210\text{kg. (1litro de agua pura es equivalente a 1kg)}$$

$$- C_{pa} : 4.184663 \text{ (kJ /kg / } ^\circ\text{C)}$$

$$- T_{af} : 43.33^\circ\text{C.}$$

$$- T_{ai} : 24.33^\circ\text{C.}$$

$$Q_a = 210 \times 4.184663 \times (43.33 - 24.33)\text{kJ}$$

$$Q_a = 16696.95\text{kJ}$$

$$Q_a = 16.70\text{MJ}$$

c) **Calor absorbido por los materiales del calentador:**

Por la dificultad de las mediciones de temperatura de los componentes internos del calentador, este cálculo no fue realizado, dicho flujo de energía será considerado como pérdidas no contabilizadas

d) **Calor evacuado por los gases de combustión:**

Energía perdida por los gases calientes de escape

$$Q_{gc} = m_g \times C_{pg} \times (T_g - T_{\infty}) \quad (\text{kJ})$$

Donde :

- m_g : Masa de los gases calientes. (Kg)
- C_{ps} : 1.005kJ/kg/°C ref 7 terma
- T_g : 313.33°C
- T_{∞} : 27°C

Para la obtención de m_g (masa de los gases calientes kg) utilizaremos la siguiente relación:

$$m_g = (m_{leña1} - m_{leña2}) \times M_g$$

- $m_{leña1}$: 2.9 kg.
- $m_{leña2}$: 0 kg.
- M_g : $m_{leña} \times \Gamma_{gc}/leña$

$$Q_{gc} = 23.45 \times 2.9 \times 1.005 \times (313.33 - 27) \text{ kJ.}$$

$$Q_{gc} = 19569.23 \text{ kJ.}$$

$$Q_{gc} = 19.57 \text{ MJ.}$$

e) **Calor perdido por la combustión incompleta de la leña.**

La energía perdida por la combustión incompleta de la leña se obtiene con un análisis de los productos de la combustión (humos), sin embargo no contamos en la universidad con un equipo apropiado que pueda medir el %CO de la prueba pues estos están fuera del rango de aplicación del medidor de CO que se tiene en el laboratorio de Energía de la sección de Mecánica, es por ello que tomaremos valores característicos hallados en otras experiencias.¹

$$Q_{inc} = \frac{CO}{(CO + CO_2)} \times (Q_{cc} + Q_{co}) \times W_c \text{ (kJ)}$$

$$CO : 1.57 \%$$

$$CO_2 : 4.86 \%$$

$$Q_{cc} : 7863 \text{ kcal/kg} = 32921 \text{ kJ/kg}$$

$$Q_{co} : 2200 \text{ kcal/kg} = 9211 \text{ kJ/kg}$$

$$W_c : 43.89\% \times 2.90 = 1.27 \text{ kg}$$

$$Q_{inc} = \frac{1.57}{(1.57 + 4.86)} \times (32921 - 9211) \times 1.27 \text{ kJ}$$

$$Q_{inc} = 7352.31 \text{ kJ}$$

$$Q_{inc} = 7.35 \text{ MJ}$$

f) **Calor evacuado a través de las superficies de contacto:**

Es el calor que se disipa al ambiente por transferencia

Calor evacuado a través de área lateral (QL).

$$QL = \alpha_{total} \times \pi \times D \times L \times (T_wL - T_{\infty}) \times t \quad \text{(kJ)}$$

$$\alpha_{total} = \alpha_c + \alpha_r$$

¹ Ediciones Interciencia., 2ª Edición Gráficas Canales, Madrid 1968 En Matsusita J. “*Estudio Experimental De La Transferencia De Calor En Un Calentador De Agua Con Briquetas De Carbón*” PUCP 1990, pág. 119

Donde:

$$\alpha_c : 0.004335 \text{ kW/m}^2/\text{ }^\circ\text{C}$$

$$\alpha_r : 0.005122 \text{ kW/m}^2/\text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_{wL} : 63.06^\circ\text{C}$$

$$D : 0.310\text{m}$$

$$L : 0.330\text{m}$$

CILINDROS HORIZONTALES (Convección):

$$\text{- Régimen laminar: } \alpha_c (\text{ W/m}^2/\text{ }^\circ\text{C}) = 1.32 (\Delta T/D)^{1/4}$$

$$\alpha_c (\text{ W/m}^2/\text{ }^\circ\text{C}) = 1.32 ((63.06-27)/0.31)^{1/4}$$

$$\alpha_c (\text{ W/m}^2/\text{ }^\circ\text{C}) = 4.335 = 0.004335 \text{ kW/ m}^2/\text{ }^\circ\text{C}$$

Estas correlaciones son válidas para una presión atmosférica normal (1.01325bar)

CILINDROS HORIZONTALES (Radiación):

$$\text{- Área medio ambiente} = \infty$$

$$\text{- } \epsilon_\infty = 1 \text{ ideal}$$

$$\text{- } F_{12} = 1 \text{ ideal}$$

$$\text{- } \sigma : 5,6697 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$$

$$\text{- } \epsilon : 0.7$$

$$\alpha_r = \sigma * \epsilon * \frac{(T_{wL}^4 - T_\infty^4)}{(T_{wL} - T_\infty)} (\text{kW / m}^2/\text{ }^\circ\text{C})$$

$$\alpha_r = 5.6697 * 10^{-8} * 0.7 * \frac{((63.06 + 273)^4 - (27 + 273)^4)}{(63.06 - 27)} (\text{kW / m}^2/\text{ }^\circ\text{C})$$

$$\alpha_r = 0.005122 \text{ kW / m}^2/\text{ }^\circ\text{C}$$

$$Q_L = \alpha_{total} \times \pi \times D \times L \times (T_{wL} - T_\infty) \times t$$

$$Q_L = (0.004335 + 0.005122) \times 3.1416 \times 0.31 \times 0.33 \times (63.06 - 27) \times (3600 \times 3)$$

$$Q_L = 1183.67 \text{ kJ}$$

$$Q_L = 1.183 \text{ MJ}$$

Calor evacuado a través de las superficies verticales (tapa y contratapa).

$$Q_t = \alpha_{total} \times \pi \times D^2 / 4 (T_{wL} - T_{\infty}) \times t \quad (\text{kJ})$$

$$\alpha_{total} = \alpha_c + \alpha_r$$

Donde:

$$\alpha_c : 0.00444 \text{ kW/m}^2/\text{°C}$$

$$\alpha_r : 0.00496 \text{ kW/m}^2/\text{°C}$$

$$T_{wL} : 56.64\text{°C}$$

$$D : 0.310\text{m}$$

$$L : 0.310\text{m}$$

Placas Verticales (Convección):

- Régimen laminar: $\alpha_c (\text{W/m}^2/\text{°C}) = 1.42 (\Delta T/L)^{1/4}$
 $\alpha_c (\text{W/m}^2/\text{°C}) = 1.42 ((56.64-27)/0.31)^{1/4}$
 $\alpha_c (\text{W/m}^2/\text{°C}) = 4.44 = 0.00444 \text{ kW/m}^2/\text{°C}$

Placas Verticales (Radiación):

- Área medio ambiente = ∞
- $\epsilon_{\infty} = 1$ ideal
- $F_{12} = 1$ ideal
- $\sigma : 5.6697 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$
- $\epsilon : 0.7$

$$\alpha_r = \sigma * \epsilon * \frac{(T_{wL}^4 - T_{\infty}^4)}{(T_{wL} - T_{\infty})} (\text{kW} / \text{m}^2/\text{°C})$$

$$\alpha_r = 5.6697 * 10^{-8} * 0.7 * \frac{((56.64 + 273)^4 - (27 + 273)^4)}{(56.64 - 27)} (\text{kW} / \text{m}^2/\text{°C})$$

$$\alpha_r = 0.004964 \text{ kW} / \text{m}^2/\text{°C}$$

$$QL = \alpha_{total} \times \pi \times D^2/4 \times (T_{wL} - T_{\infty}) \times t$$

$$QL = (0.00444 + 0.00496) \times 3.1416 \times 0.31^2 / 4 \times (56.64 - 27) \times (3600 \times 3)$$

$$QL = 227.11 \text{ kJ}$$

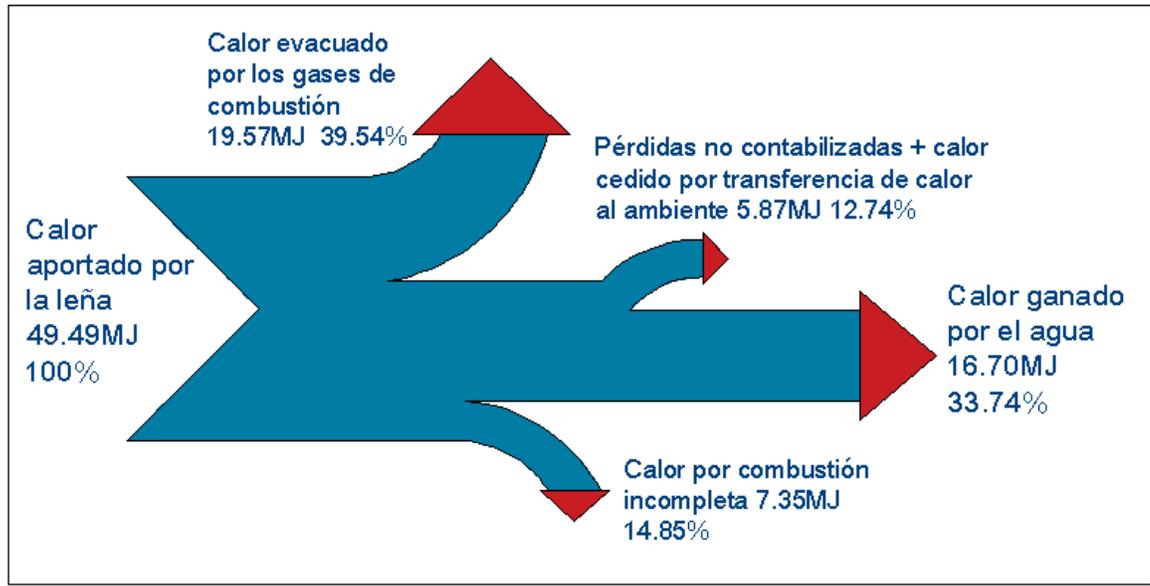
$$QL = 0.227 \text{ MJ}$$

CUADRO DE RESUMEN TABLA V.5

Q (Calor)	Unidad MJ	Porcentaje %
Calor aportado por la leña	49.49	100
Calor ganado por el agua	16.70	33.74
Calor evacuado por los gases de combustión	19.57	39.54
Calor por combustión incompleta	7.35	14.85
Calor cedido por la superficie lateral	1.18	2.38
Calor perdido por materiales del calentador	Xxxx	Xxxx
Calor evacuado por la humedad	Xxxx	Xxxx
Calor cedido por la tapa y contratapa	0.23	0.46
Total de pérdidas no contabilizadas (*)	4.46	9.03

(*) Es la diferencia entre el calor aportado por la leña y la Σ de todos los calores calculados

Diagrama V.1 Sankey



El balance energético muestra que nuestro calentador tiene una eficiencia de 33.74% que es el calor que aprovecha el agua de la leña. Al inicio de

nuestros cálculos proyectamos que tendríamos una eficiencia de 38.5% es decir tuvimos una diferencia de 4.76% a lo esperado.

Las mayores pérdidas se producen por el calor evacuado por los gases de combustión y la combustión incompleta de la leña, por tal motivo incorporaremos a nuestro calentador una válvula tipo mariposa en el ducto de la chimenea con la finalidad de retener un poco el flujo de calor que se pierde en los humos y éste se disipe en mayor cantidad en el agua.

Analizaremos el comportamiento del calentador cuando se le suma una válvula tipo mariposa en su chimenea, veremos como varía la temperatura del agua y la emisión de humos.

7) INSTALACIÓN DE LA VÁLVULA DE MARIPOSA Y RESULTADOS DE LA PRUEBA.

Se confeccionó una válvula de retención de aire tipo mariposa similar a las que se utilizan en las cocinas mejoradas a leña, con la ayuda de un niple roscado y un disco giratorio, el cual se colocó en la chimenea.



FIGURA V.5

De la prueba se obtuvo los siguientes datos:

TABLA V.6 REGISTRO DE LA PRUEBA CON VÁLVULA MARIPOSA EN CHIMENEA

Tiempo	Temperatura °C			Observaciones
	T agua °C	T del sifón	T gases de combustión	
00:00	25	25	27	Comenzó la prueba 1kg leña
00:10	26	42	345	válvula abierta abierta
00:20	26	40	230	Se apagó / válvula semi cerrada
00:30	29	44	330	válvula semi-cerrada se incorporó leña 300g
00:40	31	48	235	válvula semi-cerrada controlar la combustión
00:50	33	47	260	válvula semi-cerrada se añadió leña 300g
01:00	35	49	235	válvula semi-cerrada controlar la combustión
01:10	35	52	305	válvula semi-cerrada se añadió leña 300g
01:20	36	48	180	Se apagó / válvula semi-cerrada

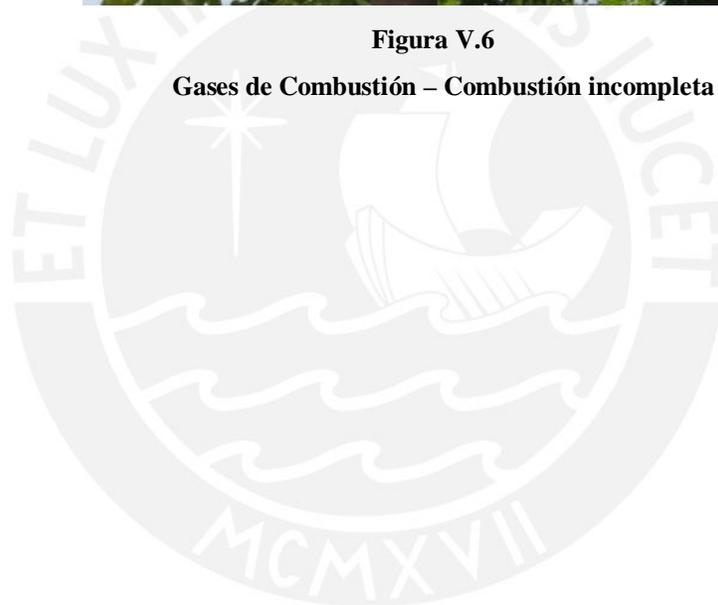
La temperatura del sifón subía de forma rápida, sin embargo el tiro de la chimenea no era el apropiado, la combustión era incompleta y los leños no se quemaban completamente además de que el fuego no se distribuía tan bien como en la prueba inicial sin válvula, en la que el tiro de la chimenea era libre y jalaba el fuego.

Si tenemos en cuenta que la combustión incompleta representa el 15.83% de pérdidas y que se tenía que controlar la combustión de forma constante para que ésta no se apague, la válvula de retención de aire tipo mariposa no fue una adecuada solución, además de que los humos no solo salían por la chimenea si no también por el intercambiador de calor contaminando el ambiente de trabajo.

Como se puede apreciar en la figura V.6, la combustión que se produce al disminuir el tiro de la chimenea no es el adecuado, se ve reflejado una mala combustión.



Figura V.6
Gases de Combustión – Combustión incompleta



CAPITULO VI

MATERIALES Y COSTOS

1. CONSIDERACIONES

En el proceso de fabricación de calentador a leña, los materiales empleados fueron seleccionados cumpliendo las siguientes consideraciones:

- Los materiales se seleccionaron de acuerdo a las exigencias de resistencia y calidad.
- Los materiales utilizados se encuentran disponibles en el mercado nacional.
- Optimizar el uso de materiales empleados, en busca de conseguir reducir el costo total de fabricación de la máquina.
- Despertar al usuario la creatividad e inventiva al emplear materiales de uso común.

2. DISTRIBUCIÓN DE COSTOS

Para estimar de forma adecuada el costo del proyecto, se agruparon en dos grandes grupos:

a) INGENIERIA

Agrupar todos los costos de ingeniería que involucra el proyecto, investigación, costos de diseño, elaboración de planos, pruebas, etc.

b) FABRICACIÓN

Consigna todos los gastos necesarios para la elaboración de la máquina.

Accesorios no contabilizados del calentador a leña

Este ítem resumirá todos aquellos accesorios que han sido suministrados por el taller en que se elaboró la máquina tales como retazos de perfil en L, plancha varillas, etc. Estos materiales tendrán un costo aproximado de S/30.00.

3. DETALLE

a) INGENIERIA

INGENIERÍA EMPLEADA EN EL DISEÑO DEL CALENTADOR A LEÑA					
	DESCRIPCIÓN	UNID	CANT	UNIT (S/.)	TOTAL (S/.)
1	DISEÑO DESARROLLADO POR INGENIERO JR.	hrs.	480	12.50	6,000.00
2	DIBUJO Y ELABORACIÓN DE PLANOS	hrs.	80	12.50	1,000.00
TOTAL					7,000.00

b) FABRICACIÓN

GASTOS DE PERSONAL TÉCNICO Y TALLER					
	DESCRIPCIÓN	UNID	CANT	UNIT (S/.)	TOTAL (S/.)
1	Pago a técnico operario.	hrs.	10	10.00	100.00
2	Alquiler de taller y equipos	hrs.	10	5.00	50.00
3	Accesorios no contabilizados	Global	1	30.00	30.00
TOTAL					180.00

RELACIÓN DE MATERIALES NECESARIOS PARA FABRICACIÓN DEL CALENTADOR A LEÑA					
	DESCRIPCIÓN	UNID	CANT	UNIT (S/.)	TOTAL (S/.)
1	Balón de gas 10Kg NTP 350 011 (segunda condición)	Unid	1.0	95.00	95.00
2	Extintor de agua de 9Kg (segunda condición)	Unid	1.0	32.40	32.40
3	Soldadura E6010 Ø1/8"	Kg	1.0	30.00	30.00
4	Niple roscado Galvanizado 2 ½" x 5"	Unid	2.0	12.00	24.00
5	Tubo de acero 2 ½" Sch40 chimenea	m	2.5	68.18	170.50
6	Unión normal roscada de 2 ½" Galvanizado	Unid	1.0	10.00	10.00
7	Niple de 1"x4" Galvanizado	Unid	2.0	3.50	7.00
8	Niple de 3/4"x2" Galvanizado	Unid	1.0	1.50	1.50
9	Tapón roscado Galvanizado de 3/4"	Unid	1.0	1.00	1.00
10	Disco de acero de 170mm e = 1/2"	Unid	1.0	12.00	12.00
SUB-TOTAL					382,90

MATERIALES UTILIZADOS PARA LAS PRUEBAS					
	DESCRIPCIÓN	UNID	CANT	UNIT (S/.)	TOTAL (S/.)
1	Bañera personal	UNI	1	239.90	239.90
2	Cañería y desagüe para bañera	UNI	1	37.80	37.80
3	Abrazaderas de 1 ½"	UNI	4	1.50	6.00
4	Manguera de 1 ¼"	m	1	3.00	3.00
5	Codo de 90x1" Galvanizado	UNI	1	2.50	2.50
6	Niple roscado Galvanizado 2 ½" x 5"	Unid	2.0	12.00	24.00
7	Unión normal roscada de 2 ½" Galvanizado	Unid	1.0	10.00	10.00
6	Alambre para amarre	m	5	0.2	1.00
SUB-TOTAL					324,20

COSTO DE FABRICACIÓN DEL CALENTADOR DE AGUA A LEÑA

TOTAL					(S/.)562.90
TOTAL					(\$/.)199.26
TOTAL					(€.)129.08
FECHA					09-06-08

CONCLUSIONES

- Es posible realizar la fabricación del calentador de agua portátil a leña con materiales recolectados íntegramente en el mercado nacional.
- El calentador de agua a leña con las dimensiones y características desarrolladas en la tesis tiene una eficiencia de operación de 33.74% es decir que con menos de 3kg de leña y con 3 horas de funcionamiento es capaz de elevar 19 °C 210 litros de agua en las condiciones en que fue probada.
- El calentador es capaz de brindar salubridad de forma sencilla a los pobladores de bajos recursos que se encuentran afectados por un clima agresivo (bajas temperaturas), permitiendo acceso a tecnologías sencillas que mejoren su higiene y de bienestar social.
- El tiro de la chimenea es contribuyente directo a disminuir la contaminación por humos en el ambiente donde funciona, ya que los gases de combustión escapan por este medio, permitiendo tener el área de trabajo limpia y evitando enfermedades por aspiración de gases contaminantes, además que mejora la combustión de la leña.
- El proceso desarrollado, nos permitió obtener una máquina que cumple con los requerimientos para los cuales fue diseñada, consiguiendo la satisfacción de aquellas personas quienes plantearon sus necesidades, pilar fundamental de este proyecto, además que se consiguió una diferencia entre la eficiencia de diseño óptimo y la eficiencia real del orden de 4%.
- La mayoría de pérdidas energéticas se dan por los gases de combustión, sin embargo el añadirle una válvula mariposa a la chimenea solo se logró contaminar el ambiente, disminuir la combustión completa de la leña y aumentar la dificultad en el control de la combustión del calentador por lo que concluimos que no es una solución apropiada.
- El calentador pesa menos de 50kg. como de esperaba, es económico. compacto y sencillo su diseño.

- Mediante la metodología seguida en la realización del trabajo de tesis se pueden desarrollar diferentes diseños los cuales permitan mejorar la eficiencia y constructividad del prototipo desarrollado.

RECOMENDACIONES

- La recirculación del agua produce en esta un proceso de oxidación por lo que se recomienda baño de zincado o galvanizado que permita disminuir la contaminación del agua.
- Se recomienda realizarle al calentador arenado y un baño de zinc después de su fabricación a fin de disminuir la corrosión y prolongar la vida útil del diseño.
- Se recomienda trabajar con un balón de gas nuevo, ya que disminuye la contaminación del agua, el deterioro del calentador y los accidentes que pueden ocurrir al manipular un material con residuos de gas se podría reemplazar el balón de gas por un tubo de acero de 10".
- Se recomienda utilizar leños con bajo contenido de Humedad < 15% por tener estos un mayor poder calorífico.
- Los leños que se utilicen en el calentador de preferencia deben ser pequeños y delgados para facilitar la combustión e ingreso de aire.
- Por la naturaleza del calentador no existe necesidad de que este se encuentre dentro de las viviendas, pero en épocas de frío podría colocarse dentro de éstas ya que ayudaría a calentar la vivienda por difusión del calor y no contaminaría pues los humos de combustión escapan por la chimenea.

BIBLIOGRAFÍA

1. Avner Sydney., Introducción a la Metalurgia Física 2ª edición en español, (México D.F. 1996 pág. 578 – 598)
2. Barrantes Enrique., Trasferencia de Calor, (Lima 2006, Facultad de Ciencias e Ingeniería de la Pontificia Universidad Católica del Perú)
3. CREAPOR S.A., “Calefacción y Agua Caliente Sanitaria Sistema Tri Energía” [En Línea] <<http://www.creapor.cl/trienergia.pdf>>
4. Comitee of Industrial Ventilation, Insdrutrial Ventilation, (Michigan 1979, pág. 6-40)
5. FAO., “Secado de Granos a Altas Temperaturas” [En Línea] *Cap.4 Calentamiento del Aire* (Santiago – Chile 1991) <<http://www.cd3wd.com>>
6. GTZ., Improved Stoves To Enhance Environmental Health In The Andes. (Lima and Eschborn, 2005)
7. Hadzich Miguel, Termodinámica Problemas Y Aplicaciones En Ingeniería, (Lima 2002 Facultad de Ciencias e Ingeniería, Sección de Ingeniería Mecánica de la Pontificia Universidad Católica del Perú)
8. Hernández Riesco Germán., Manual Del Soldador 16ª Edición. (Cesol 2006, Madrid)
9. Huitte, Manual del ingeniero, tomo II, (Ed. G. Pili Barcelona, pág. 474)
10. Indecopi., NTP 350.011-1 Recipientes Portátiles de 3 kg; 5 kg; 10 kg; 15; Y 45 kg De Capacidad Para Gases Licuados De Petróleo. Parte 1 Requisitos de Fabricación. (1ª Edición 2004 Lima - Perú)
11. Indura Perú., Manual De Soldadura Y Gases. (s/f Lima – Perú)
12. Jiménez Ugarte Fernando Octavio, Diseño De Una Terma A Carbón: Tesis Para Optar El Título De Ingeniero Mecánico, (Lima Pontificia Universidad Católica Del Perú 1986)
13. Karlekar, Transferencia De Calor 2da Edición, (México Interamericana 1985)
14. Kreith/Bohn, Principios De Transferencia de Calor, (México 2001) Cap5 Convección Natural.
15. Los autores, 1999; © Edicions UPC, “Capitulo 4 Cálculo de Cargas Térmicas” [En Línea] <<http://www.edicionsupc.es>>
16. Matsusita Manabe Juan, Estudio Experimental De La Transferencia De Calor En Un Calentador De Agua Con Briquetas De Carbón: Tesis Para Optar El Grado De Bachiller En Ciencia Con Mención En Ingeniería Mecánica, (Lima Pontificia Universidad Católica Del Perú 1990)

17. Mendoza Carlos, Diseño Construcción Y Pruebas De Termococinas A Leña Leña Y bosta Para Sectores Rurales Y Urbano Marginales: Tesis Para Optar El Título De Ingeniero Mecánico, (Lima Pontificia Universidad Católica Del Perú 2007)
18. Morse, F, Centrales Eléctricas 3ra Edición, (Cecsa 1971, Barcelona pag.708)
19. Postigo Jaime/Juan F. Cruz, Termodinámica Aplicada, (Lima Perú, 2da edición) Cap1 Combustión.
20. PUCP., Guía PUCP Para El Citado De Fuentes Documentadas. (Lima PUCP 2007)
21. Terrazas Víctor, Diseño Y Fabricación De Una Máquina Cortadora De Avena Verde: Tesis Para Optar El Título De Ingeniero Mecánico, (Lima Pontificia Universidad Católica Del Perú 2004)
22. Tupia W., Vega L. y Cederrón E., Dibujo Mecánico 1. (Lima: Pontificia Universidad Católica Del Perú, 1999).
23. Tupia W., Vega L. y Cederrón E., Dibujo Mecánico 2. (Lima: Pontificia Universidad Católica Del Perú, 1999).
24. <http://www.altavista.com>
25. <http://www.fao.org/docrep>
26. <http://www.google.com.pe>
27. [http:// www.indecopi.gob.pe](http://www.indecopi.gob.pe)
28. <http://www.infomadera.com>
29. <http://www.inei.gob.pe/>
30. <http:// www.oepm.es>