

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIA



DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y PRUEBAS DE TERMOCOCINAS
A LEÑA Y BOSTA PARA SECTORES RURALES Y URBANO-
MARGINALES.

TESIS PARA OPTAR EL TITULO DE
INGENIERO MECÁNICO

CARLOS JORDAN MENDOZA RUIZ

LIMA-PERÚ

2007

TEMA DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO

TÍTULO DE LA TESIS: DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y PRUEBAS DE TERMOCOCINAS A LEÑA Y BOSTA PARA SECTORES RURALES Y URBANO-MARGINALES.

RESUMEN

El presente trabajo de investigación busca satisfacer la demanda de agua caliente para uso doméstico de las poblaciones de sectores rurales y urbano marginales de nuestro país. El equipo a diseñar permitirá calentar el agua aprovechando exclusivamente la energía calorífica que se pierde en el proceso de cocción de los alimentos en cocinas de leña o bosta, sin tener costos adicionales por dicho beneficio.

El agua caliente que produce el equipo podrá ser utilizada por el poblador en su aseo personal, así mismo en la limpieza de artículos de cocina, prendas de vestir y otros artículos de uso diario.

Para realizar el diseño se analizaron varias propuestas eligiendo a la más eficiente, usando el método generalizado de diseño. Luego se realizaron los cálculos de transferencia de calor para obtener las medidas óptimas del intercambiador de calor y los espesores del aislante del tanque de almacenamiento. Después se construyó un prototipo que fue instalado en las instalaciones del Grupo de Apoyo al Sector Rural de la Pontificia Universidad Católica del Perú, donde se comprobó que el sistema funcione adecuadamente, sobre este prototipo se realizaron diversas pruebas donde se incluyeron algunas mejoras posteriores.

Luego de realizar la investigación y estudio sobre este proceso, el equipo es capaz de calentar aproximadamente 75 litros de agua al día desde los 23°C hasta los 55 °C, aprovechando solamente la energía calorífica perdida en el proceso de cocción en cocinas a leña o bosta tradicionales, se aprovechó el fenómeno de termosifón para la elevación del agua caliente hacia un tanque ubicado en la parte superior de la cocina. El prototipo instalado cumplió con las exigencias planteadas al inicio, siendo un equipo de bajo costo, capaz de ser construido por personas de escasos recursos, de fácil fabricación y los materiales usados se encuentran disponibles en el mercado nacional.

ÍNDICE

| | Pág. |
|---|-------------|
| INTRODUCCIÓN | 1 |
| I. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA | |
| 1. JUSTIFICACIÓN | 2 |
| A) Las cocinas rurales. | |
| a) Los Fogones. | 2 |
| b) La Bicharra. | 3 |
| c) Cocina Mejoradas. | 3 |
| B) Eficiencia de la Cocinas Rurales. | 4 |
| C) Estudio de las necesidades de la población. | 5 |
| 2. TECNOLOGÍA EXISTENTE | 6 |
| 3. APLICACIONES | 6 |
| A) Agua caliente para higiene personal | 6 |
| B) Agua caliente para limpieza doméstica | 7 |
| 4. OBJETIVOS | 7 |
| A) Objetivo general | 7 |
| B) Objetivos específicos del diseño | 7 |
| II. DISEÑO DE LA TERMOCOCINA | |
| 1. LISTA DE EXIGENCIAS | 8 |
| A) Funciones | 8 |
| B) Geometría | 8 |
| C) Energía | 8 |
| D) Material | 9 |
| E) Seguridad | 9 |
| F) Fabricación | 9 |
| G) Montaje | 9 |
| H) Uso | 10 |
| I) Mantenimiento | 10 |
| J) Ergonomía | 10 |
| K) Costos | 10 |
| L) Plazo | 10 |
| 2. ESTRUCTURA DE FUNCIONES | 10 |
| A) Abstracción | 11 |
| B) Secuencia de operaciones | 11 |
| C) Procesos técnicos | 11 |
| D) Aplicaciones de los sistemas técnicos y sus limitaciones | 12 |
| a) Tipos de calentamiento | 12 |
| b) Formas de circulación del fluido | 14 |
| c) Estratificación | 16 |

| | |
|--|----|
| E) Estructura de funciones | 17 |
| 3. MATRIZ MORFOLÓGICA | 20 |
| 4. CONCEPTO OPTIMO | 21 |
| A) Determinación del concepto óptimo y sus mejoras | 22 |
| a) Propuesta N° 1 | 22 |
| b) Propuesta N° 2 | 24 |
| c) Propuesta N° 3 | 26 |
| B) Evaluación Técnico–Económico de propuestas | 28 |
| | |
| III. PRINCIPALES PARTES DE LA TERMOCOCINA | |
| 1. INTERCAMBIADOR DE CALOR | 31 |
| 2. TANQUE DE ALMACENAMIENTO | 31 |
| A) Tipos de tanques de almacenamiento | 31 |
| B) Tipo de alimentación | 32 |
| a) Conexión de la red de servicio publico | 32 |
| b) Tanque de mayor capacidad | 33 |
| C) Aislamiento del tanque de almacenamiento | 34 |
| 3. TUBERIAS DE CONEXIÓN | 34 |
| A) Materiales adecuados | 34 |
| B) Aislamiento de las tuberías | 35 |
| C) Pérdidas en las tuberías | 35 |
| | |
| IV. CALCULOS | |
| 1. ESTUDIO DE LAS NECESIDADES A CUBIR | 37 |
| 2. MECANISMO DE TRANSFERENCIA DE CALOR | 37 |
| A) Mecanismo de transmisión de calor | 38 |
| B) Consideraciones previas al calculo | 38 |
| 3. CALCULO DE LAS DIMENSIONES DEL INTERCAMBIADOR DE CALOR | 39 |
| A) Descripción del problema | 39 |
| B) Método de solución | 40 |
| a) Método de iteración | 41 |
| b) Diagrama de flujo del método de iteración | 42 |
| C) Ecuaciones empleadas | 43 |
| D) Cálculo de las dimensiones del intercambiador de calor | 44 |
| a) Cálculo del calor de entrada Q_n | 44 |
| b) Cálculo del flujo de calor por convención natural (Q_{34}) | 45 |
| c) Calculo del flujo de calor por conducción (Q_{23}) | 48 |
| d) Cálculo del flujo de calor por el mecanismo de radiación (Q_{12}) | 49 |
| e) Datos y valores conocidos | 56 |
| f) Cálculos realizados | 56 |

| | | |
|-----|---|----|
| 4. | CALCULO DEL ESPESOR DEL AISLAMIENTO EN EL TANQUE DE ALMACENAMIENTO | 60 |
| | A) Descripción del problema | 60 |
| | B) Método de solución | 61 |
| | a) Método de iteración | 62 |
| | b) Diagrama de flujo del método de iteración | 63 |
| | C) Ecuaciones empleadas | 64 |
| | D) Datos del problema | 66 |
| | E) Cálculo del espesor del aislante | 66 |
| | a) Cálculo del calor perdido hacia el medio ambiente | 66 |
| | b) Cálculo del flujo de calor por convección natural ($Q_{4\infty}$) | 67 |
| | c) Cálculo del flujo de calor por convección natural (Q_{12}) | 71 |
| | d) Calculo del flujo de calor por conducción (Q_{24}) | 75 |
| V. | INSTRUCCIONES DE FABRICACION | |
| 1. | INTERCAMBIADOR DE CALOR | 78 |
| | A) Procedimiento de fabricación | 78 |
| | a) Trazado y corte | 78 |
| | b) Proceso de soldadura | 80 |
| | c) Etapas de la fabricación por soldadura | 81 |
| 2. | TANQUE DE ALMACENAMIENTO | 82 |
| | A) Procedimiento de fabricación | 82 |
| 3. | AISLAMIENTO DEL SISTEMA | 85 |
| | A) Procedimiento de instalación | 85 |
| 4. | INSTALACION DE LA TERMOCOCINA EN UNA COCINA DE ADOBE | 87 |
| | A) Montaje del intercambiador de calor | 87 |
| | B) Montaje del tanque de almacenamiento y las tuberías | 89 |
| VI. | PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO | |
| 1. | INTRODUCCION | 90 |
| 2. | EQUIPOS EMPLEADOS | 90 |
| 3. | DESCRIPCION DEL LUGAR DE TRABAJO | 91 |
| 4. | INSTALACION DE LOS INSTRUMENTOS DE MEDICION | 92 |
| | A) Montaje de los instrumentos de medición en el tanque de Almacenamiento | 92 |
| | B) Montaje de los instrumentos de medición en las tuberías | 93 |
| 5. | ANALISIS DE LAS VARIABLES | 94 |
| | A) Factores Fijos | 94 |
| | B) Factores Variantes | 95 |

| | |
|--------------------------------|-----|
| 6. DESCRIPCIÓN DE LAS PRUEBAS | 95 |
| A) Prueba N°1 | 95 |
| B) Prueba N°2 | 98 |
| C) Prueba N°3 | 100 |
| D) Prueba N°4 | 102 |
| 7. CONCLUSIONES DE LAS PRUEBAS | 104 |
| | |
| VII. MATERIALES Y COSTOS | |
| 1. CONSIDERACIONES | 106 |
| 2. DISTRIBUCIÓN DE COSTOS | 106 |
| A) Ingeniería | 106 |
| B) Fabricación | 106 |
| | |
| 3. DETALLE | 107 |
| a) Ingeniería | 107 |
| b) Fabricación | 107 |
| | |
| CONCLUSIONES | 110 |
| | |
| RECOMENDACIONES | 111 |
| | |
| BIBLIOGRAFÍA | 112 |
| | |
| ANEXOS | |
| PLANOS DE FABRICACIÓN | |

INTRODUCCION

En el presente trabajo de tesis se desarrolla un estudio del diseño y la fabricación de una Termococina para el sector rural y urbano marginal de nuestro país, la Termococina aprovechara la energía calorífica de la leña que se pierde en el proceso de cocción de los alimentos; de esta manera se producirá agua caliente por medio de un calentador. Se podrá emplear dicha agua tanto en su higiene personal como en el lavado de prendas de vestir, de esta manera se permite un ahorro significativo del material de combustión (leña o bosta) y ofreciendo, a la vez, ventajas operativas muy valoradas por los pobladores.

Para la realización de este trabajo se hizo un estudio previo donde se plantearon varios prototipos eligiendo el más adecuado tanto técnica como económicamente. Un punto importante en la propuesta de los prototipos fue buscar un diseño sencillo para que los pobladores asimilen la tecnología con facilidad y a la vez conseguir su difusión; luego se procedió a realizar los cálculos correspondientes para finalmente realizar la fabricación y pruebas del prototipo.

En los sectores rurales más aún en las zonas alto andinas es donde se producen las temperaturas más bajas de nuestro país, ellos carecen de una tecnología adecuada para producir agua caliente, es allí donde nuestro proyecto cobra gran importancia, por esta razón fue primordial diseñar una máquina accesible económicamente, ya que en dichos sectores es donde se tienen niveles altos de pobreza y extrema pobreza.

Por ello, el objetivo principal del presente trabajo es el de implementar e desarrollar una tecnología mejorada y adecuada que pueda desarrollarse de forma barata, sencilla y eficiente para así mejorar las condiciones de calidad de vida del poblador. De esta manera se pretende satisfacer con la demanda de agua caliente y a la vez aumentar la eficiencia de las cocinas tradicionales de adobe de poblaciones.

I) DESCRIPCION DEL PROBLEMA

1) JUSTIFICACION

A) Las Cocinas Rurales.

En los sectores rurales del Perú podemos encontrar poblaciones que utilizan cocinas a leña para el proceso de cocción de sus alimentos, esto debido a que en el sector rural hay una evidente escasez de uso de combustibles derivados del petróleo ó gas natural, ya que las grandes distancias, costo de transporte, así como la carencia de recursos económicos del poblador rural hace muy difícil la obtención de estos recursos. Bajo este contexto, la leña y la bosta se convierten en la principal fuente de energía en el campo por ser un recurso energético barato, de gran disponibilidad y de fácil obtención. Bajo este concepto en los sectores rurales podemos encontrar 3 tipos de cocinas que mencionaremos a continuación

- a) **Los Fogones** La manera más primitiva antiguamente era de exponer los alimentos directamente al fuego. luego se construyeron las vasijas las cuales apoyan en piedras a esta manera de cocción se le denomina fogón elemental que son constituidas por tres piedras o “Tullpas” estas piedras se sitúan a 15 cm. entre si formando un triangulo equilátero, en cada ángulo se sitúa la piedra de forma cercana a la esfera, las tres piedras sirven de soporte a la olla y en casos de cocinar con mas ollas si acondiciona una piedra por olla

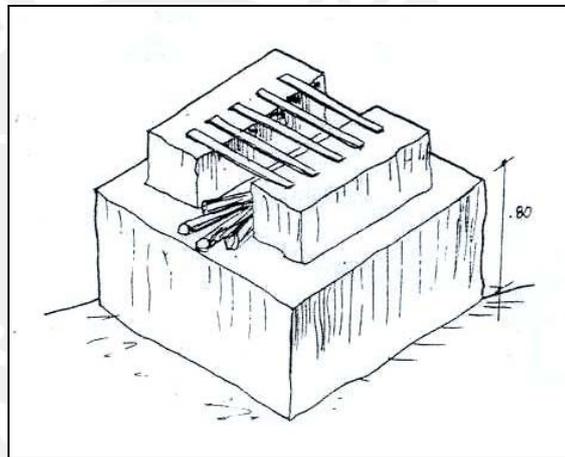


FOGON¹
ILUSTRACIÓN I. 1

¹ Vásquez Muñoz, Experiencia De Fogones Adecuados Y El Ahorro Energético De Leña En El Area Del Proyecto Piloto De Ecosistemas Andinos, Fig. 2, Pag 23

- b) **La Bicharra** Esta cocina consta de dos muros trapezoidales rectangulares de unos 65 cm. de largo, entre estos dos muros y en la parte alta se colocan los travesaños de fierro distanciados uno de otros en 15 cm. en este caso la leña se coloca por la abertura o espacio que queda entre los muros.

Estás cocinas están ubicadas generalmente en el suelo, usando como combustible la leña y el excremento seco de animales (bosta). No cuentan con chimenea para salida de humos, concentrándose en el ambiente de la cocina y provocando una elevada incidencia de infecciones respiratorias agudas, infecciones oculares (conjuntivitis), incremento de afecciones de la columna vertebral y pulmonar, como también produciendo una baja calidad del producto a cocinar.



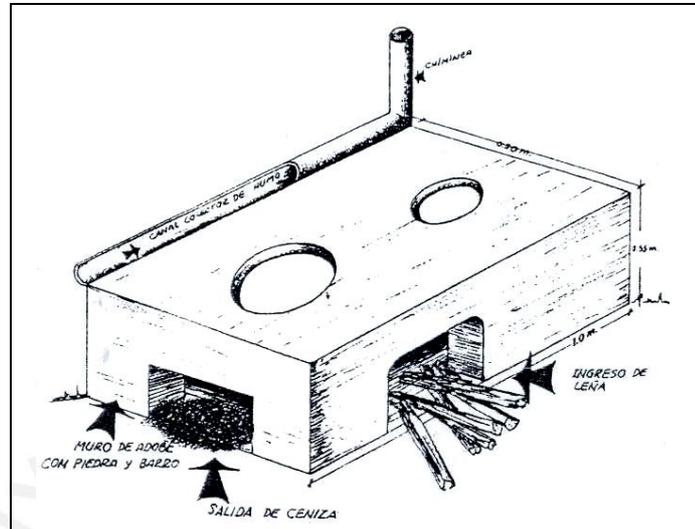
BICHARRA²
ILUSTRACIÓN I. 2

- c) **Cocinas Mejoradas** Con la finalidad de elevar la eficiencia de las cocinas a leña o bosta se diseñó una nueva cocina mejorada realizando una mejora notable a las tullpas y bicharras.

Para la construcción de esta cocina mejorada se identifica un lugar plano en la vivienda del poblador, se construye una plataforma de barro luego las paredes con adobes y piedras cubriéndolas con barro, para la fabricación de las hornillas se utilizan piedras largas y planas, después de construido se coloca alrededor de las hornillas una lata con un agujero circular de acuerdo al tamaño de las ollas a usar, una vez terminado el fogón de la cocina mejorada, se coloca una chimenea evitando así la concentración de humo en el ambiente. Las

² Vásquez Muñoz, Experiencia De Fogones Adecuados Y El Ahorro Energético De Leña En El Area Del Proyecto Piloto De Ecosistemas Andinos Fig6, Pag 25

dimensiones, número de hornillas y modelo de la cocina varían de acuerdo al número de pobladores como tamaño de la vivienda



COCINA MEJORADA³
ILUSTRACIÓN I. 3

B) Eficiencia de la Cocinas Rurales

Las cocinas en el sector rural se han ido mejorando lentamente a través del tiempo, pero aún siguen manteniendo el mismo procedimiento de hace muchos años; como ya hemos visto estas cocinas son rudimentarias e ineficientes.

Parte de la energía calorífica de la leña se pierde en los gases de combustión (humo), otra parte se va al medio ambiente o la absorbe las paredes de la cocina. Pero cabe señalar que en la actualidad existe la aplicación, aún no generalizada sobre la utilización de las llamadas “Cocinas mejoradas a leña”, éstas se construyen también de adobe como las vistas anteriormente tienen una mayor eficiencia, pero al igual que las anteriores se sigue perdiendo energía calorífica que puede ser utilizada en otros sistemas que pueden ser beneficiosos para el poblador de la zona. Por ello este trabajo de tesis desea dar un mejor uso de la energía calorífica perdida de estas cocinas, al incorporar un nuevo sistema que permitirá aprovechar esta energía no aprovechada en la cocción de los alimentos.

³ Vásquez Muñoz, Experiencia De Fogones Adecuados Y El Ahorro Energético De Leña En El Area Del Proyecto Piloto De Ecosistemas Andinos Fig1. Pág. Anexo 3

C) Estudio de la necesidad de la población

Como mencionamos en el título del presente trabajo trata de enunciar los lineamientos a seguir para el diseño de una Termococina de uso rural por ello se trata de recurrir a datos representativos de la realidad de las regiones donde se irán a utilizar.

Según los datos del INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA E INFORMATICA (INEI)⁴ en el año 2005 el 33.46% de la población vive en la Región Sierra en donde se produce las temperaturas mas bajas del país, siendo allí específicamente donde el proyecto obtendrá alta importancia, también observamos para este mismo año que el 27.52% de la población viven en el área Rural donde los pobladores principalmente cocen sus alimentos en cocinas de leña o bosta, y así podrán usar este proyecto para su beneficio

Todo lo anterior nos indica que tenemos una gran población que se puede beneficiar con esta tecnología.

POBLACION NOMINALMENTE CENSADA DE 1972 A 1993 Y ESTIMADA 2004 - 2005 SEGUN REGION NATURAL, AREA URBANA - RURAL

(Miles)

| 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 ESTADÍSTICA 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.

⁴ INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA E INFORMATICA (INEI)- Boletín "Estimaciones y Proyecciones de Población Total, Urbana y Rural por Años Calendario y Edades Simples, 1970-2025. Julio 2002".

2) TECNOLOGÍA EXISTENTE

La técnica mayormente usada, para el calentamiento del agua en los sectores rurales se limita calentarla en ollas en mediante cocinas a leña o bosta, haciendo esta labor poco atractiva y eficiente.

Utilizar la energía calorífica perdida en la cocción de los alimentos en cocinas a leña, para generar agua caliente es novedosa; pero una alternativa similar para dicho fin puede ser tomada del principio de funcionamiento de las termas solares, estas termas emplean la energía solar para el calentamiento del agua usando el principio de termosifón.



**TERMA SOLAR
ILUSTRACIÓN I. 4**

3) APLICACIONES

A) Agua caliente para higiene personal

El agua cumple con una función muy importante dentro de la vida cotidiana de las personas siendo su uso y consumo vital para su subsistencia. En los sectores rurales de climas fríos existe gran demanda de agua caliente debido a las bajas temperaturas de sus localidades, es por ello que la presente tesis plantea utilizar el agua caliente que produce la Termococina en la higiene personal de los pobladores, y así podrán ducharse, lavarse las manos. Esto brindara gran comodidad y confort al poblador rural, más aun a los niños y ancianos que están propensos a tener enfermedades bronquiales

B) Agua caliente para limpieza doméstica

El agua caliente generada por la Termococina puede utilizarse también para la limpieza de artículos domésticos de uso diario (vajillas, cubiertos, ollas, etc.) o también en el lavado de prendas de vestir. Generalmente esta labor se realiza con agua fría en haciendo esta labor tediosa y sacrificada.

4) OBJETIVOS

A) Objetivos generales

- Satisfacer la demanda energética de agua caliente en las poblaciones rurales y urbano-marginales, aprovechando la energía calorífica que se pierde una cocina a leña o bosta.

B) Objetivos específicos del diseño

- Diseñar un equipo que logre calentar agua aprovechando la energía calorífica perdida en una cocina a leña; que sea de fácil fabricación, y que tenga un diseño práctico, económico y accesible al mayor porcentaje de la población rural.
- Con este diseño se desea mejorar la calidad de vida del poblador rural al facilitarle agua caliente económica para que el poblador pueda utilizar en su higiene personal, lavado de prendas de vestir, lavado de vajilla, etc.
- No requerir de ninguna fuente externa de energía además de la que pueda ser proporcionada por la energía que se pierde en una cocina a leña o bosta.
- Acercar la universidad a los sectores demandantes de tecnología para la satisfacción energética, mediante la interacción de investigadores y pobladores rurales que permitan una comunicación adecuada buscando el desarrollo de tecnologías apropiadas.
- Tener bajo costo de fabricación para encontrarse al alcance de personas de escasos recursos.
- Aumentar la eficiencia de la cocinas rurales a leña o bosta reduciendo sus pérdidas y de esta manera ahorrar combustible (Leña) favoreciendo al medio ambiente.

II) DISEÑO DE LA TERMOCOCINA

1) LISTA DE EXIGENCIAS

| LISTA DE EXIGENCIAS | | EDICIÓN | Pág.1 de 2 |
|--|--|---|---|
| PROYECTO: DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y PRUEBAS DE TERMOCOCINAS A LEÑA Y BOSTA PARA SECTORES RURALES Y URBANO-MARGINALES | | CLIENTE: GRUPO | Nº de Identificación |
| | | | Redactada por: CARLOS MENDOZA RUIZ |
| | | Fecha: <p style="text-align: right;">22/03/2006</p> | |
| D ó E | Exigencias | | |
| | A) Funciones | | |
| E | La Termococina permitirá calentar agua utilizando la energía térmica residual y disipada de las cocinas a leña o bosta cuando cocinen sus alimentos. | | |
| E | El agua caliente debe ser depositada en un tanque de almacenamiento, que se encontrara en la parte superior de la cocina. | | |
| D | La Termococina será capaz de calentar al fluido sólo cuando la cocina esta encendida. | | |
| D | La Termococina deberá calentar hasta 60 °C litros agua. | | |
| D | El fluido caliente subirá al bidón por el efecto de termosifón. | | |
| E | El agua caliente que podrá ser utilizado para, lavado e higiene personal. | | |
| | B) Geometría | | |
| D | El intercambiador debe ingresar en dentro de la cámara de cocción de una cocina mejorada. | | |
| E | El tanque de almacenamiento será cilíndrico y se posicionará de forma vertical | | |
| D | El tamaño de la cámara de combustión dependerá del combustible que el poblador utilizara. | | |
| | C) Energía | | |
| E | No se podrá usar utilizar energía eléctrica ya que serán instaladas en sectores rurales y alejados. | | |
| E | La energía que utilizaremos para el calentamiento del agua será exclusivamente entregada por la cocina a leña o bosta. | | |
| D | Obtener las mínimas pérdidas de fricción por las tuberías. | | |

| | |
|---|---|
| D | El agua caliente subirá al bidón por el fenómeno de termosifón. |
| | D) Material |
| E | Los materiales a utilizar serán resistentes a la corrosión y al calor que produce la Termococina. |
| E | El intercambiador de calor debe resistir las temperaturas que se llegué en la cámara de combustión. |
| E | Los materiales a utilizar deben encontrarse disponibles en el mercado nacional. |
| D | Su utilizaran tuberías de agua caliente CPVC para todas las conexiones. |
| D | Para aislar las tuberías, el tanque de almacenamiento se utilizara materiales que estén en su localidad. |
| D | Se construirá con materiales que no cuesten mucho al poblador que pueden encontrarse con facilidad por el poblador. |
| | E) Seguridad |
| E | La Termococina tendrá un diseño adecuado para prevenir las quemaduras de los usuarios, se deben reducir del alcance de las personas a las superficies que lleguen a altas temperaturas (metales, tuberías). |
| E | El intercambiador no debe tener elementos cortantes para facilitar su manipulación. |
| E | El tanque de almacenamiento en la parte superior tendrá un respiradero para que no se generen altas presiones por la evaporación del agua |
| E | Se debe tener una chimenea para la salida de los gases de combustión ya que pueden tener sustancias toxicas como monóxido de carbono, etc. previniendo así la intoxicación a causa de los humos. |
| D | Se deben usar válvulas de nivel de agua para garantizar el abastecimiento de agua en el tanque de almacenamiento. |
| | F) Fabricación |
| E | Las piezas que forman parte de la Termococina, serán de forma sencilla y de fácil manufactura. |
| D | Todos los materiales (Tubos, Accesorios, Tuercas, Arandelas, etc.) deben ser normalizados. |
| D | El Intercambiador de calor debe ser de fácil anclaje dentro de la cámara de combustión. |
| D | Los componentes de la máquina deben permitir un embalaje en un espacio reducido. |
| E | La fabricación podrá ser realizada en un Taller Mecánico |
| | G) Montaje |
| D | Realizar un manual donde se indique como los pasos para realizar el montaje. |
| E | Utilización de herramientas básicas para realizar el montaje. |

| | |
|---|---|
| D | El montaje lo realicen los mismos pobladores, sin necesidad de tener conocimientos técnicos. |
| | H) Uso |
| E | Las Termococinas serán usadas en sectores rurales. |
| E | La Termococina deberá ser usada por cualquier persona, sin necesidad de tener conocimientos técnicos. |
| | I) Mantenimiento |
| D | Frecuencia de mantenimiento baja |
| D | Repuestos fáciles de obtener y baratos. Puede tenerse partes de recambio |
| D | No tener efecto contaminante sobre el medio ambiente. |
| | J) Ergonomía |
| D | El entrenamiento para el uso adecuado del la Termococina debe ser el mínimo |
| D | La Termococina debe tener una altura adecuada para no incomodar ni fatigar al usuario. |
| E | El acceso a los distintos elementos de la maquina deben ser cómodos para realizar operaciones de mantenimiento, montaje, desmontaje |
| | K) Costos |
| E | Costos bajos de tal manera que sean rentables para el fabricante y sean accesibles para su fabricación. |
| | L) Plazo |
| D | El proyecto se irá desarrollando de acuerdo a los plazos indicados, teniendo como plazo máximo fijado en Agosto del 2006 |

2) ESTRUCTURA DE FUNCIONES

En esta parte se realizara un proceso de abstracción de varias alternativas que tendrá como propósito abarcar la mayor cantidad de posibles soluciones. Con estas posibles soluciones se procederá a agruparlas hasta conseguir así un concepto óptimo, para esto se tiene que tener en cuenta el estado de la tecnología existente, nuevos materiales, nuevos procesos de fabricación, etc.

A) Abstracción

Aquí se tendrá que realizar una abstracción en donde imaginaremos que dentro de la caja negra se realizaran diversos procesos técnicos, donde se transformarían las entradas en el interior de la caja negra, para así obtener los resultados que vendrá a ser las salidas tal como mostramos a continuación.



Entradas

Materia: Agua fría .

Energía: Para el calentamiento del agua.

Señales: Empieza a circular el fluido en el intercambiador de calor

Salidas

Materia: Agua caliente.

Energía: Pérdidas en las tuberías, pérdidas en el tanque de almacenamiento, subir el agua caliente.

Señales: El agua empieza a calentarse

B) Secuencia de operación

La secuencia de operación es:

- Encendido de la Termococina
- Inicia la circulación del fluido por el intercambiador de calor
- Empieza a subir la temperatura del agua en el tanque

C) Procesos técnicos

- Preparación:
- Inspección del nivel de agua en el tanque de almacenamiento.
 - Limpieza de la cámara de combustión.
 - Inspección de las válvulas de seguridad

- Ejecución:
- Encendido de la cocina a leña
 - Entrega de la energía calorífica al intercambiador de calor
 - Ingreso del fluido fría hacia el intercambiador de calor
 - Salida del fluido caliente del intercambiador de calor
 - La temperatura del agua empieza a subir
- Fase Final:
- Se apaga la Termococina
 - Culmina la entrega de energía
 - Termina el ciclo.
- Control:
- Verificación de la temperatura que llega al tanque de almacenamiento

D) Aplicación de los sistemas técnicos y sus limitaciones

Para transformar las entradas de la caja negra se requiere escoger el principio tecnológico capaz de llevar a la práctica la transformación deseada, dicho principio tiene una secuencia de operaciones la que en conjunto determina el proceso seguido para la transformación.

a) Tipos de calentamiento

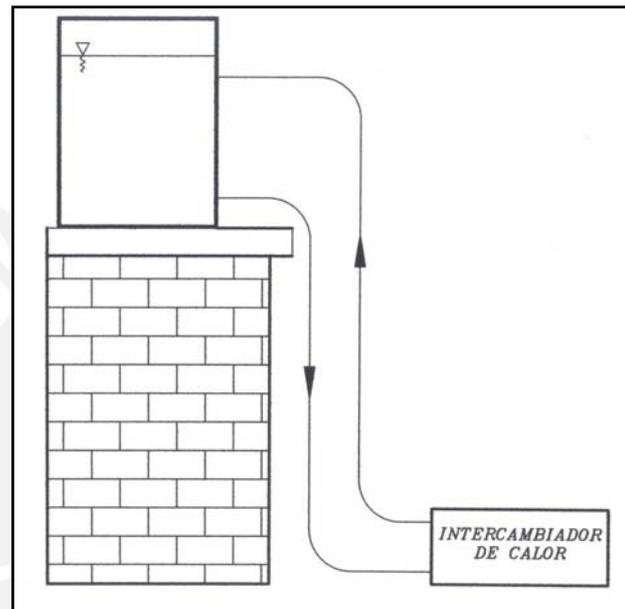
(i) Calentamiento directo:

En el sistema de calentamiento directo el agua pasa directamente por el intercambiador que se encuentra en la cámara de cocción, entonces el agua se calentará por la energía calorífica que nos provee la leña. El agua caliente que sale del intercambiador de calor asciende hacia el tanque de almacenamiento, al mismo tiempo al intercambiador ingresa agua del tanque de almacenamiento a menor temperatura completando así el ciclo. El agua caliente obtenida puede circular de dos formas diferentes a través del sistema de termosifón (circulación natural) o mediante una bomba de circulación.

El sistema de calentamiento directo es la solución más simple lo que implica un costo menor que en el caso del calentamiento indirecto aunque presenta algunos inconvenientes:

-Es necesario que en todo el circuito de circulación del agua (tuberías, intercambiador de calor, tanque de almacenamiento) los materiales no contaminen el agua.

-En casos de regiones muy frías cabe el riesgo de producirse congelación del agua, y no se podrá evitar mediante la adición de anticongelantes, lo que en el sistema indirecto sí es permitido.



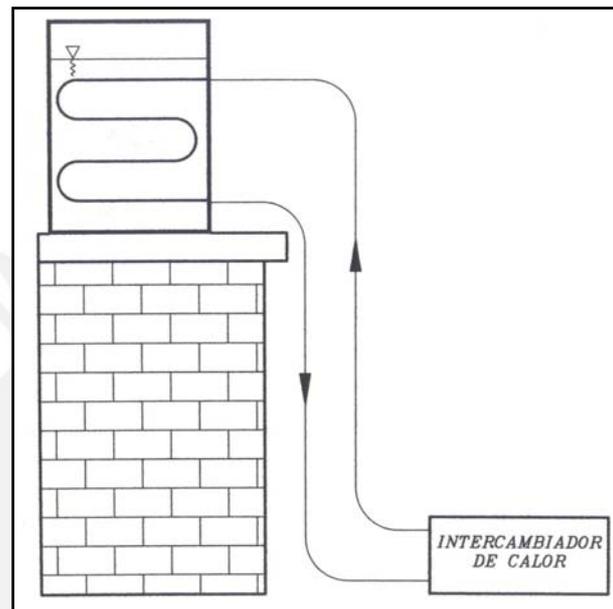
CALENTAMIENTO DIRECTO
ILUSTRACIÓN II. 1

(ii) Calentamiento Indirecto

En el sistema por calentamiento indirecto, el agua del tanque se calienta por intermedio de un intercambiador de calor que se encuentra dentro del tanque de almacenamiento allí fluye un fluido a alta temperatura, este fluido caloportador nunca entra en contacto con el agua del tanque, el fluido caloportador es calentado por el intercambiador de calor que se encuentra en la cámara de combustión luego este fluido caliente se va enfriando poco a poco ya que entrega energía calorífica al agua del tanque de almacenamiento, después este fluido a menor temperatura desciende hacia el intercambiador de calor calentándose nuevamente completando el ciclo al igual que en el calentamiento directo el fluido puede circular de dos formas diferentes a través del sistema de termosifón (circulación natural) o mediante una bomba de circulación. Es

importante mencionar que el fluido a utilizar debe tener mayor capacidad térmica que el del agua obteniéndose un sistema más eficiente.

El sistema de calentamiento indirecto es la solución más compleja lo que implica un aumento en el costo que en el caso del calentamiento directo, siendo éste su mayor inconveniente.



CALENTAMIENTO INDIRECTO
ILUSTRACIÓN II. 2

b) Formas de Circulación del fluido

(i) Efecto Termosifón

El efecto de termosifón basa su funcionamiento en la diferencia de densidad del agua fría y el agua caliente, debido a que el agua caliente tiene menor densidad se mantiene en la parte superior y el agua fría se mantiene en la parte inferior.

El movimiento de circulación natural del agua se produce por la diferencia de temperaturas entre el agua fría del tanque de almacenamiento y el agua caliente que produce el intercambiador de calor, entonces el agua del interior del intercambiador de calor se calienta por la energía calorífica de la leña o bosta así disminuye su densidad, y por tanto su peso por lo que el mayor peso del agua fría del tanque de almacenamiento empuja al agua caliente del intercambiador de calor, mediante un conducto que une la parte inferior del

tanque con la parte inferior del intercambiador de calor. Esto obliga al agua a ascender por el conducto que une la parte superior del intercambiador de calor con la parte superior del tanque de almacenamiento. El agua caliente que sube es reemplazada por el agua de menor temperatura a la que subió anteriormente produciéndose así una circulación natural.

Debido a las pérdidas de calor que se producen en las paredes del tanque, cerca a las paredes también se produce una circulación debido a las diferencias de temperatura entre el agua del interior del tanque y el medio ambiente.

Los sistemas que emplean el efecto de termosifón son especialmente simples, eficientes y seguros si están bien diseñados, sin embargo son poco fiables si el circuito no es sencillo, bajando considerablemente su eficiencia. Es necesario para este sistema que el tanque de almacenamiento debe estar obligatoriamente encima del intercambiador de calor

(ii) Circulación forzada

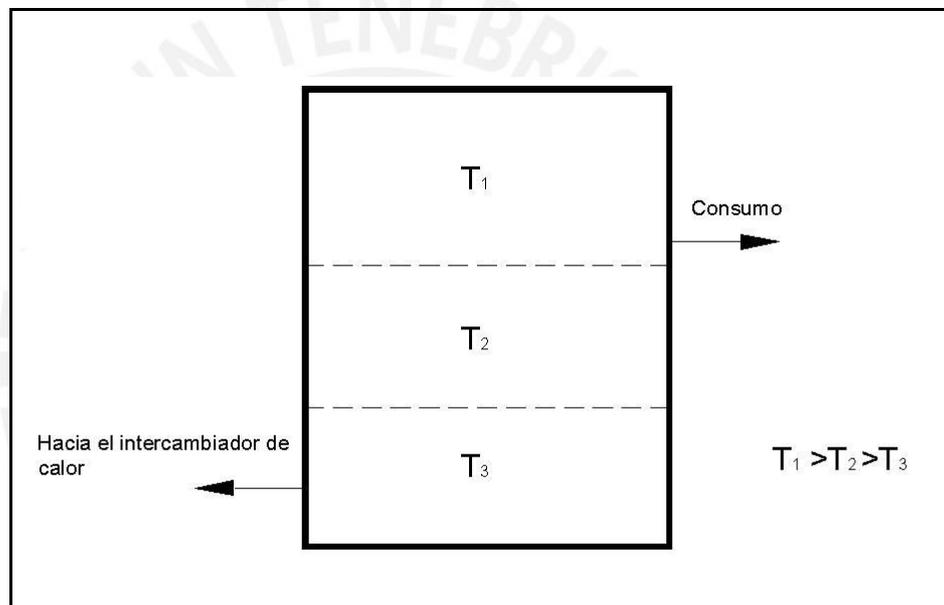
Para este sistema es necesario el uso de un electrocirculador que mecánicamente generara diferencias de presiones en los conducto y así generando la circulación del fluido.

Este sistema nos garantiza una mayor eficiencia que el del sistema de termosifón pero su principal problema es la necesidad de disponer energía eléctrica, la cual no siempre existe, sobretodo en los pueblos alejados de la sierra; también implica un costo adicional al sistema además que en nuestro país el uso de los electrocirculadores no está del todo difundido siendo difícil su adquisición.

Finalmente el salto térmico que se produce en el intercambiador de calor entre la entrada de agua fría y la salida de agua caliente de sistemas con termosifón es mayor que en la de circulación forzada, casi el doble. Asimismo, la diferencia entre la temperatura de la parte superior y inferior del tanque de almacenamiento también es superior. El caudal circulante es menor, casi la mitad del recomendado para los sistemas de circulación forzada.

c) Estratificación

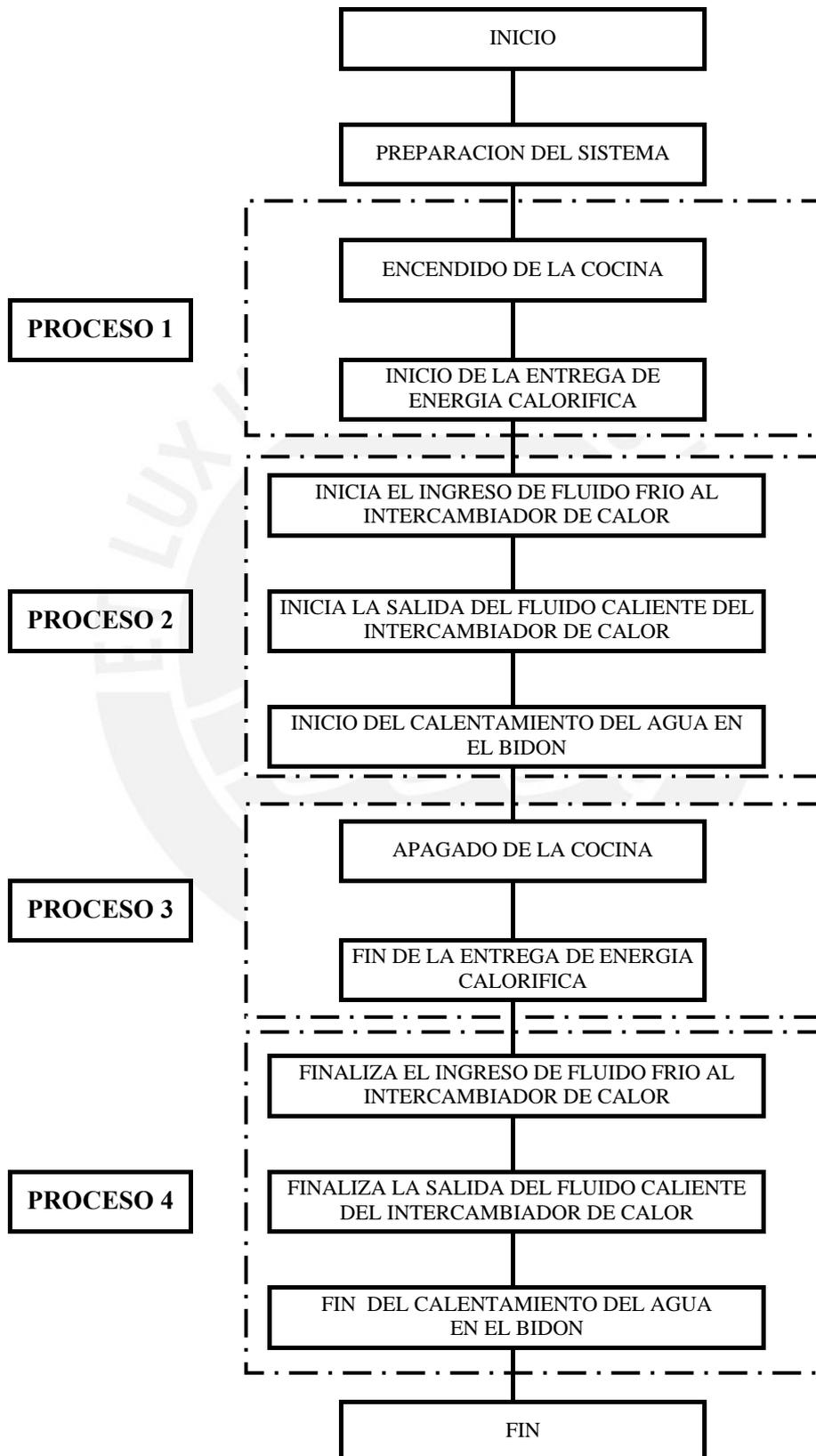
El fenómeno de estratificación se da por la diferencia de temperatura, al aumentar ésta disminuye su densidad, así el agua de mayor temperatura se coloca en la parte superior del tanque, el agua a menor temperatura se colocará en la parte inferior del tanque hasta que la temperatura del agua sea uniforme en todo el tanque. Por ello es que en la parte superior del tanque es donde se extraerá el agua para el consumo, ya que estará a mayor temperatura que la de parte inferior.



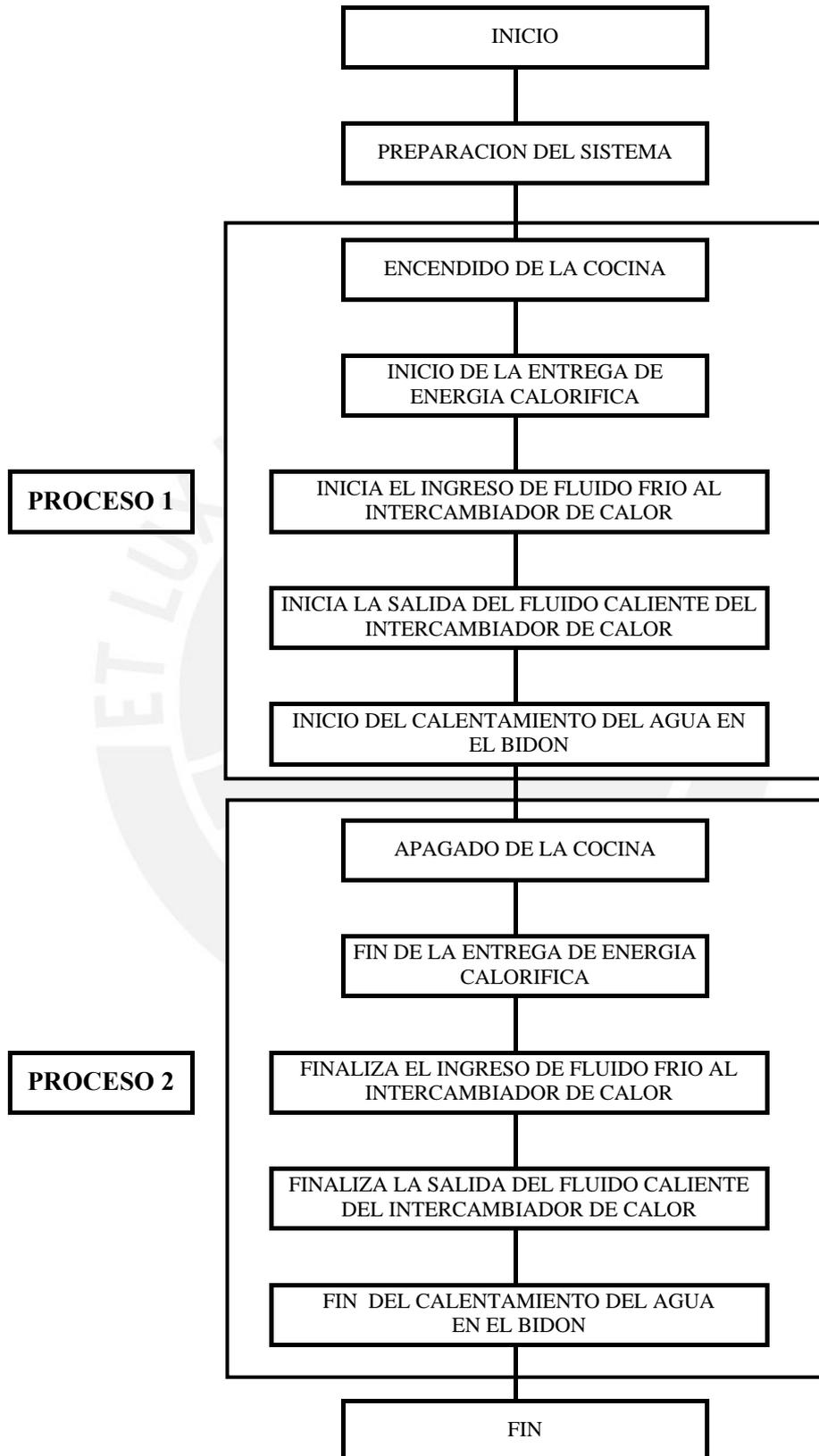
ESTRATIFICACION
ILUSTRACIÓN II. 3

E) Estructura de funciones

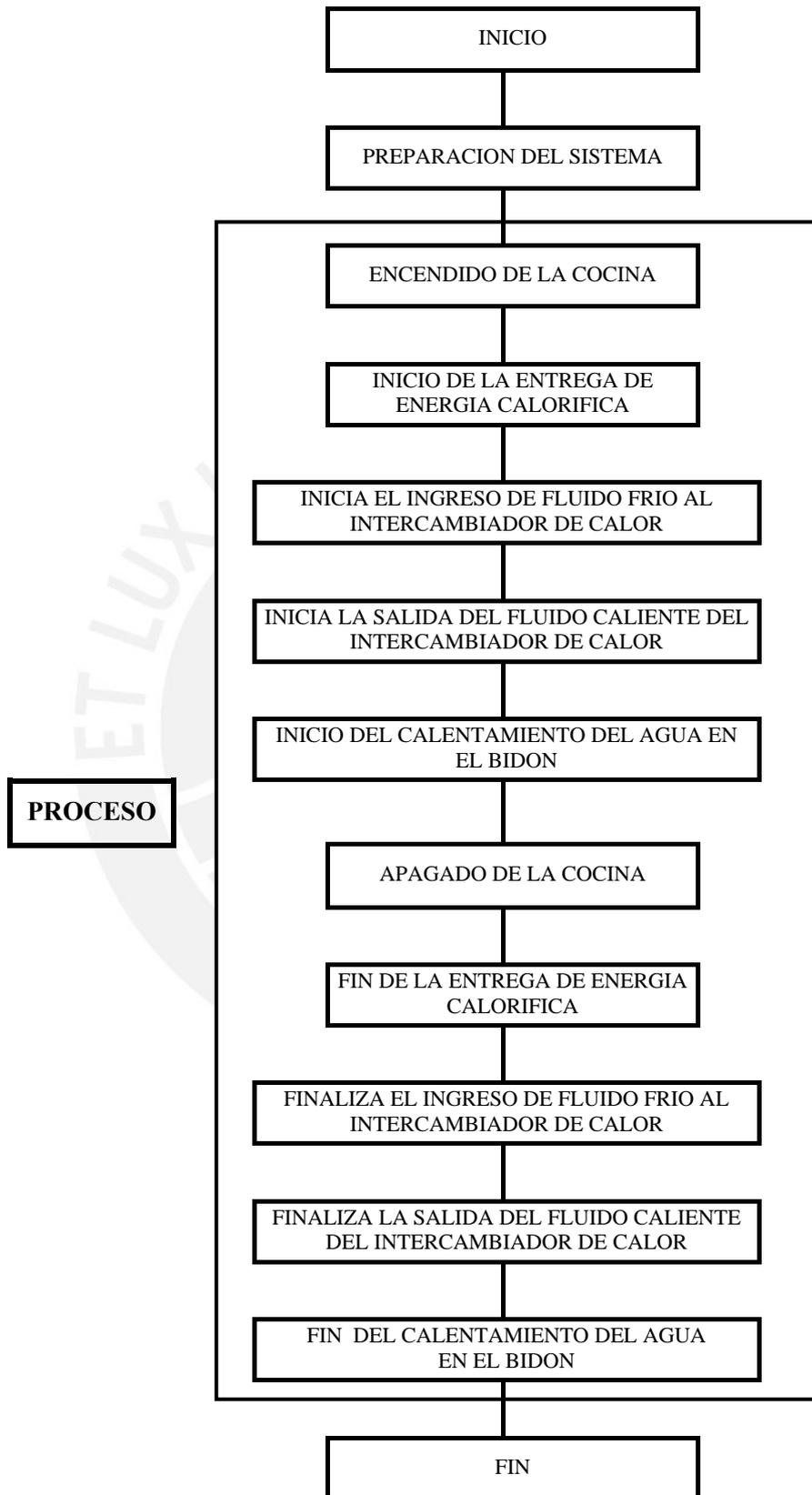
ESTRUCTURA N°1



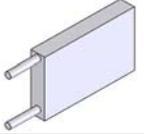
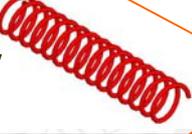
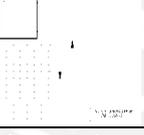
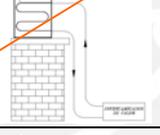
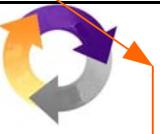
ESTRUCTURA N°2

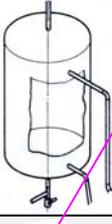
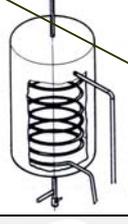


ESTRUCTURA N°3



3) MATRIZ MORFOLÓGICA

| FUNCIÓN | | PORTADOR DE FUNCIÓN | | | |
|----------|--|---|--|---|---|
| 1 | SISTEMA DE ALIMENTACIÓN | | | | |
| 1.1 | Transporte del agua hacia el Tanque |  |  |  |  |
| | | Gravedad | Bomba | De la Red | Manual |
| 1.2 | Medio de transporte |  |  |  | |
| | | Tubos | Mangueras | Recipientes | |
| 2 | SISTEMA DE CALENTAMIENTO DEL FLUIDO | | | | |
| 2.1 | Energía |  |  | | |
| | | Leña o Bosta | Gases de escape | | |
| 2.2 | Forma del intercambiador de calor |  |  |  | |
| | | Paralelepípedo | Espiral | Tubos | |
| 2.3 | Tipo de Calentamiento |  |  | | |
| | | Calentamiento directo | Calentamiento indirecto | | |
| 2.4 | Fluido a circular dentro del intercambiador de calor |  |  | | |
| | | Agua | Aceite | | |
| 2.5 | Ubicación del intercambiador de Calor |  |  | | |
| | | Cámara de combustión | Chimenea | | |
| 3 | SISTEMA DE BOMBEO | | | | |
| 3.1 | Mecanismo de circulación del fluido |  |  | | |
| | | Electrocirculadora | Termosifón | | |

| | | | | | |
|---|--|---|---|---|--|
| 3.2 | Accionador del sistema |  |  |  | |
| | | Manual | Controlador Diferencial | No Necesita | |
| 3.3 | Medio de Transporte |  |  | | |
| | | Tubos | Mangeras | | |
| 4 SISTEMA DE ALMACENAMIENTO | | | | | |
| 4.1 | Tanque de Almacenamiento |  |  | | |
| | | Presurizado | No Presurizado | | |
| 4.2 | Tipo de Aislamiento |  |  | | |
| | | Aislado | Sin Aislamiento | | |
| 5 SISTEMA DE CALENTAMIENTO DEL AGUA EN EL DEPOSITO | | | | | |
| 5.1 | Forma del Intercambiador dentro del tanque de almacenamiento |  |  | | |
| | | No Necesita | Espiral | | |

■ OPCIÓN 1

■ OPCIÓN 3

■ OPCIÓN 2

4) CONCEPTO OPTIMO

En esta parte se trata de bosquejar las posibles soluciones que luego evaluaremos, con estos bosquejos se logrará visualizar con mayor énfasis el concepto y de esta manera se podrá decidir cuál será nuestro concepto óptimo

A) Determinación del concepto óptimo y sus mejoras

Luego tener las 3 propuestas que obtuvimos en la matriz morfológica pasaremos a evaluarlas minuciosamente cada una de éstas; se realizarán bosquejos de ellas.

a) Propuesta N°1

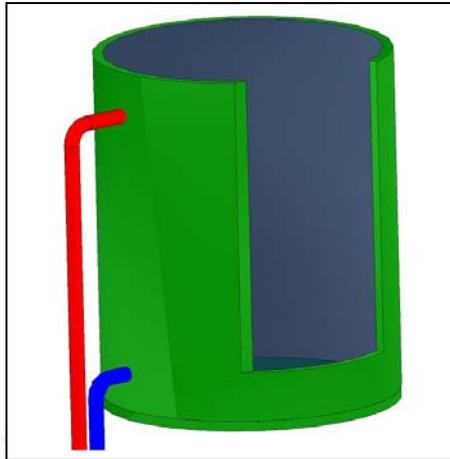
- El fluido a calentar en el intercambiador de calor será agua, por ello se utilizará el calentamiento directo en este prototipo
- El intercambiador de calor tendrá la forma de un paralelepípedo y estará ubicado en la cámara de combustión.
- La forma del intercambiador de calor nos permite aprovechar al máximo el área de contacto
- Las dimensiones aproximadas del intercambiador de calor debe ser de acuerdo al tamaño de la cámara de combustión.
- La Fabricación del intercambiador de calor es sencilla también como el montaje y el anclaje de esta a la cocina
- Los conductos donde circulará el agua serán tubos de CPVC
- Económica y de forma constructiva sencilla.

Este prototipo funcionará de la siguiente manera:

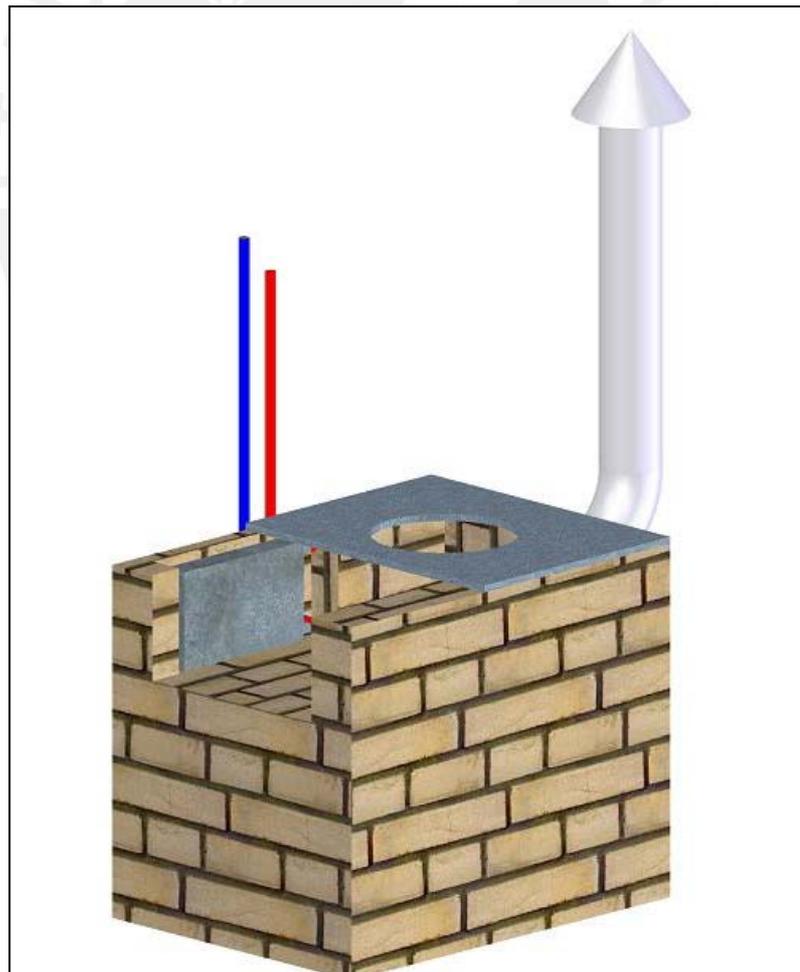
Al encenderse la leña o bosta de la cocina se generará un flujo de calor que atravesará la pared del intercambiador de calor transmitiendo parte de ésta al agua contenida de ella, cuando el agua dentro del intercambiador de calor empieza su calentamiento, ésta sube debido a la menor densidad, y es remplazada por el agua de menor temperatura proveniente del tanque que se encontrará en la parte superior de éste; de esta forma se producirá la circulación natural debido al efecto del termosifón.

Luego el agua caliente saliente del intercambiador de calor, sube por medio de los conductos (tuberías, mangueras) hacia el tanque y empieza el calentamiento del agua, en ese momento el agua fría que se encuentra en la parte inferior del tanque empieza a descender e ingresa al intercambiador de calor produciéndose la circulación natural. El agua caliente que ingresó al tanque se mantendrá en la parte superior mientras la de menor temperatura en la parte inferior. Entonces el agua del

tanque empezará a calentarse desde la parte superior hacia la parte inferior, hasta que las temperaturas se igualen entonces el movimiento cesa.



TANQUE DE ALMACENAMIENTO
PROPUESTA N°1
ILUSTRACIÓN II. 4



INTERCAMBIADOR DE CALOR (PARALELEPIPEDO) EN LA COCINA
PROPUESTA N°1
ILUSTRACIÓN II. 5

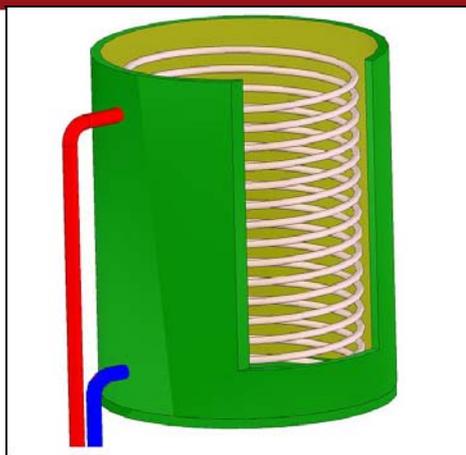
b) Propuesta N°2

- El fluido a calentar en el intercambiador de calor será aceite por tener una elevada capacidad térmica, por eso utilizará un calentamiento indirecto en este prototipo
- El intercambiador de calor tendrá la forma de espiral y estará ubicado a lo largo de la chimenea
- El calentamiento indirecto del agua en el tanque de almacenamiento será por medio de un intercambiador de calor en forma de espiral que irá por la parte lateral del tanque circular.
- La fabricación del intercambiador de calor es compleja también como el montaje y el anclaje en la chimenea
- Tendrá que diseñarse un sistema que se aproveche al máximo la energía que produce los gases de escape de la cocina
- Los conductos donde circulará el aceite serán tubos de cobre
- Se necesitará de aislamiento en todo el recorrido del tubo de cobre desde la chimenea hacia el tanque.

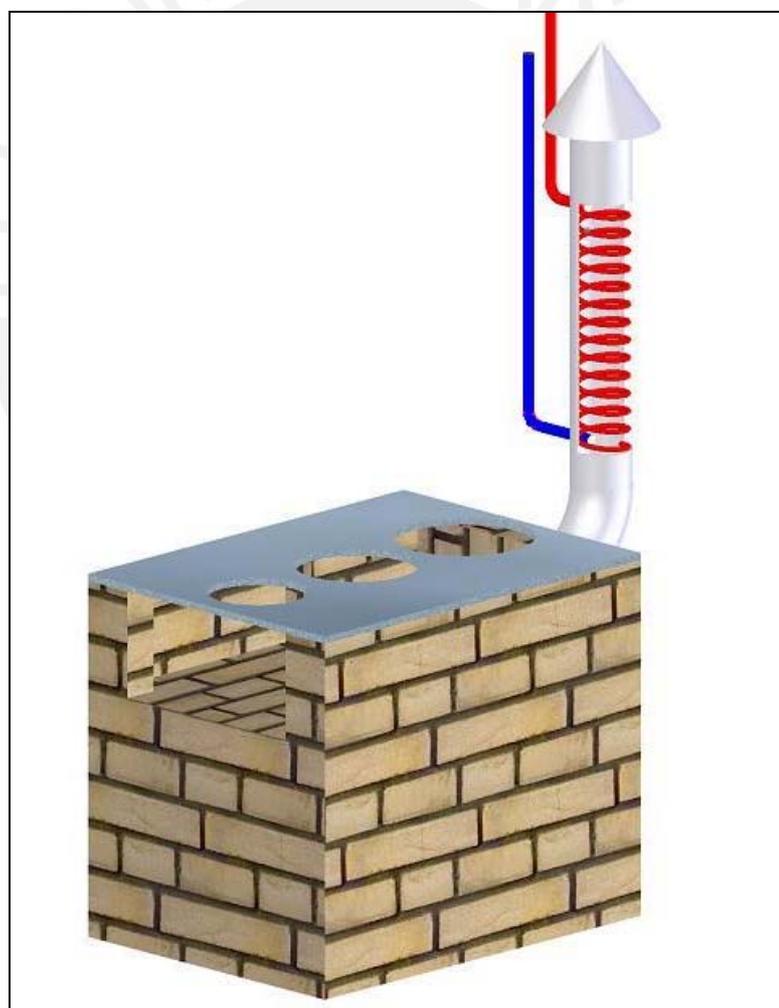
Este prototipo funcionará de la siguiente manera:

Al encenderse la leña o bosta de la cocina empieza a salir los gases de escape por la chimenea, estos gases generan un flujo de calor que atravesará la pared del espiral transmitiendo parte de ésta al aceite que está dentro de ella, es por ello que el aceite empieza a calentarse y a subir debido a la menor densidad,.

Luego el aceite caliente que salió del espiral en la chimenea, sube por medio del tubo de cobre, hacia un espiral que rodea la parte lateral del tanque, debido a que el aceite se encuentra a una mayor temperatura que la del agua del tanque se genera un flujo de calor de las paredes espiral hacia el agua, calentando así el agua que se encuentra en el tanque, al mismo tiempo el aceite se irá enfriando debido a la pérdida de energía calorífica entregada al agua, así hasta que el aceite llegue a la parte inferior del espiral y vuelva a ingresar al espiral de la chimenea para nuevamente calentarse y así se producirá la circulación natural debido al efecto del termosifón.



TANQUE DE ALMACENAMIENTO
PROPUESTA N°2
ILUSTRACIÓN II. 6



INTERCAMBIADOR DE CALOR (ESPIRAL) EN LA COCINA
PROPUESTA N°2
ILUSTRACIÓN II. 7

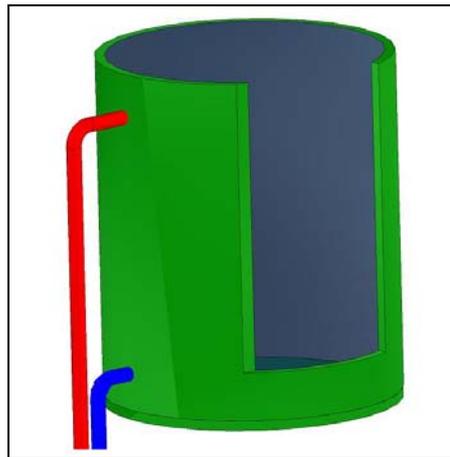
c) Propuesta N°3

- El fluido a calentar en el intercambiador de calor será agua, por ello se utilizará el calentamiento directo en este prototipo
- El intercambiador de calor será formado por tubos de 1" de diámetro y 650mm de largo de que serán unidos por acoples en forma de U tendrá 4 hileras y estará ubicado en la cámara de combustión
- La forma constructiva del intercambiador de calor no nos permite aprovechar al máximo el área posible.
- Al existir cambios bruscos de dirección en el intercambiador de calor por los codos (accesorios) disminuye el caudal y aumenta las pérdidas.
- La fabricación del intercambiador de calor es compleja también como el montaje y el anclaje.
- Los conductos donde circulará el agua serán tubos de CPVC

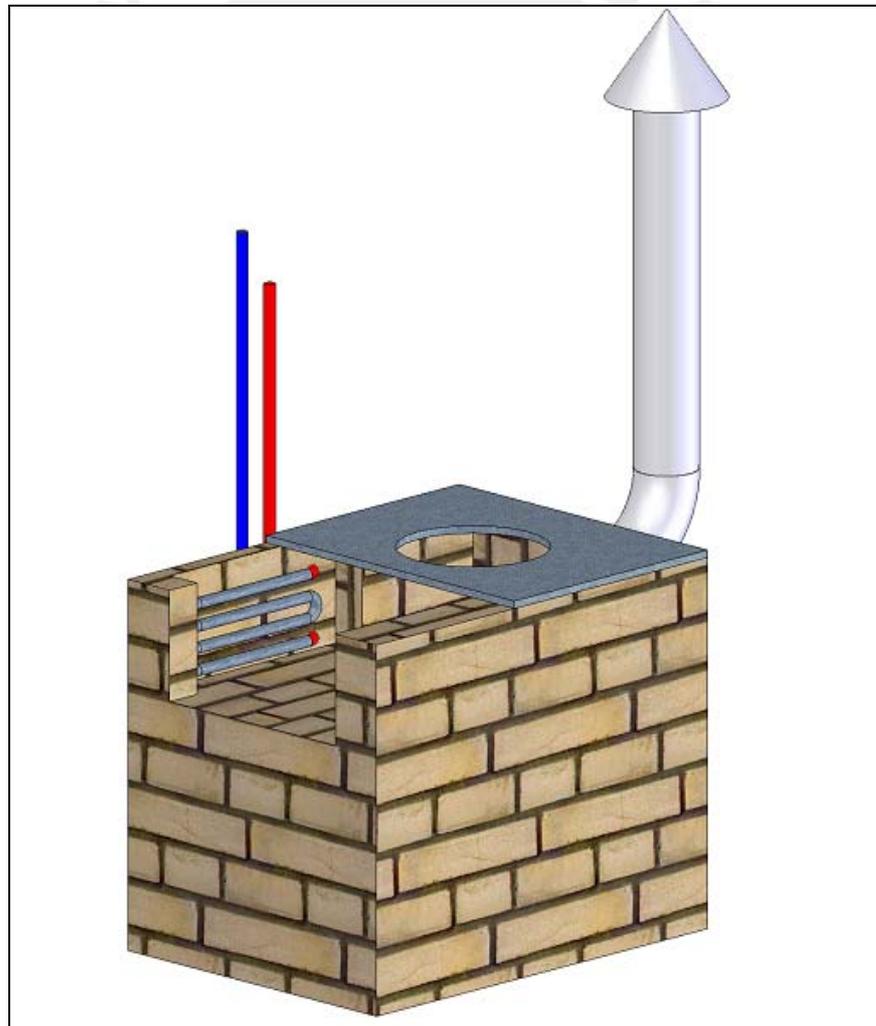
Este prototipo funcionará de la siguiente manera:

Al encenderse la leña o bosta de la cocina generará un flujo de calor que atravesará la pared del intercambiador de calor transmitiendo parte de ésta al agua contenida de ella, cuando el agua dentro del intercambiador de calor empieza su calentamiento, ésta sube debido a la menor densidad, y es remplazada por el agua de menor temperatura proveniente del tanque que se encontrará en la parte superior de éste; de esta forma se producirá la circulación natural debido al efecto del termosifón.

Luego, el agua caliente saliente del intercambiador de calor sube por medio de los conductos (tuberías, mangueras) hacia el tanque y empieza el calentamiento del agua, en ese momento el agua fría que se encuentra en la parte inferior del tanque empieza a descender e ingresar al intercambiador de calor produciéndose la circulación natural. El agua caliente que ingresó al tanque se mantendrá en la parte superior mientras la de menor temperatura en la parte inferior. Entonces el agua del tanque empezará a calentarse desde la parte superior hacia la parte inferior, hasta que las temperaturas se igualen entonces el movimiento cesa.



TANQUE DE ALMACENAMIENTO
PROPUESTA N°3
ILUSTRACIÓN II. 8



INTERCAMBIADOR DE CALOR (TUBOS) EN LA COCINA
PROPUESTA N°3
ILUSTRACIÓN II. 9

B) Evaluación Técnico-Económico de las 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 asignará un valor (1 a 5), dependiendo de cómo satisfaga la propuesta al punto en mención.

A los puntos de comparación también se les asignará un peso, dependiendo de cuanta trascendencia tengan con el desarrollo del proyecto, este peso será denominado como el factor de influencia.

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

PUNTAJE ASIGNADO
TABLA II. 1

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

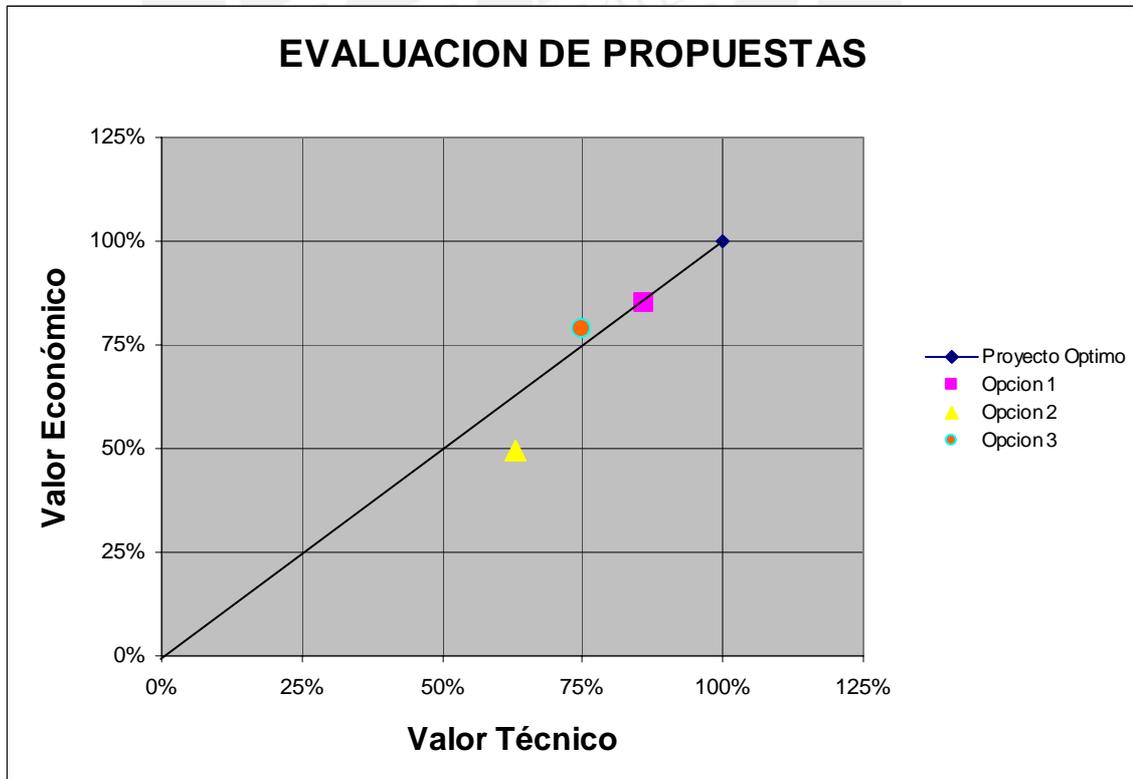
FACTOR DE IMPORTANCIA
TABLA II. 2

| 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 | 3 | 9 | 4 | 12 | 5 | 15 |
| 2 | FABRICACIÓN | 3 | 3 | 9 | 2 | 6 | 4 | 12 | 5 | 15 |
| 3 | OPERACIÓN | 3 | 5 | 15 | 2 | 6 | 3 | 9 | 5 | 15 |
| 4 | MANTENIMIENTO | 2 | 5 | 10 | 4 | 8 | 5 | 10 | 5 | 10 |
| 5 | MONTAJE | 2 | 5 | 10 | 2 | 4 | 5 | 10 | 5 | 10 |
| 6 | PRODUCCIÓN | 2 | 4 | 8 | 2 | 4 | 3 | 6 | 5 | 10 |
| Total = $\Sigma (Fi \times Pi)$ | | | - | 64 | - | 37 | - | 59 | - | 75 |
| Coefficiente Técnico = Puntaje Total / Puntaje Ideal | | | - | 85% | - | 49% | - | 79% | - | 100% |

EVALUACIÓN ECONOMICA
TABLA II. 3

| 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 | 3 | 9 | 5 | 15 |
| 3 | BUEN USO DE LA ENERGIA | 3 | 5 | 15 | 3 | 9 | 4 | 12 | 5 | 15 |
| 4 | COSTO DE ENERGÍA | 2 | 4 | 8 | 4 | 8 | 4 | 8 | 5 | 10 |
| 5 | FACILIDAD DE FABRICACIÓN | 2 | 5 | 10 | 2 | 4 | 4 | 8 | 5 | 10 |
| 6 | ERGONOMÍA | 2 | 4 | 8 | 2 | 4 | 3 | 6 | 5 | 10 |
| 7 | ACCESORIOS | 1 | 4 | 4 | 2 | 2 | 3 | 3 | 5 | 5 |
| 8 | FACILIDAD DE MANEJO | 1 | 4 | 4 | 2 | 2 | 4 | 4 | 5 | 5 |
| 9 | FACILIDAD DE MONTAJE | 1 | 5 | 5 | 3 | 3 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| 10 | COMPLEJIDAD | 1 | 5 | 5 | 3 | 3 | 4 | 4 | 5 | 5 |
| 11 | MANTENIMIENTO | 1 | 3 | 3 | 4 | 4 | 4 | 4 | 5 | 5 |
| Total = $\Sigma (Fi \times Pi)$ | | | - | 86 | - | 63 | - | 75 | - | 100 |
| Coefficiente Técnico = Puntaje Total / Puntaje Ideal | | | - | 86% | - | 63% | - | 75% | - | 100% |

EVALUACIÓN ECONÓMICA
TABLA II. 4



EVALUACIÓN
GRÁFICO II. 1

La selección más adecuada será la Opción que además de tener los coeficientes Técnicos y Económicos mas altos, mantenga un equilibrio entre estos. Por esto (**GRÁFICO II. 1**) el proyecto indicado a desarrollar será basado en la **OPCIÓN 1**, al albergar los valores técnicos y económicos mas altos.

El prototipo elegido es el #1, donde el intercambiador tiene forma de paralelepípedo que se encontrará dentro de la cámara de combustión; usaremos el calentamiento directo para calentar el agua que ingresa al interior del intercambiador de calor, donde el agua caliente subirá por el fenómeno de termosifón mediante tuberías al tanque de almacenamiento no presurizado.



III) PRINCIPALES PARTES DE LA TERMOCOCINA

1) **INTERCAMBIADOR DE CALOR**

Es la parte más importante de la Termococina, la función del intercambiador de calor es conducir la energía de la leña o bosta al fluido dentro de este.

Las características principales del intercambiador de calor serán

- Deben resistir las altas temperaturas que se producen en la cámara de combustión de la cocina.
- Las paredes deben tener buena conductividad térmica para que favorecer el intercambio de calor.
- El diseño interior del intercambiador de calor debe ser sencillo y no generar pérdidas por fricción que podrían restar eficiencia al sistema.

2) **TANQUE DE ALMACENAMIENTO**

Debido a que la necesidad de agua caliente no siempre coincide con el funcionamiento de la Termococina es necesario disponer de un sistema de almacenamiento que haga frente a la demanda en dichas situaciones, para eso utilizaremos un tanque de almacenamiento el cual se almacenará el agua caliente que produce la Termococina, así el usuario obtendrá agua caliente cuando lo desee.

A) **Tipos de tanques de almacenamiento**

En cuanto a los tipos de tanques existen dos tipos:

- Tanques Presurizados
- Tanques No Presurizados

Los Tanques Presurizados son tanques herméticos que soportan altas presiones que pueden ser causadas por el agua al aumentar su temperatura de esta manera las temperaturas que se pueden alcanzar el agua son mayores a que los tanques no presurizados también poseen un mejor sistema de aislamiento reduciendo así las pérdidas de calor, el problema de estos tanques son sus costos elevados y de difícil adquisición para el poblador rural.

Al contrario los Tanques No Presurizados son simples y baratos pueden almacenar agua caliente hasta 90 °C de temperatura estos tanques son de fácil adquisición por los pobladores ya que pueden ser nuevos o usados en buenas condiciones para abaratar costos; una muy buena opción son los tanques de plástico ya que son resistentes a la corrosión, bajo peso y de fácil mantenimiento; también se pueden usar cilindros de aceite, éstos son de acero por ello necesita protección interior contra la corrosión que puede ser mediante una pintura epoxi, ánodos u otro mecanismo. Para un mejor desempeño estos tanques es necesario que estén tapados para así disminuir las pérdidas de calor, también deben tener un respiradero para evitar que se alcancen altas presiones que podrían dañar estos tanques.

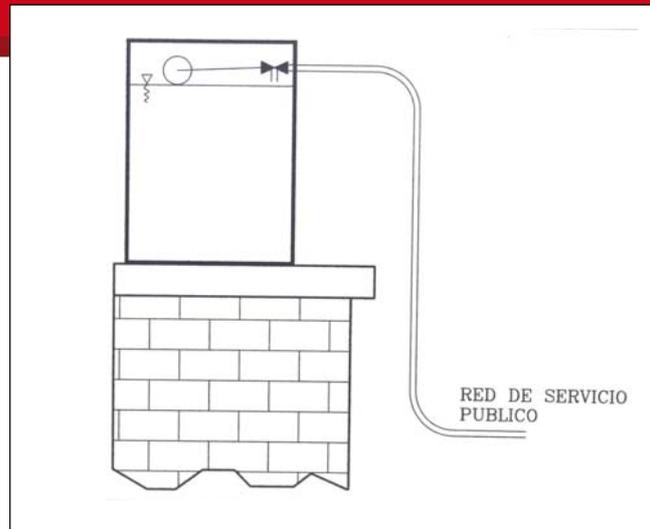
B) Tipo de alimentación

Para un buen desempeño de la Termococina el tanque de almacenamiento siempre debe contener agua en su interior hasta un nivel superior a la entrada de agua caliente, esto para que produzca el fenómeno de termosifón es por ello que es importante garantizar el abastecimiento de agua al tanque de almacenamiento.

Consideraremos 2 tipos alimentación al tanque de almacenamiento estas son:

a) **Conexión de la red de servicio público**

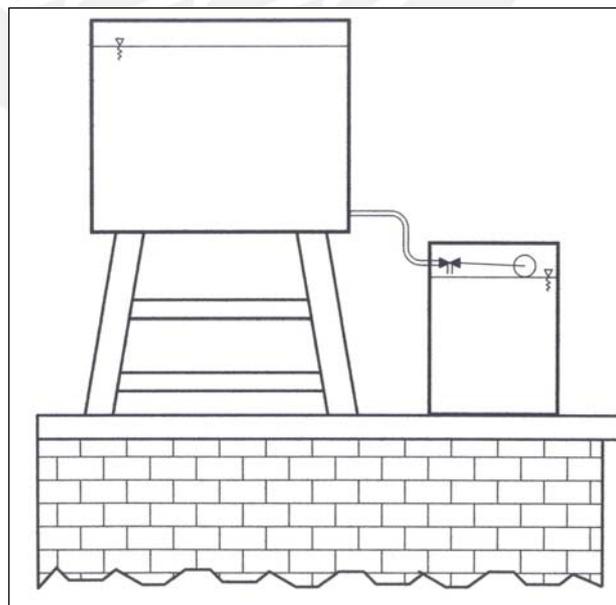
Si en la localidad en donde se instalara la Termococina cuenta con red de distribución agua potable (si es lo suficientemente confiable) se podrá colocar directamente al tanque de almacenamiento, la conexión de esta red con un sistema de válvula de nivel, que cuenta con una válvula y una boya así cuando el nivel de agua baje la boya descenderá permitiendo la apertura de la válvula e ingresando agua de la red de servicio público, cuando éste ingresando agua la boya empezará a ascender hasta un nivel adecuado en donde se producirá el cierre de la válvula, garantizando así que el tanque de almacenamiento contenga agua hasta un nivel adecuado.



CONEXIÓN DE LA RED DE SERVICIO PÚBLICO
 ILUSTRACIÓN III. 1

b) Tanque adicional de mayor capacidad

Si en la localidad se carece de una red de distribución de agua potable se podrá resolver este problema adicionando un tanque de mayor capacidad (de 1000 litros a más aprox.) para que abastezca al tanque de almacenamiento, este tanque se debe colocar en un nivel más alto al tanque de almacenamiento para que el agua ingrese por gravedad al tanque de almacenamiento; los pobladores tendrán constantemente que inspeccionar el tanque de mayor capacidad para mantenerlo en un nivel de agua adecuado la conexión será similar a la anterior con un sistema de válvula de nivel.



CONEXIÓN DESDE UN TANQUE DE MAYOR CAPACIDAD
 ILUSTRACIÓN III. 2

C) Aislamiento del tanque de almacenamiento

El tanque de almacenamiento de agua se debe aislar apropiadamente para así evitar las pérdidas de calor cuando la Termococina no este en funcionamiento, también en las madrugadas donde la temperatura ambiente baja considerablemente en las zonas rurales de las sierra, el aislamiento debe ir alrededor de las paredes del tanque de almacenamiento tanto en la parte lateral como en la parte inferior y superior para así garantizar un buen desempeño. Sobre la elección de los materiales sabemos que existe una a gran variedad de materiales aislantes usados en la industrias con excelentes resultados, pero un factor importante es el costo así que lo adecuado es elegir materiales que el poblador pueda obtener fácilmente en su comunidad y que cumpla con los requisitos de un aislante; como las temperaturas de trabajo son entre 10°C a 100°C podemos usar lana de oveja que es un excelente aislante y a la vez económico.

3) TUBERIAS DE CONEXIÓN

Las tuberías nos servirán de medio de transporte del agua desde el intercambiador de calor hacia el tanque de almacenamiento, la distribución debe ser de tal manera que la distancia de conexión debe ser lo más corta posible para así ahorrar materiales, reducir las pérdidas de calor como también las pérdidas por rozamiento, deben resistir las temperaturas de trabajo, como tener un adecuado diámetro para reducir las pérdidas por fricción.

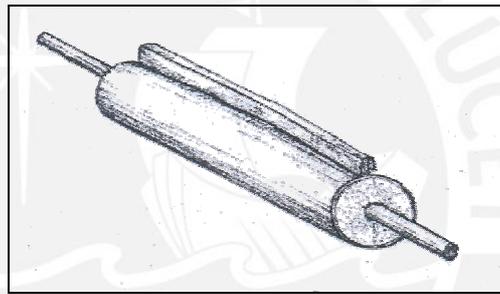
A) Materiales adecuados

La temperatura de la salida del agua intercambiador de calor rara vez excede de los 90 °C por lo que es recomendable instalar tuberías de plástico de agua caliente (CVPC) o tuberías de metal. Sin embargo se tendrán que revisar para las tuberías de plástico de agua caliente (CPVC) sus hojas técnicas ya que debido a las altas temperaturas que puedan producirse éstas no se deforman. Esto porque cuando el intercambiador de calor se encuentre sin agua en su interior (vacío) por un lapso de tiempo (problemas en el abastecimiento de agua), este puede alcanzar temperaturas entre 100°C a 130 °C. Entonces las tuberías de plástico de agua caliente (CPVC) pueden sufrir daños a causa de estas temperaturas. Por esta razón

es preferible instalar tuberías de metal que son más durables y tienen un buen desempeño a esas temperaturas, pero el inconveniente allí son los costos.

B) Aislamiento de las tuberías

El aislamiento de las tuberías de conexión que van desde el intercambiador de calor hacia el tanque de almacenamiento, tiene la finalidad aumentar la eficiencia de la Termococina, el aislamiento nos reduce las pérdidas de calor que se produce entre las tuberías y el medio ambiente, El aislamiento toma más importancia en las zonas rurales de la sierra ya que en las noches las temperaturas bajan considerablemente, y también cuando se producen las “Heladas”; es por ello que tenemos que realizar un buen diseño para lograr la mayor eficiencia del aislamiento y se debe tener un espesor adecuado del material a emplear.



AISLAMIENTO DE LAS TUBERIAS¹
 ILUSTRACIÓN III. 3

C) Pérdidas en las tuberías

Debido a que la fuerza que rige la circulación natural es una fuerza débil (se genera por diferencias pequeñas de densidad), se utilizarán lo mínimo en accesorios posibles ya que es allí en donde se localiza las mayores pérdidas (se aumentan la resistencia a la circulación y se reduce el flujo) disminuyendo así la eficiencia del sistema, por ello se recomienda para los cambios de direcciones no utilizar codos comerciales de 90° es conveniente utilizar en estos casos curvas con radios mínimo de tres veces al diámetro del tubo.

Mas aún para evitar las restricciones internas en ningún caso utilizaremos filtros, válvulas de corte, antiretorno o otros componentes que impliquen estrangulaciones al flujo del circuito termosifón, también por similares razones se debe procurar

¹ CENERGIA ECOFYS: Modulo de Energía Solar Térmica (Teoría) Fig. 3.19 Pág. 45

que el trazado de la tubería sea lo más corto posible, para así situar el tanque de almacenamiento cerca al intercambiador de calor.

Las conexiones deben ser orientadas de tal manera que favorezcan el funcionamiento del termosifón, para esto es importante evitar los trazados horizontales de las tuberías todas ellas debe tener una inclinación mínima de 5° para así evitar la formación de burbujas de aire que impiden el movimiento del fluido al tener esta inclinación favorecen a la ascensión de estas burbujas de aire.



IV) CALCULOS

1) ESTUDIO DE LAS NECESIDADES A CUBIR

No tenemos un estudio que determine los consumos típicos de agua caliente en las zonas alto andinas siendo este un valor muy variable que depende de los usos y costumbres. Por ello estimaremos un consumo de agua caliente por persona de 32 litros/día para los adultos y de 15 litros/día para niños de acuerdo con la siguiente tabla.

Consumos medios de agua caliente domestica por persona, en litros

| | Media diaria (Litros) | Media mensual (Litros) |
|-------------------|--------------------------|---------------------------|
| Lavado de ropa | 6 | 180 |
| Lavado de vajilla | 6 | 180 |
| Ducha | 20 | 600 |
| Total | 32 | 960 |

Fuente: CENSOLAR , Instalaciones De Energía Solar : Curso Programado 3a ed., Vol.3: Sistemas de aprovechamiento térmico I : colector solar, Pag:142

La temperatura de confort del agua caliente para el hombre está alrededor de los 45 °C, en muchos casos la Termococina alcanzaremos temperaturas mayores a ésta por lo que es ideal tener válvulas mezcladoras para que el usuario regule la temperatura que desea. En este caso diseñaremos nuestra Termococina para una vivienda unifamiliar, teniendo en cuenta que la composición de una familia es de aproximadamente 5 miembros; 2 adultos y 3 niños. De acuerdo con las tablas anteriores necesitaríamos 107 litros de agua por día a 45 °C para satisfacer las necesidades de esta familia.

2) MECANISMO DE TRANSFERENCIA DE CALOR

En el estudio de la presente tesis es muy importante analizar los mecanismos de transferencia de calor que se producirán entre la cámara de combustión y el intercambiador de calor, como ya es sabido este fenómeno se produce por tres mecanismos: radiación, convección y conducción, para obtener datos que nos ayuden para diseñar un intercambiador de calor más eficiente.

A) Mecanismo de transmisión de calor

En las cocinas rurales la leña es el principal portador de energía para cocer los alimentos; la energía que libera la leña o bosta por el mecanismo de combustión logra elevar la temperatura de la cámara de combustión. Luego de que se ha producido la reacción química con la consiguiente liberación de calor es transmitido a las demás superficies mediante los mecanismos de transferencia de calor antes mencionados.

Esta energía liberada por la leña o bosta es absorbida por las ollas y en este caso también por el intercambiador de calor elevando la temperatura de ellos, también parte de esta energía se pierde debido a las formas constructivas de las cocinas.

Parte del calor que emite la leña por combustión es absorbida por el intercambiador de calor mediante tres mecanismos. Primero el intercambiador de calor recibe el calor mediante un mecanismo combinado de radiación y convección, segundo este calor pasa por las paredes de éste por el mecanismo de conducción para que finalmente la transmita a la carga del interior por un mecanismo complejo de conducción y convección.

Observaciones de procesos de combustión y experimentos realizados en cocinas de briquetas a carbón y leña han demostrado que la radiación es predominante comparado con la convección para el primer mecanismo de transferencia de calor, por ello más adelante en los cálculos de las dimensiones del intercambiador de calor sólo se analizará el proceso de transferencia de calor por el fenómeno de radiación.¹

B) Consideraciones previas al cálculo

Antes de realizar los cálculos de transferencia de calor en la Termococina tomamos algunas consideraciones:

- Todo el proceso se realiza a presión atmosférica y a condiciones normales.

¹ Ulises Valdivia Cocinas a carbón : estudio experimental del proceso de transferencia de calor de un modelo elemental portátil (Lima: Pontificia Universidad Católica Del Perú, 1990), Pag 131-133

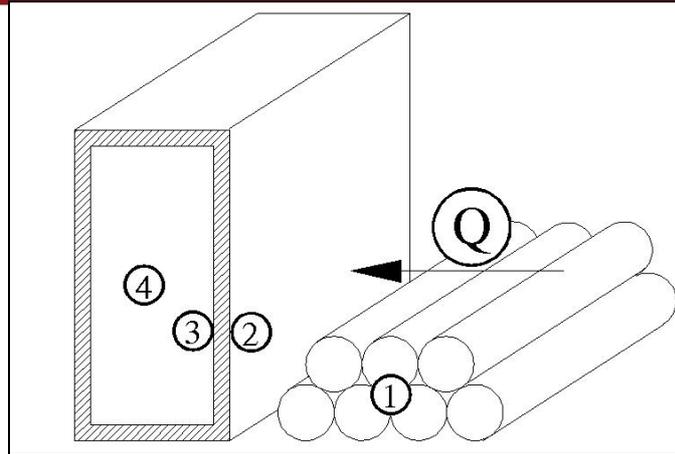
- Las temperaturas promedio son constantes en todas las superficies durante todo el tiempo que se analicen.
- En el primer mecanismo de transmisión convección – radiación, el calor por convección entre la cámara de combustión y el intercambiador de calor se despreciará, siendo la radiación el mecanismo de mayor importancia en el estudio.
- El mecanismo de transmisión de calor que se da en las paredes del intercambiador de calor es por conducción y el mecanismo de transferencia de calor entre las paredes internas de intercambiador de calor y el agua contenida dentro de este mediante un mecanismo combinado de conducción y convección natural.
- Las propiedades termofísicas (conductividad térmica, emisividad, densidad) de todos los materiales no varían con la temperatura, por ello se tomará un promedio.

3. CALCULO DE LAS DIMENSIONES DEL INTERCAMBIADOR DE CALOR

A) Descripción del problema

En esta parte se calcularán las dimensiones óptimas del intercambiador de calor para transmitir un flujo de calor adecuado, y cumplir con las exigencias del problema; también se analizarán los procesos de transferencia de calor desde la entrega del calor por la leña hasta el calentamiento del agua, posteriormente también hallaremos las temperaturas que tendrán las superficies del intercambiador de calor, para ello debemos analizar cada mecanismo de transferencia de calor que se produce por la entrega de calor de la leña.

Para tener una mejor visión de los procesos de transferencia de calor que se producen en la cámara de combustión se muestra la ilustración IV. 1.



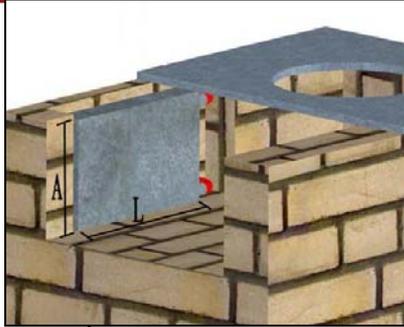
DISPOSICIÓN DE LAS VARIABLES EN LA CAMARA DE COMBUSTION
ILUSTRACIÓN IV. 1

Donde:

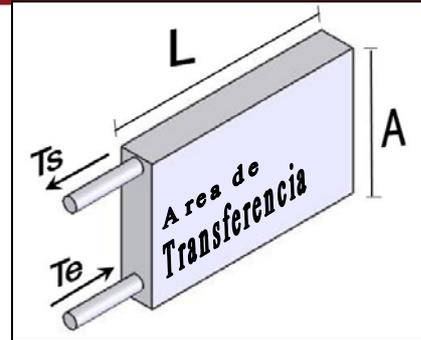
| Numero | Sección |
|--------|-----------------------------------|
| 1 | Leña |
| 2 | Pared externa del Inter. de calor |
| 3 | Pared interna del Inter. de calor |
| 4 | Fluido |

B) Método de solución

El tipo del intercambiador que seleccionamos en el capítulo anterior tiene la forma de un paralelepípedo, que se encontrará ubicado dentro de la cámara de combustión; para el diseño de éste dependemos de su área lateral ya que dicha área será el área de transferencia de calor, allí tenemos dos incógnitas el largo (L) del intercambiador de calor como la altura (A) de éste, Debido a que en la cámara de combustión de las cocinas a leña su altura no excede de los 30 cm. tomaremos un valor menor para la altura del intercambiador de calor; para nuestro diseño tomamos el valor constante 25cm para evitar problemas de montaje en la cocina, entonces lo que modificaremos es el largo (L) del intercambiador, pero como sabemos que ante una mayor área de transferencia mayor es el flujo de calor que ingresa a este es, por ello que tomásemos las mayores dimensiones del caso.



UBICACIÓN DEL INTER. DE CALOR EN LA
 CAMARA DE COMBUSTION
 ILUSTRACIÓN IV. 2



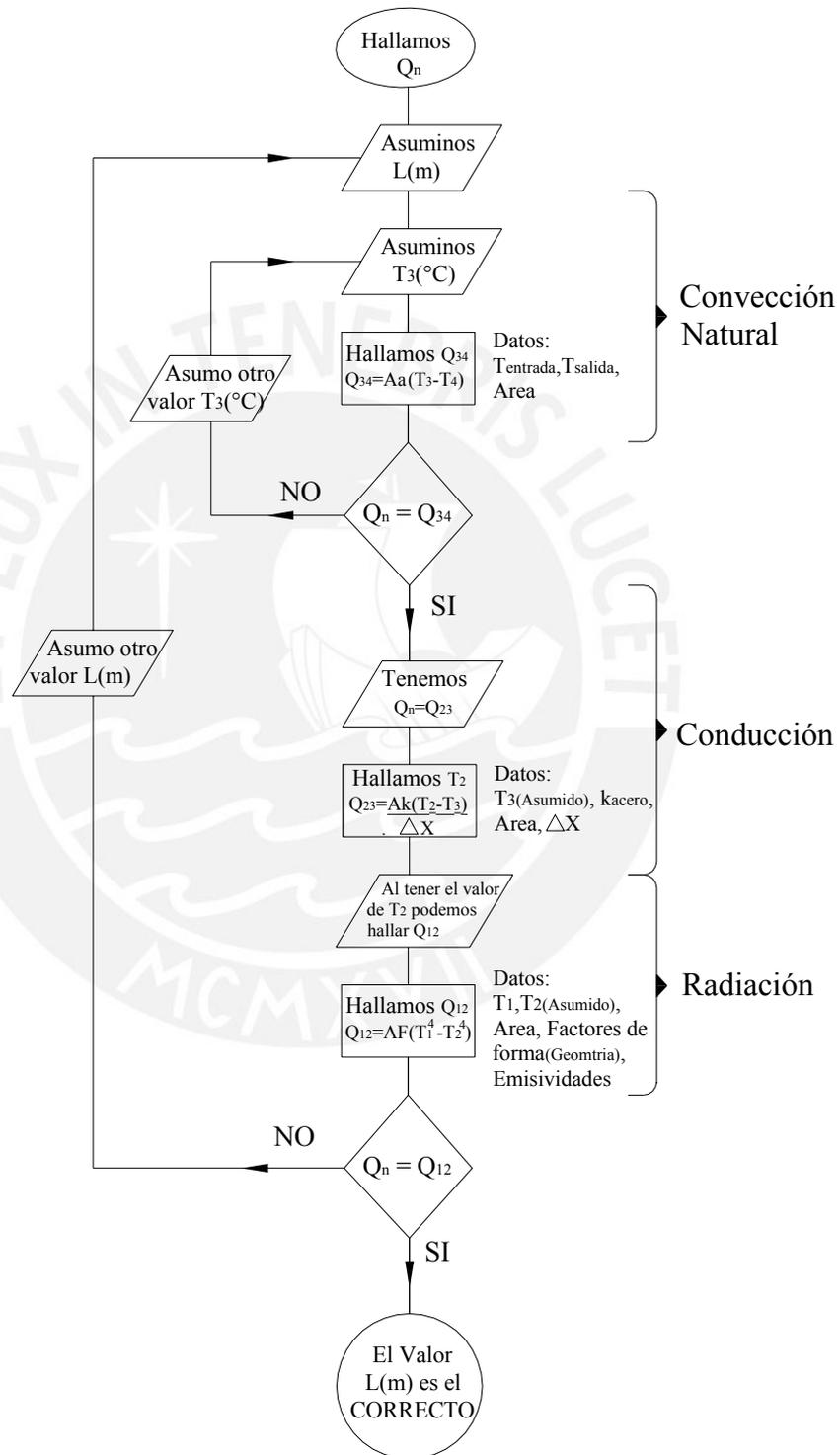
VARIABLES DEL INTER. DE CALOR
 ILUSTRACIÓN IV. 3

a) Método de iteración

Para hallar la dimensión el largo $L(m)$ del intercambiador de calor, usaremos el método de iteración donde modificaremos el valor de L , hasta obtener valores adecuados con las ecuaciones de transferencia de calor, primero debemos calcular el flujo de calor necesario para calentar el agua en las cantidades y temperaturas que nos plantemos al inicio del trabajo de tesis, a dicho calor lo llamaremos $Q_n(kW)$. Luego de obtener dicho flujo de calor, asumimos un valor para la longitud del largo $L(m)$ del intercambiador de calor, así podemos obtener el área de transferencia, entonces procedemos a analizar el proceso de transferencia de calor debido a la convección natural 34 , donde asumimos una temperatura $T_3 (^{\circ}C)$. Con dicha temperatura procedemos a hallar el flujo de calor $Q_{34}(kW)$, para comprobar si T_3 es la correcta debe cumplirse que $Q_n=Q_{34}$; si no es así tomamos otro valor y de esta forma iteraremos varias veces hasta encontrar la temperatura correcta. Una vez encontrado la temperatura correcta pasamos a analizar el siguiente proceso de transferencia de calor debido a la conducción 23 , donde hallamos directamente la temperatura $T_2(^{\circ}C)$ debido a que $Q_n=Q_{23}$; en esta parte no iteramos la temperatura T_2 ya que la reemplazamos directamente en la fórmula de la temperatura T_3 conocida anteriormente así como también el espesor del material. Finalmente pasamos a analizar el proceso de transferencia de calor debido a la radiación 12 en donde reemplazamos la temperatura T_2 para hallar el flujo de calor Q_{12} . Es en esta parte donde comprobamos si la longitud asumida $L(m)$ es la correcta; si se cumple que $Q_n=Q_{12}$ la longitud $L(m)$ es la correcta y si no se cumple tenemos que iterar nuevamente todo el proceso anterior hasta que se cumpla todos las exigencias. Una vez que el valor asumido cumpla con todas las exigencias ese es el valor que tomaremos para el largo del intercambiador de calor.

b) Diagrama de flujo del método de iteración

Aquí mostramos el diagrama de flujo para las iteraciones para encontrar las dimensiones del intercambiador de calor L(m).



C) Ecuaciones empleadas

En esta sección mostraremos las ecuaciones que emplearemos en la solución del problema.

a) Ecuaciones del fenómeno de Convección Natural

$$Q_{34} = A_1 \alpha_c (T_3 - T_4) \quad \text{IV.3.1}$$

$$Gr = \frac{\rho^2 L^3 g \beta \Delta T}{\mu^2} \quad \text{IV.3.2}$$

$$Nu = \frac{\alpha_c L}{k_f} \quad \text{IV.3.3}$$

b) Ecuaciones del fenómeno de Conducción

$$Q_{23} = \frac{A_1 k_{ac} (T_2 - T_3)}{\Delta x} \quad \text{IV.3.4}$$

c) Ecuaciones del fenómeno de Radiación

$$Q_{12} = A_1 F_{12} \sigma (T_1^4 - T_2^4) \quad \text{IV.3.5}$$

Para en la transferencia de calor debemos tener en cuenta que el calor se transfiere en forma constante por el intercambiador de calor en consecuencia

$$Q_n = Q_{12} = Q_{23} = Q_{34} \quad \text{IV.3.6}$$

Q_n = Calor de entrada al intercambiador de calor, kW

Q_{12} = Calor Transmitido por Radiación, kW

Q_{23} = Calor Transmitido por Conducción, kW

Q_{34} = Calor Transmitido por Conveccion Natural, kW

Gr = Numero de Grashoff

Nu = Numero de Nusselt

A_1 = Área lateral del intercambiador de calor, m^2

α_c = Coeficiente de transferencia de calor por convección, $W/m^2\text{°C}$

β = Coeficiente volumétrica de expansión térmica, $1/\text{°C}$

μ = Viscosidad dinámica, $N\cdot s/m^2$

ΔT = Diferencia de temperaturas entre la pared del Inter. de calor y la temperatura media del fluido, °C

ρ = Densidad del fluido, kg/m^3

L = Longitud característica, m

g = Aceleración de la gravedad, m/s^2

T_1 = Temperatura de la superficie de la leña, °K

T_2 = Temperatura de la parte exterior de la plancha, °K

T_3 = Temperatura de la parte interior de la plancha, °C

T_4 = Temperatura media del fluido, °C

L = Longitud característica, m

k_f = Conductividad térmica del fluido, $W/m\text{°C}$

k_{ac} = Conductividad térmica del acero, $W/m\text{°C}$

F_{12} = Factor de forma entre la superficie 1 y 2

Δx = Espesor de la plancha, m

σ = Constante de Stefan-Boltzman, $5.6697 \times 10^{-8} W/m^2K^4$

D) Cálculo de las dimensiones del intercambiado de calor

a) Cálculo del calor de entrada Q_n

El calor de entrada (Q_n) es la cantidad el calor necesario para calentar agua desde una temperatura inicial hasta una temperatura final. Para nuestro trabajo se propuso calentar 107 litros de agua (consumo medio de una familia de 5 personas), desde una temperatura inicial que vendrá a ser la temperatura ambiente 15°C , hasta una temperatura final (temperatura de confort) que en este caso es de 45°C . El tiempo de transferencia de calor hacia el intercambiador de calor viene a ser 1 hora con 45 minutos, ya que los pobladores cocinan sus alimentos 2 veces al día como mínimo, la primera en el almuerzo que toma el mayor tiempo 1 hora 15 minutos aproximadamente y el segundo la cena que será 30 minutos, donde juntos sería el tiempo total de entrega de calor al intercambiador de calor

Luego de tener todos los datos podemos hallar el calor Q_n con la siguiente fórmula:

$$Q_n = \frac{\rho \cdot V \cdot C_p \cdot \Delta T}{t}$$

Datos:

$$T_1 = 15^\circ C$$

$$T_2 = 45^\circ C$$

$$V = 0,107 m^3$$

$$\delta_{30^\circ C} = 995,67 kg/m^3$$

$$C_{p_{30^\circ C}} = 4,178466 kJ/kg^\circ C$$

$$t = 6300 s$$

$$Q_n = \frac{995,67 \cdot 0,107 \cdot 4,178466 \cdot (45 - 15)}{6300}$$

$$Q_n = 2,12 kW$$

IV 3.7

El calor que necesitamos para calentar 107 litros de agua desde $15^\circ C$ hasta $45^\circ C$ es de 2,12 kW

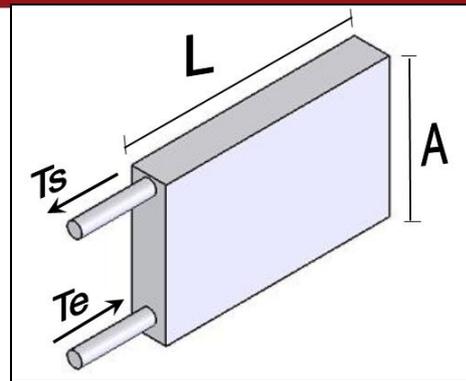
b) Cálculo del flujo de calor por convección natural (Q_{34})

Como mencionamos anteriormente tenemos que asumir un valor de L (m) para obtener el área de transferencia que finalmente comprobaremos si es el correcto, producto de iteraciones previa tomamos el valor de 0.55m entonces las dimensiones del área lateral del intercambiador de calor serían:

$$L=0.55m \text{ y } A=0.25m$$

- **Descripción del problema**

En el intercambiador de calor ingresara agua fría a $15^\circ C$ de temperatura que viene del tanque de almacenamiento por consideraciones técnicas y propiedades de los materiales deseamos que la temperatura de salida del intercambiador de calor debe ser de $60^\circ C$ de temperatura como máximo por ello la temperatura promedio que consideramos para la temperatura del agua es de $37.5^\circ C$ de temperatura.


 INTERCAMBIADOR DE CALOR
ILUSTRACIÓN IV. 4

De la ecuación IV.3.1 tenemos que el flujo calor que se produce por el intercambio de energía en un proceso de convección natural es igual a:

$$Q_{34} = A_1 \alpha_c (T_3 - T_4)$$

- **Cálculos realizados**

Para hallar el flujo de calor necesitamos hallar el α_{conv} que se produce en la pared interna del intercambiador de calor y reemplazar en la ecuación IV.3.1.

Además debemos asumir una temperatura de superficie interna T_3 que no la tenemos luego hallamos el α_{conv} por las correlaciones de convección natural en una pared vertical y luego el flujo de calor que lo compararemos con el flujo de calor Q_n y así comprobaremos que la temperatura asumida es la correcta.

$$T_3 = 61,4^\circ \text{C} (\text{asumida})$$

$$T_A = \frac{T_{\text{Entrada}} + T_{\text{Salida}}}{2} = \frac{15 + 60}{2} = 37,5^\circ \text{C}$$

$$T_{\text{Film}} = \frac{T_A + T_3}{2} = \frac{37,5 + 61,4}{2} = 49,45^\circ \text{C}$$

Propiedades del agua a $54,25^\circ \text{C}$

$$C_p = 4,1803 \text{ kJ/kg}^\circ \text{C}$$

$$\delta = 988,30 \text{ kg/m}^3$$

$$\nu = 5,5263 \times 10^{-4} \text{ N} \cdot \text{s/m}^2$$

$$k = 6,4022 \times 10^{-4} \text{ kW/m}^\circ \text{C}$$

$$P_r = 3,60816$$

Para β tomamos la temperatura del fluido 37.5°C

$$\beta = 3.745 \times 10^{-4}$$

Luego con esos datos hallamos el número de Grashof con la siguiente formula

IV.3.2

$$Gr = \frac{\delta^2 \cdot L^3 \cdot g \cdot \beta \cdot \Delta T}{\nu^2}$$

Reemplazando tenemos:

$$Gr = \frac{988.3^2 \cdot 0.25^3 \cdot 9.8 \cdot 3.745 \times 10^{-4} \cdot (31.4 - 37.5)}{(5.5263 \times 10^{-4})^2} = 4383.258 \times 10^6$$

Hallamos en que régimen se encuentra el proceso:

$$Gr \times Pr = 4383.258 \times 10^6 \cdot 3.60816 = 15815.498 \times 10^6$$

Aplicando las correlaciones para placas planas en posición vertical tenemos que el proceso se realiza en el régimen turbulento ya que:

$$10^9 \leq Gr \times Pr \leq 10^{13}^2$$

Entonces el número de Nusselt lo hallamos

$$Nu = 0.1(Gr \times Pr)^{1/3}$$

Donde:

$$Nu = 0.1(15815.498 \times 10^6)^{1/3} = 251.011$$

Para hallar el α_c tenemos la ecuación IV.3.3:

$$Nu = \frac{\alpha_c L}{k}$$

Donde simplificando tenemos

$$\alpha_c = \frac{Nu \times k}{L}$$

donde:

$$\alpha_c = \frac{251.011 \cdot 6.4022 \times 10^{-4}}{0.25} = 0.642816$$

² W.H. McAdams Heat transmission 3rd Ed., McGraw-Hill Book Co. Inc., New York:1954, chap 7

$$\alpha_c = 0.642816 \text{ kW/m}^2\text{°C}$$

Por lo tanto el flujo de calor lo hallamos de la ecuación IV.3.1:

$$Q_{34} = A_1 \alpha_c (T_3 - T_4)$$

$$Q_{34} = 0.25 \cdot 0.55 \cdot 0.642816 \cdot (61.4 - 37.5)$$

$$Q_{34} = 2.113 \text{ kW}$$

El calor Q_{34} que hallamos debemos comparar con el calor Q_n para comprobar que la temperatura T_3 es la correcta, del las ecuaciones IV3.6 y IV 3.7 tenemos

$$Q_n = Q_{34}$$

$$2.119 \text{ kW} \approx 2.113 \text{ kW}$$

Por ello la suposición es la correcta

$$T_3 = 61,4^\circ\text{C}$$

c) Cálculo del flujo de calor por conducción (Q_{23})

- **Descripción del problema**

Conocida la temperatura de superficie interna del intercambiador de calor podemos T_3 , hallar la temperatura de la superficie externa del intercambiador de calor. La temperatura externa necesitamos más adelante para hallar el flujo de calor por el mecanismo de radiación.

Para hallar la temperatura exterior tenemos la ecuación IV 3.4

$$Q_{23} = \frac{A_1 k_{ac} (T_2 - T_3)}{\Delta x}$$

- **Datos y valores conocidos**

Por característica de los materiales y resultados anteriormente calculados tenemos:

$$\begin{aligned} \Delta x &= 4 \text{ mm} \\ K_{Acero} &= 54 \text{ W/mK} \\ T_3 &= 61.4 \text{ °C} \\ Q_n &= 2.118 \text{ kW} \end{aligned}$$

El espesor de plancha de 4mm que utilizaremos se selecciono por ser de fácil obtención, es normalizado y cumple con los requisitos tanto térmicos como de fabricación.

- **Cálculos realizados**

Usaremos la ecuación IV 3.4 para determinar la temperatura de superficie externa

$$2.118 \times 10^3 = \frac{0.25 \cdot 0.55 \cdot 54 \cdot (T_2 - 61.4)}{4 \times 10^{-3}}$$

Donde

$$T_2 = 62.5^\circ C$$

Nota: La temperatura T_2 utilizaremos para hallar el flujo de calor por el mecanismo de radiación Q_{12} , el flujo de calor que obtenido lo compararemos con el flujo de calor Q_n si son aproximadamente iguales las temperaturas supuestas serán las correctas.

- d) **Cálculo del flujo de calor por el mecanismo de radiación (Q_{12})**

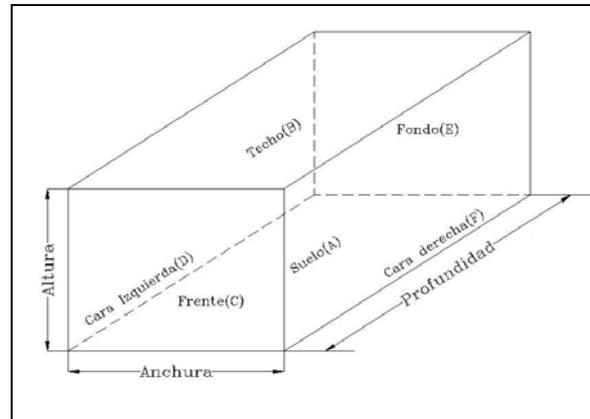
Es la ultima etapa para comprobar que la longitud L es la correcta ya teniendo de dato T_2 podemos hallar el flujo de calor por el mecanismo de radiación Q_{12} si al comparan con Q_n es igual la longitud será la correcta.

- **Descripción del problema**

La superficie externa del intercambiador de calor recibe calor por el mecanismo de radiación predominantemente como mencionamos anteriormente, por ello realizaremos los cálculos de la cantidad de calor que nos provee la leña por dicho mecanismo.

Para determinar las cantidades de calor por radiación hacia la superficie del intercambiador de calor y la superficie de la base de la olla emplearemos la analogía de la red eléctrica.

Primero dividiremos la cámara de combustión en 6 superficies como se muestra en la Ilustración IV. 5

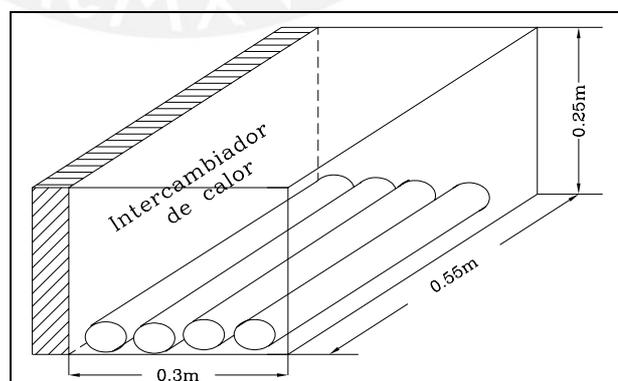


**CAMARA DE COMBUSTIÓN
ILUSTRACIÓN IV. 5**

Luego a cada una de ella le asignaremos un nombre como se muestra en el siguiente cuadro.

| Nº | PARTE | ESTADO | TIPO | SUPERFICIES |
|----|-------------------------|--------|------|-------------|
| 1 | LEÑA | ACTIVO | GRIS | A |
| 2 | INTERCAMBIADOR DE CALOR | ACTIVO | GRIS | D |
| 3 | PAREDES DE ADOBE | PASIVO | GRIS | C, F, E |
| 4 | OLLA | ACTIVO | GRIS | B |

En la figura mostramos el esquema físico de la cámara de combustión donde se grafican claramente tanto sus partes como sus dimensiones:



**PARTES DE LA CAMARA DE COMBUSTIÓN
ILUSTRACIÓN IV. 6**

- **Simbología empleada en los cálculos de radiación**

| | | |
|--------------|--------------------------------|----------|
| R | <i>Resistencia</i> | m^{-2} |
| ϵ_n | <i>Emisividad del cuerpo n</i> | |
| α_n | <i>absortividad</i> | |
| e_{bn} | <i>Potencias emisivas</i> | W/m^2 |
| J | <i>Polos</i> | W/m^2 |

- **Suposiciones requeridas**

Antes de realizar los cálculos supondremos que todas las superficies se encontraran a una determinada temperatura constante en toda su área, por ejemplo del suelo se encontrara a una determinada temperatura producto de la energía calorífica de la leña de igual manera las demás superficies como el intercambiador de calor, la base de la olla y las paredes cada superficie se encontraran a una determinada temperatura constante en toda su área.

En nuestro circuito la fuente de energía sea la superficie de la leña N° 1 que emitirá energía a las demás superficies las demás superficies será receptoras de esta energía

También supondremos que las paredes de adobe son adiabáticas y actúa como un elemento pasivo, tambien todas las superficies tienen comportamiento de cuerpo gris ($\epsilon = \alpha$), como también las superficies son difusas.

- **Formación del circuito de 4 cuerpos opacos y uno de ellos adiabático**

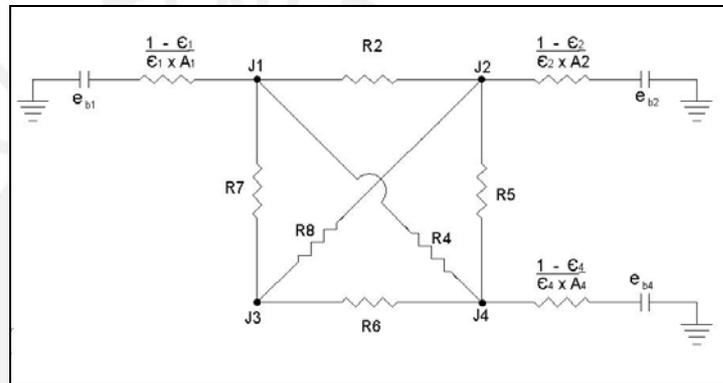
El circuito de la red estará formado por 4 cuerpos, todos opacos, 3 activos y uno pasivo (pared de adobe). En donde la superficie donde se ubica la leña será denominada N° 1, la superficie del intercambiador de calor será denominada N° 2, las superficies de las paredes de adobe serán denominadas N° 3 y la superficie de la base de la olla será denominada N° 4.

A continuación detallaremos los pasos para formar la red

1. Colocamos los nodos en este caso serán 4 (J_1, J_2, J_3, J_4) uno para cada elemento.
2. Luego procedemos a unir todos los nodos J .

3. Se colocando sus resistencias de superficie respectivas $(\frac{1}{A.F})$.
4. Se colocan los nodos $\frac{\epsilon}{\alpha} \sigma T^4$ y se unen a los nodos J con sus resistencias espaciales respectivas $(\frac{1-\alpha}{A.\alpha})$.
5. Cada nodo Puede ser conectado a una fuente de valor $\frac{\epsilon}{\alpha} \sigma T^4$ si el elemento es activo (solo las superficies activas tienen fuente), la fuente es la única que tiene conexión a tierra.

Así siguiendo los pasos anteriormente mencionados tenemos el siguiente circuito:



RED ELECTRICA DE RADIACION N° 1
ILUSTRACIÓN IV. 7

Donde:

$$\begin{aligned}
 R_2 &= \frac{1}{A_1 F_{12}} & R_6 &= \frac{1}{A_4 F_{43}} \\
 R_4 &= \frac{1}{A_1 F_{14}} & R_7 &= \frac{1}{A_1 F_{13}} \\
 R_5 &= \frac{1}{A_2 F_{24}} & R_8 &= \frac{1}{A_2 F_{23}}
 \end{aligned}
 \tag{IV.3.7}$$

Ya que el área N° 3 esta formada por tres superficies C, E, F utilizamos las relaciones de factores de forma para hallarlas. Así usando la relación de reciprocidad de los factores de forma tenemos:

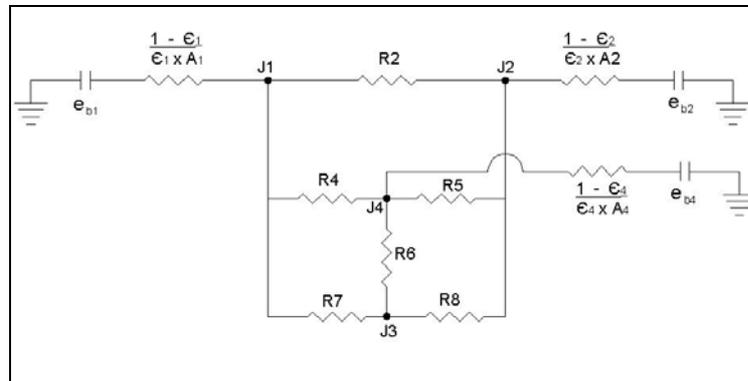
$$\begin{aligned}
 F_{12} &= F_{AD} & F_{43} &= F_{BC} + F_{BE} + F_{BF} \\
 F_{14} &= F_{AB} & F_{13} &= F_{AC} + F_{AE} + F_{AF}
 \end{aligned}$$

$$F_{24} = F_{DB}$$

$$F_{23} = F_{DC} + F_{DE} + F_{DF}$$

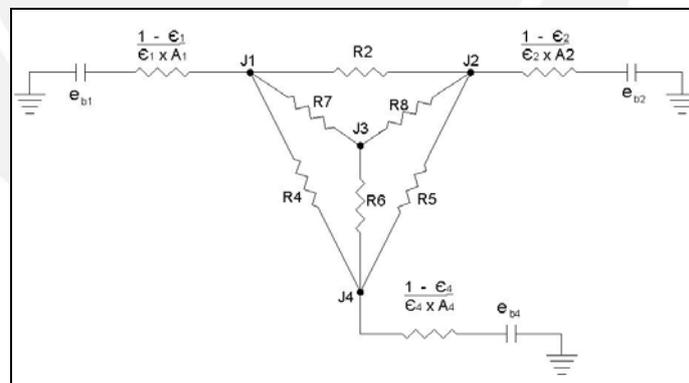
IV.3.8

Primero pasamos a simplificar la red como en la Fig.



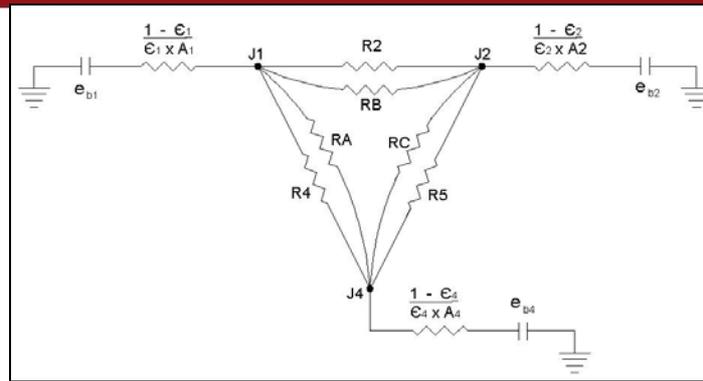
RED ELECTRICA DE RADIACION N° 2
ILUSTRACIÓN IV. 8

Ya que el potencial $J_3 = \sigma T_3^4$ flota y su magnitud depende de otras superficies participantes. No existe batería alguna (fuente) de potencial e_{b3} conectado a dicho nodo, por ello para obtener una solución al problema el nodo J_3 lo trasladamos al centro del circuito para así formar un circuito estrella en la red como indica la ilustración IV. 9



RED ELECTRICA DE RADIACION N° 3
ILUSTRACIÓN IV. 9

Luego procedamos a transformar el circuito estrella (Y) en un circuito delta (Δ) que nos proporciona 3 nuevas resistencias R_A , R_B y R_C



RED ELECTRICA DE RADIACION N° 4
ILUSTRACIÓN IV. 10

Estas resistencias estas formadas de la siguiente manera

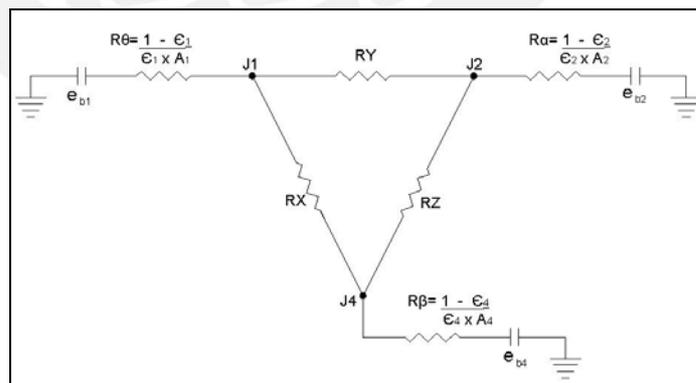
$$R_A = \frac{R_7 R_6 + R_8 R_6 + R_7 R_8}{R_8}$$

$$R_B = \frac{R_7 R_6 + R_8 R_6 + R_7 R_8}{R_6}$$

$$R_C = \frac{R_7 R_6 + R_8 R_6 + R_7 R_8}{R_7}$$

IV.3.9

Para simplificar aun más el circuito las parejas de resistencias ($R_4 R_A$), ($R_2 R_B$) y ($R_5 R_C$) se encuentran en paralelo y pasamos a sumarlas obteniendo finalmente el siguiente circuito



RED ELECTRICA DE RADIACION N° 5
ILUSTRACIÓN IV. 11

Finalmente sumamos las resistencias en paralelo obteniendo las siguientes resistencias resultantes.

$$R_X = \frac{R_4 R_A}{R_4 + R_A} \quad R_Y = \frac{R_2 R_B}{R_2 + R_B} \quad R_Z = \frac{R_5 R_C}{R_5 + R_C} \quad \text{IV.3.10}$$

Y Las potencias emisivas son:

$$e_{b1} = \sigma T_1^4 \quad e_{b2} = \sigma T_2^4 \quad e_4 = \sigma T_4^4 \quad \text{IV.3.11}$$

Al llegar a este circuito podemos aplicar la ley de kirchhoff para determinar las corrientes que llegan a cada uno de los tres puntos nodales J_1 , J_2 y J_4 . Esta operación da como resultado tres ecuaciones con tres incógnitas las incógnitas son J_1 , J_2 y J_3 , conociendo las temperaturas y la forma geométrica del sistema, las variantes las podemos hallar

$$\begin{aligned} \frac{\sigma T_1^4 - J_1}{R_\theta} + \frac{J_2 - J_1}{R_Y} + \frac{J_2 - J_1}{R_X} &= 0 \\ \frac{\sigma T_2^4 - J_1}{R_\alpha} + \frac{J_1 - J_2}{R_Y} + \frac{J_4 - J_2}{R_Z} &= 0 \\ \frac{\sigma T_4^4 - J_4}{R_\beta} + \frac{J_2 - J_4}{R_Z} + \frac{J_1 - J_4}{R_X} &= 0 \end{aligned} \quad \text{IV.3.12}$$

Simplificando obtenemos estas 3 ecuaciones

$$\begin{aligned} (\sigma T_1^4 - J_1)R_Y R_X + (J_2 - J_1)R_\theta R_X + (J_4 - J_1)R_\theta R_Y &= 0 \\ (\sigma T_2^4 - J_2)R_Y R_Z + (J_1 - J_2)R_\alpha R_Z + (J_4 - J_2)R_\alpha R_Y &= 0 \\ (\sigma T_4^4 - J_4)R_Z R_X + (J_2 - J_4)R_\beta R_X + (J_1 - J_4)R_\beta R_Z &= 0 \end{aligned} \quad \text{IV.3.13}$$

Desarrollando finalmente

$$-J_1(R_Y \cdot R_X + R_\theta \cdot R_X + R_\theta \cdot R_Y) + J_2 \cdot R_\theta \cdot R_X + J_4 \cdot R_\theta \cdot R_Y = -\sigma T_1^4 \cdot R_Y \cdot R_X$$

$$J_1 \cdot R_\alpha \cdot R_Z - J_2(R_Y \cdot R_Z + R_\alpha \cdot R_Z + R_\alpha \cdot R_Y) + J_4 \cdot R_\alpha \cdot R_Y = -\sigma T_2^4 \cdot R_Y \cdot R_Z$$

$$J_1 \cdot R_\beta \cdot R_Z + J_2 \cdot R_\beta \cdot R_X - J_4(R_X \cdot R_Z + R_X \cdot R_\beta + R_\beta \cdot R_Z) = -\sigma T_4^4 \cdot R_X \cdot R_Z$$

IV.3.14

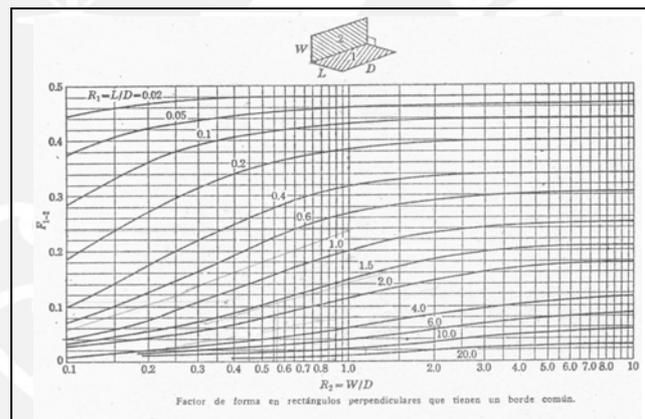
e) Datos y valores conocidos

De mediciones en campo, por la geometría de la cámara de combustión de la cocina a leña y por propiedades de los materiales se obtiene:

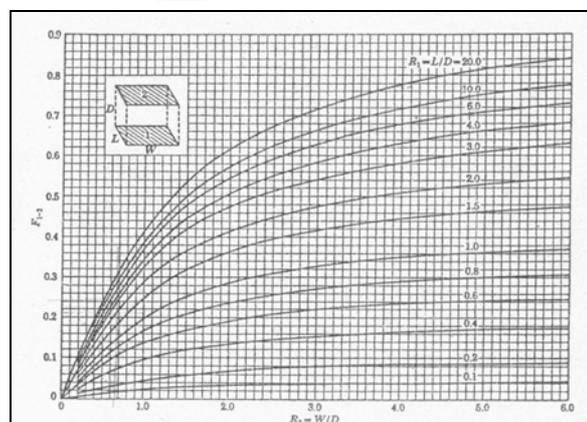
| | | | |
|--------------------------|----------|--------------------|--------|
| ρ rofundidad cámara | = 0.55m | $\epsilon_{Leña}$ | = 0.8 |
| Alto cámara | = 0.25m | ϵ_{Acero} | = 0.65 |
| Ancho cámara | = 0.3m | ϵ_{Adobe} | = 0.8 |
| T_1 | = 700°C | ϵ_{Acero} | = 0.65 |
| T_2 | = 62.5°C | | |

f) Cálculos realizados

Conociendo la geometría de la cámara de combustión de **D3.8**, **D.3.9** y **D.3.10** procederemos a hallar los factores de forma para ello utilizamos las siguientes graficas



FACTOR DE FORMA EN RECTÁNGULOS PERPENDICULARES QUE TIENE BORDE COMÚN.
ILUSTRACIÓN IV. 12



FACTOR DE FORMA EN RECTÁNGULOS PARALELOS Y OPUESTOS
ILUSTRACIÓN IV. 13

$$F_{AD} = 0.219 \qquad F_{AB} = 0.333 \qquad F_{DB} = 0.262$$

Primero de IV.3.8 tenemos:

$$\begin{array}{lll} F_{BC} = 0.115 & F_{BE} = 0.115 & F_{BF} = 0.219 \\ F_{AC} = 0.115 & F_{AE} = 0.115 & F_{AF} = 0.219 \\ F_{DC} = 0.116 & F_{DE} = 0.116 & F_{DF} = 0.243 \end{array}$$

Donde finalmente:

$$\begin{array}{lll} \boxed{F_{12} = 0.219} & \boxed{F_{14} = 0.333} & \boxed{F_{24} = 0.262} \\ \boxed{F_{43} = 0.449} & \boxed{F_{13} = 0.449} & \boxed{F_{23} = 0.475} \end{array} \qquad \text{IV.3.15}$$

Segundo procedemos a hallar las resistencias de superficies, en la ecuación IV.3.7 reemplazamos los valores de IV.3.15 así tenemos:

$$\begin{array}{ll} R_2 = \frac{1}{0,165 \cdot 0.219} = 27.674\text{m}^{-2} & R_6 = \frac{1}{0.165 \cdot 0.449} = 13.498\text{m}^{-2} \\ R_4 = \frac{1}{0.165 \cdot 0.333} = 18.200\text{m}^{-2} & R_7 = \frac{1}{0.165 \cdot 0.449} = 13.498\text{m}^{-2} \\ R_5 = \frac{1}{0.137 \cdot 0.262} = 27.758\text{m}^{-2} & R_8 = \frac{1}{0.137 \cdot 0.475} = 15.311\text{m}^{-2} \end{array} \qquad \text{IV.3.16}$$

Tercero hallamos las resistencias del circuito delta (Δ), en la ecuación IV.3.9 reemplazamos los valores de IV.3.16 así tenemos:

$$\begin{array}{l} R_A = \frac{13.498 \cdot 13.498 + 15.311 \cdot 13.498 + 13.498 \cdot 15.311}{15.311} = 38.896\text{m}^{-2} \\ R_B = \frac{13.498 \cdot 13.498 + 15.311 \cdot 13.498 + 13.498 \cdot 15.311}{13.498} = 44.120\text{m}^{-2} \\ R_C = \frac{13.498 \cdot 13.498 + 15.311 \cdot 13.498 + 13.498 \cdot 15.311}{13.498} = 44.120\text{m}^{-2} \end{array} \qquad \text{IV.3.17}$$

Cuarto hallamos las resistencias del circuito final, en la ecuación IV.3.10 reemplazamos los valores de IV.3.16 y IV.3.17 así tenemos

$$R_x = \frac{18.200 \cdot 38.895}{18.200 + 38.895} = 12.399 \text{m}^{-2}$$

$$R_y = \frac{27.674 \cdot 44.120}{27.674 + 44.120} = 17.007 \text{m}^{-2}$$

$$R_z = \frac{27.758 \cdot 44.120}{27.758 + 44.120} = 17.038 \text{m}^{-2} \quad \text{IV.3.18}$$

Quinto, de la gráfica hallamos las resistencias espaciales

$$R_\theta = \frac{1 - 0.8}{0.8 \cdot 0.165} = 1.515 \text{m}^{-2}$$

$$R_\alpha = \frac{1 - 0.65}{0.65 \cdot 0.137} = 3.747 \text{m}^{-2}$$

$$R_\beta = \frac{1 - 0.65}{0.65 \cdot 0.265} = 3.263 \text{m}^{-2} \quad \text{IV.3.19}$$

También hallamos las potencias emisivas de IV.3.11 tenemos:

$$e_{b1} = 5.6697 \cdot 10^{-8} \cdot (273 + 700)^4 = 50817.28 \text{ W/m}^2$$

$$e_{b2} = 5.6697 \cdot 10^{-8} \cdot (273 + 62.5)^4 = 718.34 \text{ W/m}^2$$

$$e_{b4} = 5.6697 \cdot 10^{-8} \cdot (273 + 100)^4 = 1097.48 \text{ W/m}^2 \quad \text{IV.3.20}$$

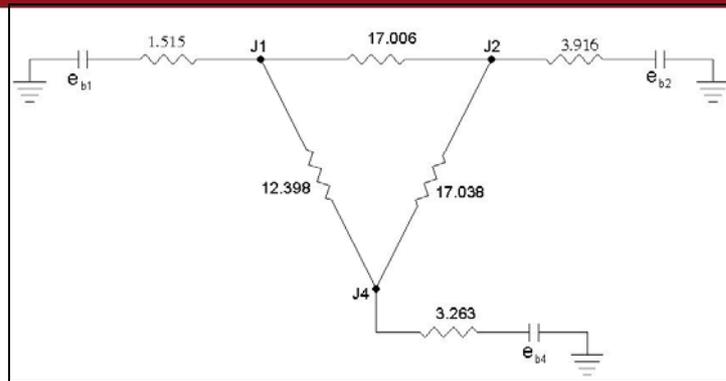
Finalmente podemos hallar los potenciales J_1 , J_2 y J_4 , resolviendo la ecuación IV.3.14 en simultáneo y reemplazando los valores de IV.3.18, IV.3.19 y IV.3.20, tenemos:

$$J_1 = 43576.11 \text{ W/m}^2$$

$$J_2 = 8657.42 \text{ W/m}^2$$

$$J_4 = 9778.56 \text{ W/m}^2 \quad \text{IV.3.21}$$

En la analogía de la red el calor viene a ser representado por el flujo de corriente que fluye desde la fuente hacia el polo más cercano, así que el flujo de calor (Q) en este circuito



RED ELECTRICA SIMPLIFICADA (FINAL)
ILUSTRACIÓN IV. 14

Entonces:

$$Q_{Leña} = \frac{e_{b1} - J_1}{R_\theta} \quad Q_{Inter..calor} = \frac{J_2 - e_{b2}}{R_\alpha} \quad Q_{Olla} = \frac{e_{b4} - J_4}{R_\beta}$$

Remplazando de IV.3.19, IV.3.20 y IV.3.21 en la ecuación anterior:

$$Q_{Leña} = 4779.16W$$

Flujo negativo

$$Q_{Inter_Calor} = 2119.03W$$

Flujo Positivo

$$Q_{Olla} = 2660.1W$$

Flujo Positivo

Siendo Q_{inter_calor} el flujo de calor que recibe el intercambiador de calor por el mecanismo de radiación, donde:

$$Q_{Inter_Calor} \approx Q_{12} = 2119.03W$$

Para comprobar si la longitud L , temperatura T_3 que asumimos al hallar el flujo de Calor por conveccion es la correcta, el calor Q_{12} debe ser aproximadamente igual a Q_n (ecuación IV 3.6), donde

$$Q_n \approx Q_{12} \approx Q_{23} \approx Q_{34}$$

$$Q_{12} = 2119.03W$$

$$Q_n = 2118.3W$$

Donde:

$$Q_{12} \approx Q_{3A}$$

En conclusión tanto la dimensión L como la temperatura T_3 , T_2 son las correctas ya que cumplen con todas las suposiciones.

$$L=0.55 \text{ m}$$

$$T_3=61.4^\circ\text{C}$$

$$T_2=62.5^\circ\text{C}$$

Este resultado se realizó previamente con varias iteraciones en un programa de Excel que se detalla en los anexos

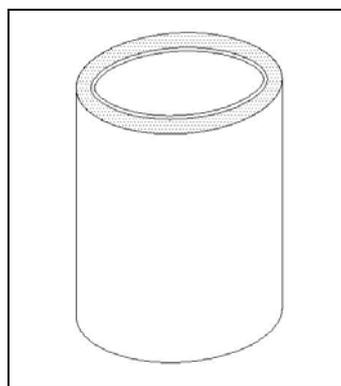
4. CALCULO DEL ESPESOR DEL AISLAMIENTO EN EL TANQUE DE ALMACENAMIENTO

A) Descripción del problema

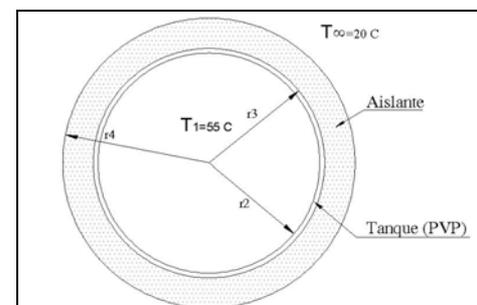
En esta parte del trabajo se calculará el espesor óptimo del aislante en el tanque de almacenamiento que cumpla con las exigencias térmicas que plantearémos a continuación.

El tanque de almacenamiento es de PVC tendrá una capacidad de almacenamiento de 80 litros, cuya altura es de 70 cm y diámetro interno de 45 cm. con 0.5 cm. de espesor, el tanque contendrá inicialmente agua a 60°C de temperatura se requiere el sistema de aislamiento mantenga el agua a una temperatura final de 50°C , luego de 12 horas de intercambio de calor con el medio ambiente que se encontrará a una temperatura de 15°C .

En la figura mostramos el tanque de almacenamiento y como será instalado el aislante, allí observamos que el aislante estará en toda la superficie lateral del tanque también el aislante se colocará en la parte superior encima de la “tapa”, la siguiente figura se muestra como están designadas las variables para resolver el problema, que detallamos a continuación



TANQUE DE ALMACENAMIENTO
ILUSTRACIÓN IV. 14



SECCION DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO
ILUSTRACIÓN IV. 15

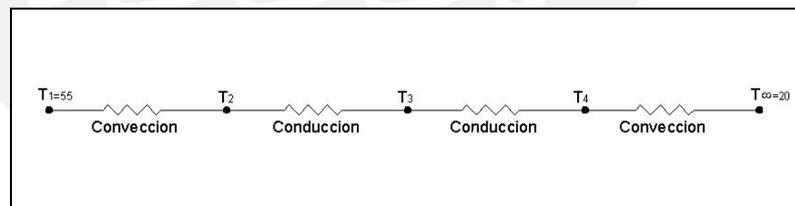
Donde:

| Numero | Sección |
|----------|--|
| 1 | Parte interior del tanque de almacenamiento. |
| 2 | Superficie interior del tanque de almacenamiento. |
| 3 | Superficie exterior el tanque de almacenamiento y superficie interior del aislamiento. |
| 4 | Superficie exterior del aislamiento. |
| ∞ | Medio ambiente |

Nota: El tanque de almacenamiento no es un recipiente cilíndrico si no es tronco cónico pero de muy suave conicidad, por esta razón se asume que es cilíndrico para facilitar los cálculos.

B) Método de solución

El espesor de aislante depende directamente de la cantidad de calor que se debe transmitir para cumplir con las exigencias, por ello debemos analizar los fenómenos de transferencia de calor que se produce en el las paredes del tanque de almacenamiento, el calor fluirá desde la parte interior del tanque hacia el medio ambiente ya que la temperatura del tanque de almacenamiento es mayor al del ambiente para graficar el proceso de transferencia utilizaremos la analogía de la red eléctrica³.



RED ELECTRICA EN EL TANQUE DE ALMACENAMIENTO
ILUSTRACIÓN IV. 16

Donde Los procesos de transferencia de calor que se producen entre los puntos son:

Q_{12} = Calor Transmitido por Conveccion Natural.

Q_{23} = Calor Transmitido por Conducción (PVC).

Q_{34} = Calor Transmitido por Conducción (Aislante).

$Q_{4\infty}$ = Calor Transmitido por Conveccion y Radiación.

También por el mecanismo de la red eléctrica sabemos que el flujo de calor es constante podemos decir que:

³ J.P. Holman, Transferencia De Calor 8ª Edicion (Madrid: McGraw-Hill / Interamericana de España S.A.U., 1998) Cap 2

$$Q_{12} = Q_{23} = Q_{34} = Q_{4\infty}$$

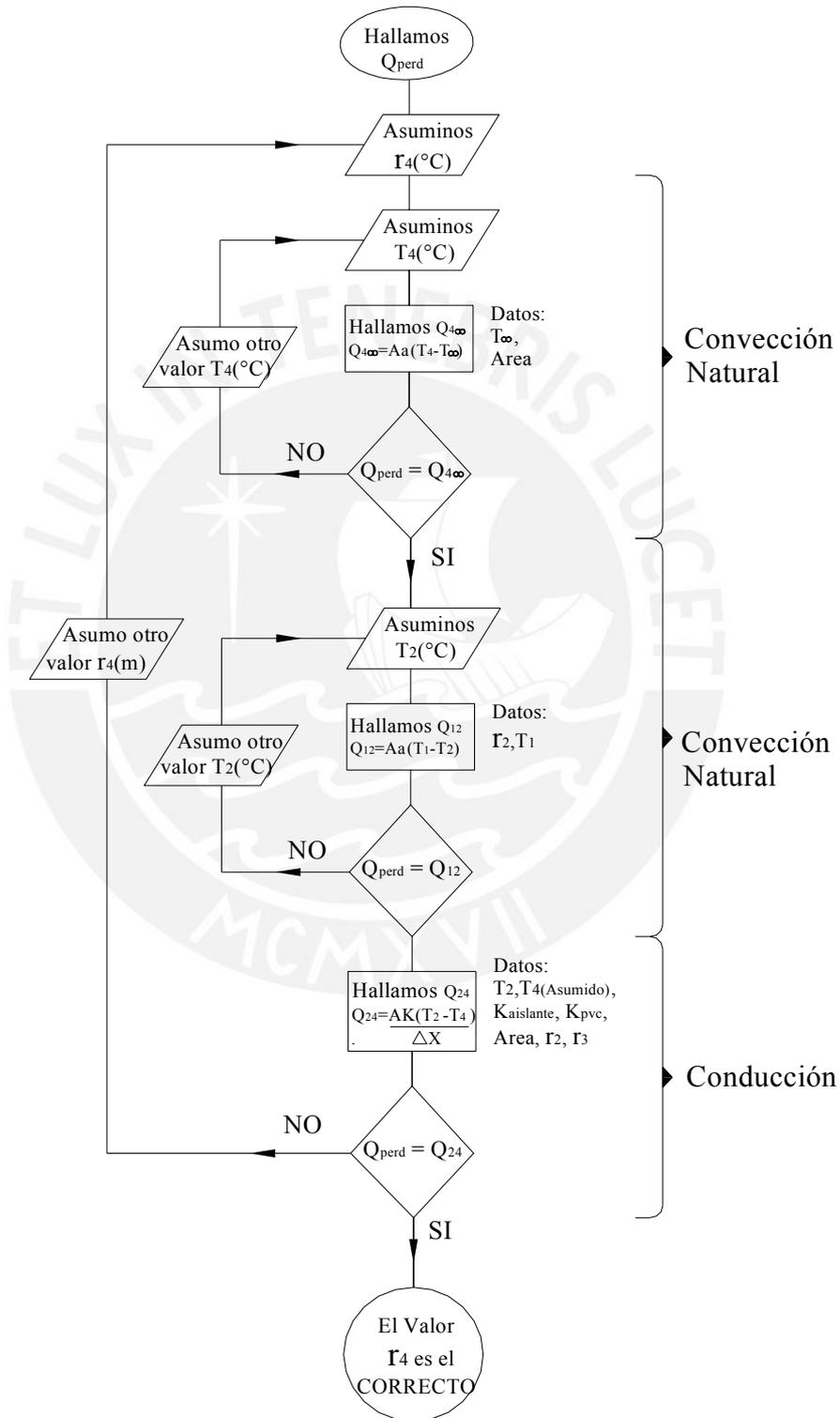
Nota: Para realizar los cálculos de transferencia de calor en el tanque de almacenamiento lo dividiremos en dos secciones el área lateral y area superior o tapa ya que cada uno de estos se rige por un distintas propiedades de transferencia de calor (conveccion, áreas horizontales y verticales). El aislamiento se colocara tanto en la parte lateral como en la tapa del tanque.

a) **Método de iteración**

Para hallar el espesor de aislante tenemos que hallar el radio exterior $r_4(\text{m})$, para resolver el problema usaremos el método de iteración donde modificaremos el valor de r_4 , hasta obtener los valores deseados que cumplan con las ecuaciones planteadas. Primero tenemos que calcular el flujo de calor que intercambia el agua del agua caliente del tanque de almacenamiento con el medio ambiente necesario para cumplir con las exigencias del problema, a dicho calor lo llamaremos $Q_{\text{perd}}(\text{kW})$. Luego asumiremos un valor de $r_4(\text{m})$, así podemos tener la geometría del área lateral y superior exterior del tanque de almacenamiento, entonces procedemos a analizar el proceso de transferencia de calor transmitido por convección natural $Q_{4\infty}(\text{kW})$, donde asumimos la temperatura de superficie exterior $T_4(^{\circ}\text{C})$. Con dicha temperatura podemos hallar $Q_{4\infty}$, en donde para comprobar que la temperatura T_4 es la correcta debe cumplirse que $Q_{4\infty} \approx Q_{\text{perd}}$ si no es así tomamos otro valor e iteramos varias veces hasta obtener el valor de temperatura que cumpla con la exigencia. Luego de hallar la temperatura T_4 analizamos el proceso de transferencia de calor transmitido por convección natural $Q_{12}(\text{kW})$ en donde asumiremos la temperatura de superficie interior $T_2(^{\circ}\text{C})$, con dicha temperatura podemos hallar el valor de Q_{12} el cual debemos comprobar que se cumpla que $Q_{12} \approx Q_{\text{perd}}$ de no cumplirse debemos asumir otro valor y volver a comprobar. Luego de hallar las temperaturas T_2 y T_4 tenemos que comprobar que el radio exterior r_4 asumido al principio es el correcto, para ello analizamos el proceso de transferencia transmitido por Conducción $Q_{24}(\text{W})$ teniendo de datos T_2 y T_4 y las propiedades del PVC y del aislante podemos hallar el calor Q_{24} y debe cumplirse que $Q_{24} \approx Q_{\text{perd}}$, de no cumplirse tenemos que tomar otro valor de radio exterior r_4 y volver a iterar todos los pasos anteriores, de cumplirse con dicha condición todos los valores asumidos serán los correctos. Donde el espesor de aislante será la diferencia entre r_4 y r_3 .

b) Diagrama de flujo del método de iteración

Aquí mostramos el diagrama de flujo para las iteraciones para encontrar las dimensión del espesor de aislante r_4 (m).



C) Ecuaciones empleadas

a) Calor perdido hacia el medio ambiente

$$Q_{perd} = \frac{m \cdot Cp \cdot (T_f - T_i)}{t} \quad \text{IV.4.1}$$

b) Ecuaciones del fenómeno de convección natural y radiación (4_{∞})

$$Q_{4_{\infty}L} = \alpha_{ext-L} \cdot \pi \cdot \phi_4 \cdot L \cdot (T_4 - T_{\infty}) \quad \text{IV.4.2}$$

$$Q_{4_{\infty}T} = \frac{\alpha_{ext-T} \cdot \pi \cdot \phi_4^2 \cdot (T_4 - T_{\infty})}{4} \quad \text{IV.4.3}$$

$$Q_{4_{\infty}} = Q_{4_{\infty}L} + Q_{4_{\infty}T} \quad \text{IV.4.4}$$

$$Gr = \frac{\delta^2 \cdot L^3 \cdot g \cdot \beta \cdot \Delta T}{\nu^2} \quad \text{IV.4.5}$$

$$\alpha_{ext-L-conv} = \frac{Nu \times k}{L} \quad \text{IV.4.6}$$

$$\alpha_{ext-L-radiacion} = \frac{\sigma \cdot \varepsilon \cdot (T_4^4 - T_{\infty}^4)}{T_4 - T_{\infty}} * T_n(^{\circ}K) \quad \text{IV.4.7}$$

c) Ecuaciones del fenómeno de convección natural (12)

$$Q_{12L} = \alpha_{int-L} \cdot \pi \cdot \phi_1 \cdot L \cdot (T_1 - T_2) \quad \text{IV.4.8}$$

$$Q_{12T} = \frac{\alpha_{int-T} \cdot \pi \cdot \phi_1^2 \cdot (T_1 - T_2)}{4} \quad \text{IV.4.9}$$

$$Q_{12} = Q_{12L} + Q_{12T} \quad \text{IV.4.10}$$

$$Gr = \frac{\delta^2 \cdot L^3 \cdot g \cdot \beta \cdot \Delta T}{\nu^2} \quad \text{IV.4.11}$$

$$\alpha_{int} = \frac{Nu \times k}{L} \quad \text{IV.4.12}$$

d) Ecuaciones del fenómeno de conducción (24)

$$Q_{24-L} = \frac{2 \cdot \pi \cdot L \cdot (T_2 - T_4)}{\frac{\ln\left(\frac{\phi_3}{\phi_2}\right)}{K_{PVC}} + \frac{\ln\left(\frac{\phi_4}{\phi_3}\right)}{K_{Aislante}}} \quad \text{IV.4.13}$$

$$Q_{24-T} = \frac{\pi \cdot r_2^2 \cdot (T_2 - T_4)}{\frac{\Delta X_{23}}{K_{PVC}} + \frac{\Delta X_{34}}{K_{Aislante}}} \quad \text{IV.4.14}$$

$$Q_{24} = Q_{24L} + Q_{24T} \quad \text{IV.4.15}$$

Para en la transferencia de calor debemos tener en cuenta que el calor se transfiere en forma constante por el intercambiador de calor en consecuencia

$$Q_{perd} = Q_{12} = Q_{24} = Q_{4\infty} \quad \text{IV.4.16}$$

Q_{perd} = Calor perdido hacia el medio ambiente, kW

Q_{12L} = Calor Transmitido conveccion natural por la parte lateral, kW

Q_{12T} = Calor Transmitido conveccion natural por la tapa, kW

Q_{24L} = Calor Transmitido por conducción por la parte lateral, kW

Q_{24T} = Calor Transmitido por conducción por la tapa, kW

$Q_{4\infty L}$ = Calor Transmitido por conveccion natural por la parte lateral, kW

$Q_{4\infty T}$ = Calor Transmitido por conveccion natural por la tapa, kW

Gr = Numero de Grashoff

Nu = Numero de Nusselt

α_c = Coeficiente de transferencia de calor por convección, W/m²°C

β = Coeficiente volumétrica de expansión térmica, 1/°C

μ = Viscosidad dinámica, N-s/m²

ρ = Densidad del fluido, kg/m³

L = Longitud característica, m

g = Aceleración de la gravedad, m/s²

T₁ = Temperatura del Agua, °C

T₂ = Temperatura interior del tanque de almacenamiento, °C

T₄ = Temperatura de la parte interior de la plancha

T_∞ = Temperatura del medio ambiente

L = Longitud característica, m

K_n = Conductividad térmica, W/m°C

σ = Constante de Stefan-Boltzman, $5.6697 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$

ϕ = Diámetro, m

D) Datos del problema

$$T_i = 60^\circ\text{C}$$

$$H = 0.7\text{m}$$

$$T_f = 50^\circ\text{C}$$

$$\phi_2 = 0.45$$

$$T_\infty = 15^\circ\text{C}$$

$$\phi_3 = 0.46$$

$$\text{Vol} = 80 \text{ litros}$$

E) Cálculo del espesor del aislante

a) Cálculo del calor perdido hacia el medio ambiente

Para hallar el espesor de aislante debemos saber cuál es el flujo de calor que pierde el agua por el intercambio con el medio ambiente, para cumplir con las exigencias que nos propusimos, dicho calor lo podemos hallar con la fórmula IV.4.1

$$Q_{\text{perd}} = \frac{m \cdot C_p \cdot (T_f - T_i)}{\text{tiempo}}$$

Datos:

$$T_i = 60^\circ\text{C}, T_f = 50^\circ\text{C}$$

Las propiedades del agua en el tanque de almacenamiento la tomaremos con la temperatura media del fluido

$$T_{\text{media}} = \frac{T_i + T_f}{2}, \quad T_{\text{media}} = \frac{60 + 50}{2} = 55$$

Propiedades del agua a T_{media}

$$\delta = 985.7 \text{ kg/m}^3$$

$$C_p = 4.182234 \text{ kJ/Kg}^\circ\text{C}$$

Donde el flujo de calor que se pierde es igual

$$Q_{\text{perd}} = \frac{0.08 \cdot 985.7 \cdot 4.18223 \cdot (60 - 50)}{12 \cdot 3600}$$

$$Q_{\text{perd}} = 0.0763411 \text{ kW}$$

b) Cálculo del flujo de calor por convección natural ($Q_{4\infty}$)

En el exterior del tanque de almacenamiento se produce el intercambio de calor regido por los fenómenos de convección y radiación, ya que solo conocemos la temperatura exterior 15°C para hallar la temperatura en dicho punto debemos asumir una temperatura y luego hallar el α_{ext} en dicho punto, si tenemos el α_{ext} y T_4 podemos hallar el flujo de calor por las formulas IV.4.2, IV.4.3, IV.4.5.

El flujo de calor que hallamos lo comparamos con el flujo de calor Q_{perd} hasta llegar a un valor similar en dicho momento las temperaturas asumidas será los correctos.

Para hallar el calor en el punto 4 tenemos que asumir el valor de r_4 ya que necesitamos el área de transferencia este valor lo comprobaremos al final del problema

$$r_4 = 0.26m(\text{asumida})$$

- Calor transferido a través del área lateral

Primero hallaremos el calor que fluye solo por la parte lateral del tanque de almacenamiento para ello asumiremos una temperatura 4

$$T_4 = 22.5^{\circ}\text{C}(\text{asumida})$$

$$T_{\text{film}} = \frac{T_{\infty} + T_4}{2} = \frac{15 + 22.5}{2} = 18.75^{\circ}\text{C}$$

Propiedades del aire a 18.75°C

$$C_p = 1.0054625 \text{ kJ/kg}^{\circ}\text{C}$$

$$\delta = 1.2093625 \text{ Kg/m}^3$$

$$\nu = 1.81331 \times 10^{-5} \text{ N-s/m}^2$$

$$k = 2.56148 \times 10^{-5} \text{ kW/m}^{\circ}\text{C}$$

$$P_r = 0.711774375$$

Para β tomamos la temperatura del fluido 15°C

$$\beta = 3.4722 \times 10^{-3}$$

Luego con esos datos hallamos el número de Grashof con la siguiente fórmula

$$Gr = \frac{\delta^2 \cdot L^3 \cdot g \cdot \beta \cdot \Delta T}{\nu^2}$$

Reemplazando tenemos:

$$Gr = \frac{1.2093625^2 \cdot 0.7^3 \cdot 9.8 \cdot 3.4722 \times 10^{-3} \cdot (18.75 - 15)}{(1.81331 \times 10^{-5})^2} = 389.367 \times 10^6$$

El criterio de Gebhart⁴ nos dice que las correlaciones para una placa plana vertical son válidas para cilindros verticales si el espesor de la capa limite es tan grande comparado con el diámetro del cilindro, lo podemos verificar si cumple con esta desigualdad

$$\frac{\phi}{L} \geq \frac{35}{Gr_L^{.25}}$$

Reemplazando tenemos:

$$\frac{0.52}{0.7} \geq \frac{35}{389367188.1^{.25}}$$

$$0.7428 \geq 0.2491$$

Cumple el criterio de Gebhart por lo tanto podemos utilizar las correlaciones para placas verticales

$$Gr \times Pr = 389.367 \times 10^6 \cdot 0.71177 = 277.141 \times 10^6$$

El proceso se realiza en el régimen laminar ya que:

$$10^4 \leq Gr \times Pr \leq 10^9$$

Entonces el número de Nusselt para placas verticales lo hallamos⁵

$$Nu = 0.59(Gr \times Pr)^{0.25}$$

Donde:

$$Nu = 0.59(277.141 \times 10^6)^{0.25} = 76.125$$

Para hallar el $\alpha_{\text{ext-L-conv}}$ tenemos la ecuación **IV.4.6** donde:

⁴ J.P. Holman, Transferencia De Calor 8ª Edición (Madrid: McGraw-Hill / Interamericana de España S.A.U., 1998) pag.236

⁵ Ibid Tabla 7.1

$$\alpha_{\text{ext-L-conv}} = \frac{76.125 \cdot 2.561 \times 10^{-5}}{0.7} = 2.785605 \times 10^{-3} \text{ kW/m}^2 \cdot \text{C}$$

Para hallar el $\alpha_{\text{ext-L-radiacion}}$ tenemos la ecuación IV.4.7 donde:

$$\alpha_{\text{ext-L-radiacion}} = \frac{5.6697 \times 10^{-8} \cdot 0.8 \left((22.5 + 273)^4 - (15 + 273)^4 \right)}{22.5 - 15} = 4.506241 \times 10^{-3} \text{ kW/m}^2 \cdot \text{C}$$

Entonces

$$\alpha_{\text{ext-L}} = 0.0027856050 + 0.004506241$$

$$\alpha_{\text{ext-L}} = 0.0072918 \text{ kW/m}^2 \cdot \text{C}$$

Por lo tanto el flujo de calor lo hallamos:

$$Q_{4\infty L} = 0.0072918 \cdot \pi \cdot 0.525 \cdot 0.7 \cdot (22.5 - 15)$$

$$Q_{4\infty L} = 6.25390 \times 10^{-2} \text{ kW}$$

- Calor transferido a través de la parte superior (tapa)

Para la parte superior o tapa consideramos convección libre en una placa horizontal cuyo lado caliente se encuentre en la parte de arriba, aplicaremos las estas correlaciones para hallar el $\alpha_{\text{ext-T}}$ y así el flujo de calor evacuado por dicha parte.

Nota: Para hallar el número de Grashof, y Nusselt tenemos q evaluar tomando la dimensión característica “L” para una placa circular. ⁶

$$L = 0.9 \cdot \phi_{\text{ext}}$$

En esta parte también asumiremos una temperatura del mismo modo que lo hicimos al realizar los cálculos para la parte lateral del tanque así que

$$T_4 = 22.5^\circ \text{C} (\text{asumida})$$

Ya que todo el tanque de almacenamiento (parte lateral y tapa) se encontrara a la misma temperatura

⁶ J.P. Holman, Transferencia De Calor 8ª Edicion (Madrid: McGraw-Hill / Interamericana de España S.A.U., 1998) pag. 242

$$T_{film} = \frac{T_{\infty} + T_4}{2} = \frac{22.5 + 15}{2} = 18.75^{\circ}C$$

Tomamos las mismas propiedades del aire a $22.5^{\circ}C$ que en la parte lateral
Así hallamos por la ecuación IV.4.5 el número de Grashof donde:

$$L = 0.9 \cdot 0.52 = 0.468m$$

$$Gr = \frac{1.2093^2 \cdot 0.468^3 \cdot 9.8 \cdot 3.4722 \times 10^{-3} \cdot (22.5 - 15)}{(1.81331 \times 10^{-5})^2} = 1116.359 \times 10^6$$

Para hallar el coeficiente de conveccion

$$Gr \times Pr = 82.821 \times 10^6$$

El proceso se encuentra en un rango turbulento

$$2 \times 10^7 \leq Gr \times Pr \leq 3 \times 10^{10}$$

Donde utilizaremos las correlaciones por placas horizontales donde la cara inferior es la caliente⁷

$$Nu = 0.13(Gr \times Pr)^{0.3333}$$

$$Nu = 0.13(82.821 \times 10^6)^{0.3333} = 61.0252$$

Una vez hallado el número de Nussel podemos usar la ecuación IV.4.6 para hallar el $\alpha_{ext-T-conv}$

$$\alpha_{ext-T-conv} = \frac{61.0252 \times 2.56148 \times 10^{-5}}{0.468} = 3.340058 \times 10^{-3} kW/m^2 \cdot ^{\circ}C$$

Para hallar el $\alpha_{ext-L-radiacion}$ tenemos la ecuación IV.4.7:

$$\alpha_{ext-L-radiacion} = \frac{5.6697 \times 10^{-8} \cdot 0.8 \left((22.5 + 273)^4 - (15 + 273)^4 \right)}{22.5 - 15} = 4.506241 \times 10^{-3} kW/m^2 \cdot ^{\circ}C$$

Entonces el α_{ext-T} seria:

$$\alpha_{ext-T} = 3.340058 \times 10^{-3} + 4.506241 \times 10^{-3}$$

$$\alpha_{ext-T} = 7.846299 \times 10^{-3} kW/m^2 \cdot ^{\circ}C$$

⁷ J.P. Holman, Transferencia De Calor 8ª Edicion (Madrid: McGraw-Hill / Interamericana de España S.A.U., 1998) pag.242

De IV.4.3 tenemos que el flujo de calor en la parte superior o tapa es:

$$Q_{4\infty T} = \frac{7.846299 \times 10^{-3} \cdot \pi \cdot 0.52^2 \cdot (22.5 - 15)}{4} = 1.2497516 \times 10^{-2} \text{ kW}$$

Finalmente de IV.4.4 tenemos que:

$$Q_{4\infty} = 6.2539 \times 10^{-2} + 1.2497 \times 10^{-2}$$

$$Q_{4\infty} = 7.5036 \times 10^{-2} \text{ kW}$$

Donde comparando con el flujo de calor que deseamos obtener

$$Q_{4\infty} \approx Q_{\text{perd}} = 7.6341 \times 10^{-2} \text{ kW}$$

Con ello comprábamos que las temperaturas y los diámetros asumidos son los correctos

$$\phi_4 = 0.52 \text{ m (asumida)}$$

c) Cálculo del flujo de calor por convección natural (Q_{12})

En el interior del tanque de almacenamiento (punto 2) se produce el intercambio de calor regido por el fenómeno de convección, conocemos la temperatura media del agua dentro del tanque 55°C , para hallar la temperatura en la superficie del tanque debemos asumir una temperatura de superficie interna y luego hallar el α_{int} en dicho punto, si tenemos el α_{int} y la temperatura de la superficie interior del tanque podemos hallar el flujo de calor por las ecuaciones **IV.4.8, IV.4.9, IV.4.10**.

El flujo de calor que hallamos lo comparamos con el flujo de calor que hallamos inicialmente hasta llegar a un valor similar; en dicho momento las temperaturas asumidas y el α_{ext} serán los correctos.

$$Q_{\text{perd}} \approx Q_{12}$$

- Calor evacuado a través del área lateral

Primero hallaremos el calor que fluye solo por la parte lateral del tanque de almacenamiento para ello asumiremos una temperatura de superficie interna

$$T_2 = 54.6C(\text{asumida})$$

$$\phi_2 = 0.45m$$

$$T_{film} = \frac{T_1 + T_2}{2} = \frac{55 + 54.6}{2} = 54.8^\circ C$$

Propiedades del agua a $54.8^\circ C$

$$C_p = 4.1821 kJ/kg^\circ C$$

$$\delta = 985.793 Kg/m^3$$

$$\nu = 5.067 \times 10^{-4} N \cdot s/m^2$$

$$k = 6.460 \times 10^{-4} kW/m^\circ C$$

$$Pr = 3.2807$$

Para β tomamos la temperatura del fluido $55^\circ C$

$$\beta = 4.9 \times 10^{-4}$$

Luego con esos datos hallamos el número de Grashof con la formula IV.4.11 donde reemplazando tenemos:

$$Gr = \frac{985.793^2 \cdot 0.7^3 \cdot 9.8 \cdot 4.9 \times 10^{-4} \cdot (55 - 54.6)}{(5.067 \times 10^{-4})^2} = 2.49315 \times 10^9$$

Por el criterio de Gebhart tenemos:

$$\frac{\phi}{L} \geq \frac{35}{Gr_L^{.25}}$$

Reemplazando tenemos:

$$\frac{0.45}{0.7} \geq \frac{35}{(2.49315 \times 10^9)^{0.25}}$$

$$0.642 \geq 0.156 \quad \checkmark$$

Cumple el criterio de Gebhart por lo tanto podemos utilizar las correlaciones para placas verticales

$$Gr \times Pr = 2.49315 \times 10^9 \cdot 3.2807 = 8.1794 \times 10^9$$

El proceso se realiza en el régimen turbulento ya que:

$$10^9 \leq Gr \times Pr \leq 10^{13}$$

Entonces el numero de Nusselt lo hallamos⁸

$$Nu = 0.1(Grx Pr)^{1/3}$$

Donde:

$$Nu = 0.1(8.1794 \times 10^9)^{1/3} = 201.48$$

Para hallar el $\alpha_{\text{int-L}}$ tenemos:

$$\alpha_{\text{int-L}} = \frac{Nu \times k}{L}$$

donde:

$$\alpha_{\text{int-L}} = \frac{201.48 \cdot 6.460 \times 10^{-4}}{0.7} = 0.1859 \text{ kW/m}^2\text{°C}$$

$$\alpha_{\text{int-L}} = 0.1859 \text{ kW/m}^2\text{°C}$$

Por lo tanto el flujo de calor lo hallamos:

$$Q_{12L} = 0.1859 \cdot \pi \cdot 0.45 \cdot 0.7 \cdot (55 - 54.6)$$

$$Q_{12L} = 0.07360 \text{ kW}$$

- Calor evacuado a través de la parte superior (tapa)

Para la parte superior o tapa consideramos convección libre en una placa horizontal cuyo lado caliente se encuentre en la parte inferior, aplicaremos las estas correlaciones para hallar el $\alpha_{\text{int-T}}$ y así el flujo de calor evacuado por dicha parte.

Nota: Para hallar el numero de Grashof, y Nusselt tenemos q evaluar tomando la dimensión característica “L” para una placa circular.

$$L = 0.9 \cdot \phi_{\text{ext}}$$

En esta parte también asumiremos una temperatura del mismo modo que lo hicimos al realizar los cálculos para la parte lateral del tanque así que

$$T_2 = 54.6^\circ\text{C}(\text{asumida})$$

⁸ Ibid Tabla 7.1

Ya que todo el tanque de almacenamiento (parte lateral y tapa) se encontrara a la misma temperatura

$$T_{film} = \frac{T_1 + T_{24}}{2} = \frac{55 + 54.6}{2} = 54.8^\circ C$$

Tomamos las mismas propiedades del fluido a $54.8^\circ C$ que en la parte lateral y para β tomamos la temperatura del fluido $55^\circ C$

Así hallamos el número de Grashof de la ecuación IV.4.11 donde:

$$L = 0.9 \cdot 0.45 = 0.405m$$

$$Gr = \frac{985.793^2 \cdot 0.405^3 \cdot 9.8 \cdot 4.9 \times 10^{-4} \cdot (55 - 54.6)}{(5.067 \times 10^{-4})^2} = 4.829E \times 10^8$$

Para hallar el coeficiente de convección

$$Gr \times Pr = 1.584 \times 10^9$$

Donde la correlación cuando la superficie caliente está mirando hacia abajo y se encuentre en el siguiente rango⁹:

$$10^6 \leq Gr \times Pr \leq 10^{11}$$

Utilizaremos

$$Nu = 0.58(Gr \times Pr)^{1/5}$$

$$Nu = 0.58(1.584 \times 10^9)^{1/5} = 40.122$$

Una vez hallado el número de Nussel podemos hallar con la ecuación IV.4.12 el

α_{int-T}

$$\alpha_{int-T} = \frac{40.122 \times 6.460 \times 10^{-4}}{0.405} = 0.06399 kW/m^2 \cdot ^\circ C$$

$$\alpha_{int-T} = 0.06399 kW/m^2 \cdot ^\circ C$$

De IV.4.9 tenemos que el flujo de calor en l parte superior o tapa es:

⁹ Ibid pag 242

$$Q_{12-r} = \frac{0.06399 \cdot \pi \cdot 0.45^2 \cdot (55 - 54.75)}{4} = 4.071 \times 10^{-3} \text{ kW}$$

Finalmente de IV.4.10 tenemos que:

$$Q_{12} = 7.3603659 \times 10^{-2} + 4.071 \times 10^{-3} = 0.0776 \text{ kW}$$

Donde comparando con el flujo de calor que deseamos obtener

$$Q_{12} \approx Q_{perd} = 0.0776 \text{ kW}$$

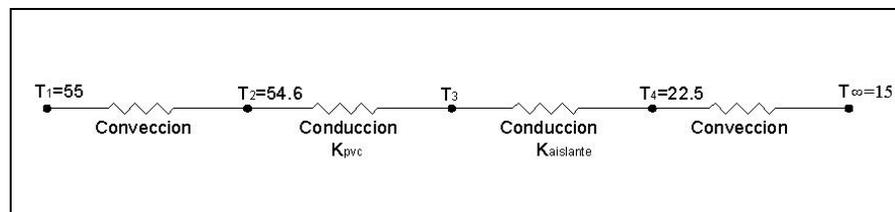
Con ello comprábamos que las temperaturas T_2 asumida es la correcta

$$T_2 = 54.6^\circ\text{C}$$

d) Cálculo del flujo de calor por conducción (Q_{24})

En esta parte comprobaremos el diámetro del aislante que asumimos al principio es el correcto, con las temperaturas asumidas (T_2 , T_4), el diámetro \hat{O}_4 podemos hallar el calor de conducción Q_{24} , si se cumple que $Q_{24} \approx Q_{perd}$ entonces tanto el diámetro como todas las temperaturas asumidas anteriormente serán las correctas.

A continuación mostramos el gráfico de la red eléctrica del flujo de calor con los valores ya encontrados:



RED ELECTRICA EN EL TANQUE DE ALMACENAMIENTO (FINAL)
ILUSTRACIÓN IV. 17

Entre el punto 2 y 4 se produce el intercambio de calor regido por el fenómeno de conducción, conocemos la temperatura de la superficie interior del tanque es de $T_2=54.6$ y la temperatura de la superficie exterior del tanque es de $T_4=22.5$,

también sabemos q el espesor del tanque $X_{23}=5\text{mm}$ podemos hallar el flujo de calor por las siguientes ecuaciones IV.4.13, IV.4.14, IV.4.15.

- Elección del aislante

El aislante que utilizaremos en este caso será lana de oveja ya que cumple con las características térmicas (baja conductividad, temperatura limite), facilidad de montaje, resistencia ambiental y lo más importante y fundamental de la elección el bajo costo a comparación de otros aislantes industriales (Fibra de vidrio, poliuretano, lana mineral, etc.), ya que lo podemos considerar un producto de muy bajo costo o inclusive lo podemos considerarlo gratis para el poblador rural, los aislantes de uso industrial no estarían al alcance de los pobladores por lo alejado de las zonas urbanas que se encuentran, así como la carencia de recursos económicos del poblador rural lo que hace muy difícil la obtención de estos recursos. Bajo este contexto la lana de oveja es la opción mas adecuada.

- Calculo del espesor de aislante en la parte lateral

Como mencionamos anteriormente comprobaremos el diámetro exterior del tanque asumido en la primera parte para ello tenemos los siguientes datos

$$K_{plastico} = 0.33W/m^{\circ}C$$

$$K_{Lana} = 0.059W/m^{\circ}C$$

$$\phi_2 = 0.45m$$

$$\phi_3 = 0.46m$$

$$\phi_4 = 0.52m(\text{asumida})$$

Reemplazando en la ecuación tenemos:

$$Q_{24-L} = \frac{2 \cdot \pi \cdot 0.7 \cdot (54.6 - 22.5)}{\frac{\ln\left(\frac{0.46}{0.45}\right)}{0.33 \times 10^{-3}} + \frac{\ln\left(\frac{0.52}{0.46}\right)}{0.059 \times 10^{-3}}}$$

Donde el flujo de calor de la parte lateral es:

$$Q_{24-L} = 6.583 \times 10^{-2} kW$$

- Calculo del espesor de aislante en la parte superior (tapa)

El espesor de aislante que utilizaremos será igual al de la parte lateral 0.03m del mismo material de esta manera reemplazando los valores Reemplazando en la ecuación tenemos

$$Q_{24-T} = \frac{\pi \cdot 0.52^2 \cdot (54.6 - 22.5)}{\frac{0.005}{0.33 \times 10^{-3}} + \frac{0.03}{0.059 \times 10^{-3}}}$$

Donde el flujo de calor es

$$Q_{24-T} = 9.7499 \times 10^{-3} \text{ kW}$$

Hallamos el flujo de calor entre el punto 2 y 4 es igual a

$$Q_{24} = 6.583 \times 10^{-2} + 9.7499 \times 10^{-3}$$

$$\dot{Q}_{24} = 7.5581 \times 10^{-2} \text{ kW}$$

Donde comparando con el flujo de calor que deseamos obtener

$$Q_{24} \approx Q_{perd} = 0.0755 \text{ kW}$$

Con ello comprobamos que el espesor de aislante (lana de oveja) asumido es el correcto ya que se cumplen todas las suposiciones.

$$\begin{array}{l} T_2 = 54.6^\circ\text{C} \\ T_4 = 22.5^\circ\text{C} \\ \text{Espesor}_{\text{aislante}} = 0.03\text{m} \end{array}$$

Este resultado se realizó previamente con varias iteraciones en un programa de Excel que se detalla en los anexos

V) INSTRUCCIONES DE FABRICACION

1) INTERCAMBIADOR DE CALOR

La fabricación de este intercambiador de calor podrá ser hecha en cualquier taller mecánico que cuente con equipo básico de soldadura. Este prototipo fue realizado íntegramente en el taller mecánico de la Sección de Ingeniería Mecánica de la Pontificia Universidad Católica del Perú. Para la fabricación del intercambiador de calor de las siguientes dimensiones 550x250x70 (Largo x Alto x Ancho). Para realizar el intercambiador de calor se necesitan los siguientes materiales:

- 1 Plancha de Acero Estructural ASTM A36 de 4mm de 710mm de largo x 6120mm de Ancho
- 1 Tubo de Acero LAC ISO 65 de $\frac{3}{4}$ " x 300mm de largo

A) Procedimiento de fabricación

a) Trazado y corte

Al obtener una plancha de acero primero deberá ser trazada y luego cortada de acuerdo las dimensiones del siguiente grafico.

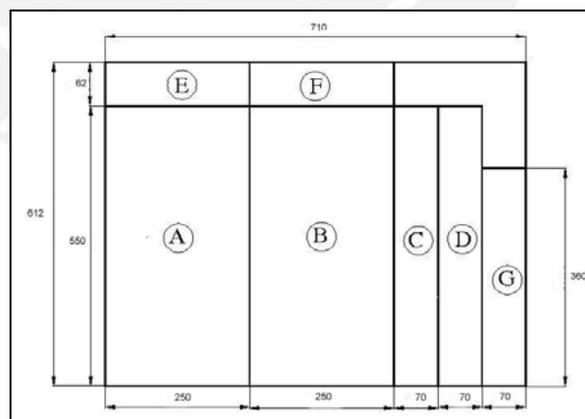


DIAGRAMA DEL CORTE DE LA PLANCHA
ILUSTRACIÓN V.1

En el tubo de Acero LAC ISO 65 de $\frac{3}{4}$ " x 300mm de largo se debe realizar un corte a la mitad de largo para así obtener dos tubos de 150mm, luego de ser cortados los tubos se realizar un roscado exterior en un borde de cada uno de ellos.

Nota: dentro del intercambiador de calor se instalara una placa divisora para evitar tanto la formación de burbujas como las turbulencias al momento de ingresar el agua en el interior de este. También se formara un circuito favorable al sistema del termosifón dando la dirección adecuada al flujo de agua, garantizando que toda el agua que ingresa al interior siga el circuito y no se genere puntos de ebullición en zonas donde el agua no se desplazó o quede atrapada, dicha placa se instala de tal forma que no cree restricciones en el flujo.

A partir de estas secciones se formará el intercambiador de calor en forma de paralelepípedo. Las letras nos proporcionan la ubicación de las secciones cortadas en el intercambiador de calor (Tabla V.1); a continuación mencionamos su posición:

| LETRA | SECCIÓN |
|-------|-------------------------|
| A | Parte frontal |
| B | Parte posterior |
| C | Parte superior |
| D | Parte Inferior |
| E | Parte Lateral Derecha |
| F | Parte Lateral Izquierda |
| G | Placa divisora |

DISTRIBUCION DE LAS PARTES CORTADAS
TABLA V. 1

Finalmente a la plancha de la parte lateral derecha se le deben realizar 2 agujeros de $\frac{3}{4}$ " para unir los tubos de acero, de acuerdo al plano.



PLANCHA DE ACERO DESPUÉS DEL CORTE
ILUSTRACIÓN V. 2

b) Proceso de soldadura

Luego que la plancha de acero está cortada se procederá a la unión de éstas por medio de soldadura, de acuerdo a la especificación técnica que mostramos a continuación.

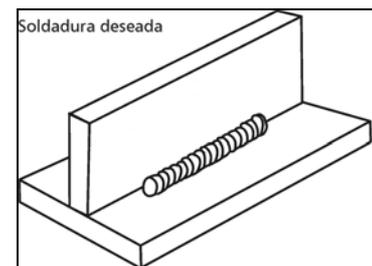
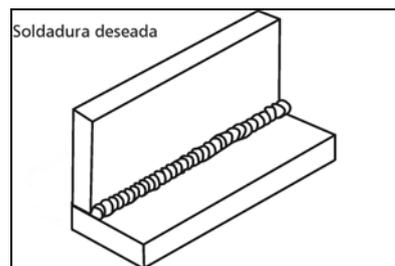
ESPECIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTO

Proceso _____ GMAW _____
 Material _____ ASTM A36 (Acero Estructural) _____
 Espesor de pared _____ 4 mm _____
 Diseño de junta _____ Junta a Filete _____

Metal de aporte

Especificación AWS _____ AWS A5.18-93 _____
 Clasificación AWS _____ ER70S - 6 _____

Numero de Cordones _____ 1 _____
 Posición _____ Posición Plana _____
 Dirección de soldadura _____ A la Derecha _____
 Numero de soldadores _____ 1 _____
 Tiempo entre pases _____ 3 min. Max _____
 Limpieza y/o esmerilado _____ 1 pase.: Disco de corte, resto escobilla _____
 Precalentamiento / alivio de tensiones _____ N. A. _____
 Gas de protección y Caudal _____ 80% Argon, 20% CO₂ _____
 Fundente de protección _____ N. A. _____
 Velocidad de soldadura _____ Ver tabla _____
 Ensayado _____ Soldador _____
 Aprobado _____ Carlos Mendoza Ruiz _____



Dimensiones de los Electrodo y N° de Pases

| N° de pase | Proceso | Diámetro del Alambre | Amperaje | Voltaje | Velocidad de Alambre |
|------------|---------|----------------------|----------|---------|----------------------|
| 1 | GMAW | 0.8mm | 130A | 20.9V | 9.6cm/min |

PROCESO DE SOLDADURA
TABLA V.2

c) Etapas de la fabricación por soldadura

- **Primera etapa** En la primera etapa se soldaran la parte frontal (A) con la parte superior (C), parte inferior (D), parte lateral derecha (E), parte lateral izquierda (F). tal como se muestra en la figura.



UNION DE LA PARTE FRONTAL CON LOS LADOS LATERALES
ILUSTRACIÓN V.3

- **Segunda etapa** En esta parte se procederá a soldar las placa divisora (D) en el interior del intercambiador de calor



UNION DE LA PARTE FRONTAL CON LA PARTE INTERNA
ILUSTRACIÓN V. 4

- **Tercera etapa** Se procederá a soldar los tubos dos tubos de Acero LAC ISO 65 de $\frac{3}{4}$ " con la parte lateral derecha (E) en donde se realizaron los agujeros previamente



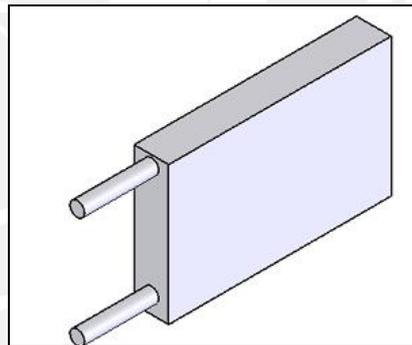
UNION DE LOS TUBOS CON LA PARTE LATERAL
ILUSTRACIÓN V.5

- **Cuarta etapa** Finalmente se procederá a soldar la parte posterior (B) para cerrar el intercambiador de calor



UNION DE LA PARTE POSTERIOR
ILUSTRACIÓN V.6

En el proceso de soldadura deberá prestar principal atención que el cordón de soldadura no tenga grietas, ya que el intercambiador de calor debe ser hermético para así garantizar que no existan fugas de agua.



INTERCAMBIADOR DE CALOR FINALIZADO
ILUSTRACIÓN V.7

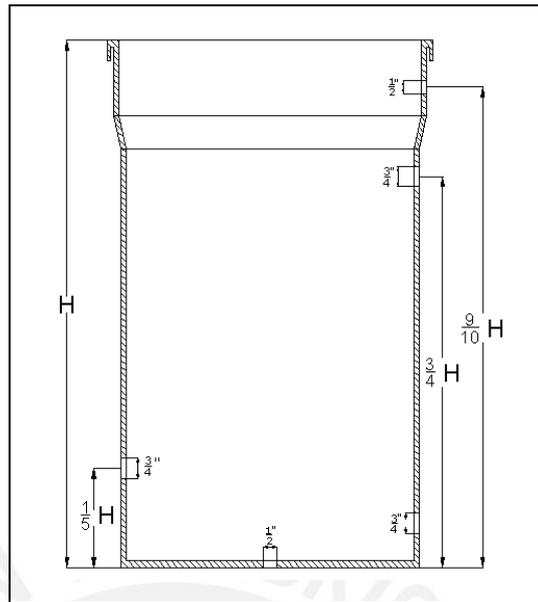
2) TANQUE DE ALMACENAMIENTO

Para la fabricación del tanque de almacenamiento se necesitará:

- 1 tanque cilindro entre 70 a 95 litros de que garantice un adecuado performance para contener agua hasta 85°C.
- 4 niples mixtos de $\frac{3}{4}$ " galvanizados, 8 sellos de $\frac{3}{4}$ ", 8 tuercas de $\frac{3}{4}$ "
- 1 Válvula cisterna $\frac{3}{4}$ ", con varilla y boya PVC

A) Procedimiento de fabricación

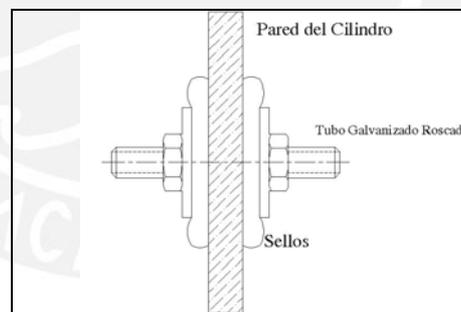
En nuestro caso utilizaremos un tanque de 90 litros, al cilindro se procederá a realizar 4 agujeros en las posiciones indicadas en la figura, los cuatro agujeros tendrán $\frac{3}{4}$ " de diámetro y es donde se realizarán las conexiones con las tuberías.



ALTURA DE LOS AGUJEROS EN EL TANQUE
ILUSTRACIÓN V.8

La altura de referencia H es la medida desde la parte inferior hasta la parte superior del tanque de almacenamiento.

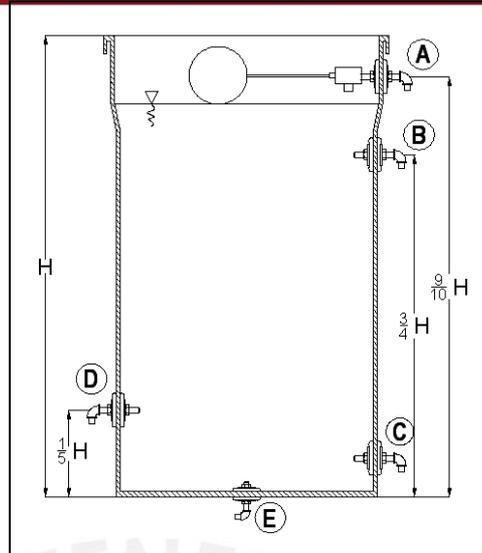
Para las conexiones en donde se unirán al tanque de almacenamiento las tuberías de agua (CPVP) se utilizarán el siguiente sistema:



CONEXIÓN ENTRE TUBERÍA Y LA PARED DEL TANQUE
ILUSTRACIÓN V.9

Este sistema cuenta con un niple de hierro galvanizado, dos tuercas, dos arandelas y dos sellos. Se debe asegurar que el ajuste de los pernos sea el adecuado para que se produzca la presión necesaria para garantizar que no existan fugas de agua en dicha unión.

Luego de realizar dichos agujeros en el tanque de almacenamiento se procederá a colocar el sistema de unión antes mencionado como se muestra en la siguiente figura.



UNION DE LAS TUBERIAS CON EL TANQUE
ILUSTRACIÓN V.10

En la figura mostramos las uniones y los tipos de conexiones que tendrá el tanque de almacenamiento las letras que están cercanos a ellos nos indican la clase de conexión tendrá y los mencionamos a continuación

| Letra | TIPO DE CONEXION |
|-------|---|
| A | Suministro de agua fría de la red |
| B | Agua Caliente del intercambiador de calor hacia el tanque |
| C | Agua Fría del Tanque Hacia el intercambiador de calor |
| D | Agua caliente par el consumo |
| E | Drenaje |

DISTRIBUCION DE LAS CONEXIONES
TABLA V.3

Como observamos la conexión “A” se utilizar una boya con una válvula, para así garantizar que el tanque de almacenamiento este siempre con un nivel adecuado de agua.



INSTALACIÓN DE LA CONEXIONES
ILUSTRACIÓN V.11



SISTEMA BOYA VALVULA
ILUSTRACIÓN V.12

3) AISLAMIENTO DEL SISTEMA

En el aislamiento es un elemento fundamental en el diseño de una Termococina y deberá ser instalado en todos los elementos que puedan tener pérdidas caloríficas tales como en el tanque de almacenamiento y en las tuberías de conexión, como mencionamos anteriormente. Utilizaremos un recurso que a los pobladores le resulte fácil y barato conseguir en nuestro caso usaremos lana de oveja.

Para la instalación del aislamiento en el tanque de almacenamiento necesitamos:

- Lana de oveja
- Una caja de cartón corrugado de 70 x 70 x 90cm (Largo x Ancho x Alto)
- Red metálica de 2.5m x 0.9 m (Largo x Alto)

A) Procedimiento de instalación

La instalación del aislante en el tanque de aislamiento se realizó de la siguiente manera:

- a) **Primera etapa** Ya que la gran mayoría de los tanques de pvc no tienen un diámetro en común (truncocónico), debemos medir el mayor diámetro del tanque que se utilizara (mayormente es el diámetro superior) y a éste sumar el espesor de aislante calculado previamente; con este dato tendremos el diámetro del cilindro que contendrá el aislante. Así podemos obtener el largo exacto de la red metálica cuyo largo sería :

$$Largo_{Malla_Metalica} = (\phi_{Tanque} + 2 \times Espesor_{aislante}) \times \pi$$

Obtenido el largo medimos y cortamos la malla y formamos un cilindro uniendo los bordes de la malla con alambres, esta la malla cumplirá la función soportar la presión del aislante generado compactado dentro de este, también garantizar que el aislante este correctamente compactado.

Luego cortamos la caja de cartón con la misma medida del la malla metálica y la colocamos dentro del cilindro de la malla el cartón, esto nos facilitará la colocación del aislante en el interior y también nos garantizara buena estabilidad y rigidez del cilindro.



MALLA METALICA
ILUSTRACIÓN V.13



CARTON Y MALLA METALICA
ILUSTRACIÓN V.14



TANQUE DENTRO DEL CARTON Y MALLA METALICA
ILUSTRACIÓN V.15

- b) Segunda etapa** Procedemos a colocar la lana de oveja dentro del cilindro manualmente, con una barra de madera presionamos la lana para que así el aislante esté compactado. Comenzamos a compactar desde la parte inferior hasta llegar a la parte superior, allí toda la parte lateral estará con el aislante bien compactado, luego procedemos a tapan el tanque de almacenamiento y a colocar la lana en la parte superior de ésta, para luego tapan la parte superior, sellando así todo el tanque de almacenamiento.



MONTAJE DEL AISLAMIENTO
ILUSTRACIÓN V.16



SELLADO DEL AISLAMIENTO
ILUSTRACIÓN V.17



FINALIZACION DEL PROCESO DE AISLAMIENTO
ILUSTRACIÓN V.18

4) **INSTALACION DE LA TERMOCOCINA EN UNA COCINA DE ADOBE**

El montaje de la Termococina lo realizaremos en una cocina mejorada que se encuentra en el campus de la Pontificia Universidad Católica del Perú en el área establecida para GRUPO PUCP, allí encontramos una típica cocina rural de adobe en donde realizaremos la instalación y las pruebas correspondientes.

La Termococina debe estar diseñada para ser instalada en cualquier cocina a leña de los sectores rurales sin realizar modificación en la estructura de ella.



COCINA A LEÑA DE ADOBE
ILUSTRACIÓN V.19

A) **Montaje del intercambiador de calor**

El intercambiador de calor se encontrará dentro de la cámara de combustión de la cocina rural y debe encontrarse lo más cercano de la llama que genera la combustión de la leña.

En la cámara de combustión se picara uno de los muros de abobe en una sección de forma rectangular para que allí se aloje el intercambiador de calor; esta sección debe ser picada desde la base de la cámara de combustión hasta la parte superior, debemos tener cuidado en no picar el muro en su totalidad solo 2/3 del espesor como máximo para no debilitar el muro de la cocina, de esta forma el poblador podrá cocer sus alimentos como siempre lo realizo esto porque no modificaremos las dimensiones de la cámara de combustión.



**PICADO DEL MURO LA COCINA
ILUSTRACIÓN V.20**



**TUBERIAS EN EL INTER. DE CALOR
ILUSTRACIÓN V.21**

Luego de picar el muro se procederá a colocar dentro de este al intercambiador de calor, se tendrá que utilizar un regla nivel para que garantice que este se encuentre en posición horizontal



**MONTAJE DEL INTER. DE CALOR EN LA COCINA
ILUSTRACIÓN V.22**



**MONTAJE DE LAS TUBERIAS EN LA COCINA
ILUSTRACIÓN V.23**

B) Montaje del tanque de almacenamiento y las tuberías

Finalmente ya instalado el intercambiador de calor en la cocina y colocado el tanque de almacenamiento en una estructura, procedemos colocar las conexiones (tuberías de CPVC), en donde uniremos la parte inferior del intercambiador de calor con la parte inferior del tanque de almacenamiento, también la parte superior del tanque de almacenamiento con la parte superior del intercambiador de calor, y así cerramos el circuito.

Las conexiones deben ser orientadas de tal manera que favorezcan el funcionamiento del termosifón, debemos evitar tuberías largas, con recorridos tortuosos, cambios bruscos de dirección, también evitar los trazados horizontales de las tuberías todas ellas debe tener una inclinación mínima de 5° para así evitar la formación de burbujas de aire que impiden el movimiento del fluido al tener esta inclinación favorecen a la ascensión de estas burbujas de aire.



**MONTAJE DE LAS TUBERÍAS
ILUSTRACIÓN V.24**



**MONTAJE DE LAS TUBERÍAS
ILUSTRACIÓN V.25**

VI) PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

1. INTRODUCCIÓN

El principal objetivo de las pruebas es de corroborar que el sistema funcione adecuadamente y pueda satisfacer a las necesidades que se plantearon al inicio del presente trabajo es por ello que este punto cobra gran importancia.

Una vez fabricado el prototipo para la realización de las pruebas de funcionamiento, se construyó una cocina de adobe similar a los empleados en las zonas rurales, en el área de Grupo de apoyo al sector rural, GRUPO – PUCP allí se instaló el equipo completo (Intercambiador de calor, Tuberías y Tanque de almacenamiento).

Se instaló en dicho lugar por la facilidad de contar con las herramientas de montaje como también las herramientas de medición, además de la facilidad de contar con el banco de pruebas dentro de la universidad y también debido a podíamos realizar gran cantidad de pruebas.



COCINA DE ADOBE EN EL GRUPO PUCP
ILUSTRACIÓN VI.1

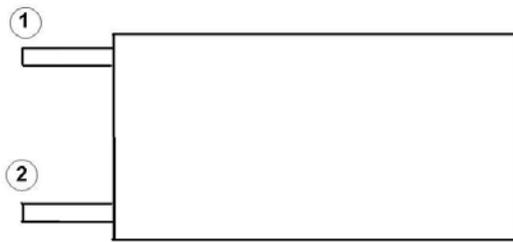
2. EQUIPOS EMPLEADOS

A) Puntos de medición

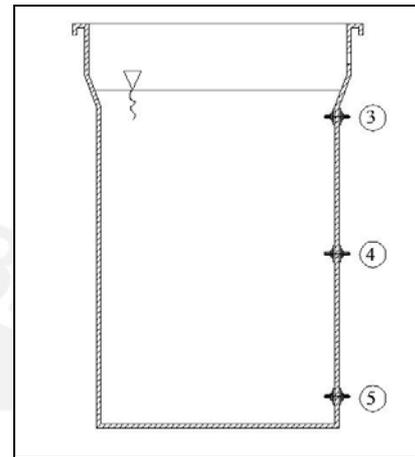
En la pruebas los registros fueron básicamente de temperaturas en diversos puntos de la Termococina los puntos de toma de datos lo damos a continuación.

| Puntos | Posición |
|--------|---|
| 1 | Salida del intercambiador de calor |
| 2 | Entrada del intercambiador de calor |
| 3 | Parte superior del tanque de almacenamiento |
| 4 | Parte media del tanque de almacenamiento |
| 5 | Parte inferior del tanque de almacenamiento |

DENOMINACIÓN DE LOS PUNTOS DE MEDICIÓN
TABLA V. 1



PUNTOS DE MEDICIÓN EN EL INTER. DE CALOR
ILUSTRACIÓN VI. 2



PUNTOS DE MEDICIÓN EN EL TANQUE
ILUSTRACIÓN VI. 3

a) **Instrumentos de medición**

Para la medición de las temperaturas en los puntos antes indicados se realizó mediante termocuplas que registraban las temperaturas en un multímetro digital.

Multímetro Digital

- Fabricante: Elenco
- Tipo: M-2680
- Termocupla: Tipo K
- Escala: - 40 a + 1.200°C
- Desviación máxima (+-)2. 5 °C



MULTÍMETRO ELENCO
ILUSTRACIÓN VI. 4

3. **DESCRIPCIÓN DEL LUGAR DE TRABAJO**

Las pruebas se realizaron en el sector de la Casa Ecológica del Grupo de apoyo al sector rural, ya que se asemeja a las condiciones reales de operación de la Termococina, también es el lugar ideal ya que el espacio es despejado (sin techo), se producía cambios

de viento, descensos de temperatura ambiente de esta forma se simulara muy bien las condiciones reales de operación de la Termococina.

4. INSTALACION DE LOS INSTRUMENTOS DE MEDICION

A) Montaje de los instrumentos de medición en el tanque de almacenamiento

Ya que las termocuplas deben estar en contacto directo con el agua para registrar su temperatura y así garantizar un buen registro de datos en las pruebas, se diseñó un sistema que pueda realizar dicha función dentro del tanque de almacenamiento el cual describamos a continuación.

A un tornillo M8 de 30mm de largo se realizó un agujero pasante en el centro para que por allí ingrese el cable de la termocupla, luego se procede a sellar las posible aperturas con silicona como en la se muestra (Ilustración VI. 5)



MONTAJE DE LA TERMOCUPLA EN UN
TORNILLO
ILUSTRACIÓN VI. 5

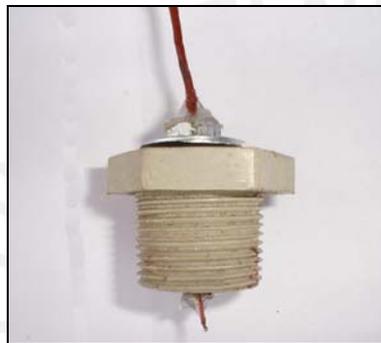


MONTAJE DE LAS TERMOCUPLAS EN EL
TANQUE
ILUSTRACIÓN VI. 6

Luego realizamos agujeros en el tanque de almacenamiento en los puntos antes indicados y se procede a colocar el sistema de sellos, arandelas y tuercas para garantizar la hermeticidad de la unión.

B) Montaje de los instrumentos de medición en las tuberías

Para las tuberías se uso un sistema parecido al descrito anteriormente para que las Termocuplas estén en contacto directo con el agua, pero para este caso se necesita una unión “Tipo T” donde la Termocupla está posicionada en la parte superior de la unión “Tipo T” (Ilustración VI.7), la parte superior es sellada con una tapa en la cual se realizará un agujero para que ingrese el tornillo con la Termocupla en su interior, luego se procede a ajustar con la tuerca los sellos y arandelas para finalmente unir con pegamento la tapa con la parte superior de la unión “Tipo T” como se muestra (Ilustración VI.8)



MONTAJE DE LA TERMOCUPLA EN LA TAPA
ILUSTRACIÓN VI. 7



MONTAJE DE LA TAPA EN LA UNION “TIPO T”
ILUSTRACIÓN VI. 8



MONTAJE FINALIZADO DE LA UNION “TIPO T”
ILUSTRACIÓN VI. 9



MONTAJE DE LAS TERMOCUPLAS EN LAS TUBERIAS
ILUSTRACIÓN VI. 10

5. ANALISIS DE LAS VARIABLES

Para las pruebas se reconocieron las variantes que influyen o pueden afectar el comportamiento del sistema por ello para un mejor desarrollo se dividieron en dos grupos: Factores Fijos que no cambiarán a lo largo de las pruebas y Factores Variantes que si pueden variar a lo largo de las pruebas.

A) Factores Fijos

a) **Volumen de agua en el tanque de almacenamiento**

La capacidad del tanque de almacenamiento depende del número de personas que se beneficiaran del sistema para un promedio de 5 personas, comercialmente podemos encontrar tanques de 65, 75, 90 litros por lo que emplearemos un tanque de 90 litros de capacidad en el cual almacenaremos solo 75 litros de agua esta medida será constante en todo el transcurso de las pruebas.

b) **Altura del tanque de almacenamiento**

La altura donde se encuentra el tanque de almacenamiento no se varía en el transcurso de las pruebas, para ello se utilizó la altura media de los techos de las casas en el sector rural que es de 3 metros, ya que los techos de sus casa es el lugar más apropiado para colocar el tanque de almacenamiento. Además es recomendable que el tanque de almacenamiento se ubique a una altura mayor de 2 metros de esta forma el agua caliente del tanque, podrá utilizarse para ducharse.

c) **Tiempo de las pruebas**

Por datos recogidos de campo el tiempo de cocción de alimentos de una familia de seis personas en cocinas a leña en un día normal es aproximadamente una hora y medio, eso significa que se suministrara leña a la cocina sólo una hora con quince min. de leña .

B) Factores Variantes

a) **Combustible**

Ya que en existe un promedio establecido de la cantidad de leña que utilizan los pobladores para cocer su alimentos. Porque la cantidad de combustible varía por muchos factores como la cantidad de alimentos a cocer, la velocidad del aire, la temperatura del ambiente, la humedad de la leña (su calidad), etc. Por ello, para asemejar a la realidad en las pruebas se procedió a cocer alimentos en la cocina de adobe (en todas las pruebas se cocinó un promedio de alimentos para 5 personas), en cada prueba utilizamos la cantidad necesaria de leña para cocer dichos alimentos.

b) **Aislamiento**

En las pruebas primero se realizaron sin el aislamiento de las partes de la Termococina, ya que en la costa las temperaturas no son tan severas, luego se procedió a aislar el sistema tanque de almacenamiento y tuberías con lana de oveja, así reducimos las pérdidas al medio ambiente y aumentamos la eficiencia de la máquina, de tal forma que podemos comparar valores de eficiencia un sistema aislado y otro no.

6. DESCRIPCION DE LAS PRUEBAS

A) Prueba N°1

Altura del tanque con respecto a la cocina: 3m

Volumen de agua: 75 litros

Aislamiento: **Sin Aislamiento**

Temperatura ambiente: 22°C

Combustible: Leña

a) **Puntos de medición**

| Puntos | Posición |
|---------------|---|
| 1 | Salida del intercambiador de calor |
| 2 | Entrada del intercambiador de calor |
| 3 | Parte superior del tanque de almacenamiento |
| 4 | Parte media del tanque de almacenamiento |
| 5 | Parte inferior del tanque de almacenamiento |

DENOMINACIÓN DE LOS PUNTOS DE MEDICION
TABLA V. 2



PUNTOS DE MEDICION EN EL
INTERCAMBIADOR DE CALOR
ILUSTRACIÓN VI. 11



PUNTOS DE MEDICION EN EL TANQUE DE
ALMACENAMIENTO
ILUSTRACIÓN VI. 12

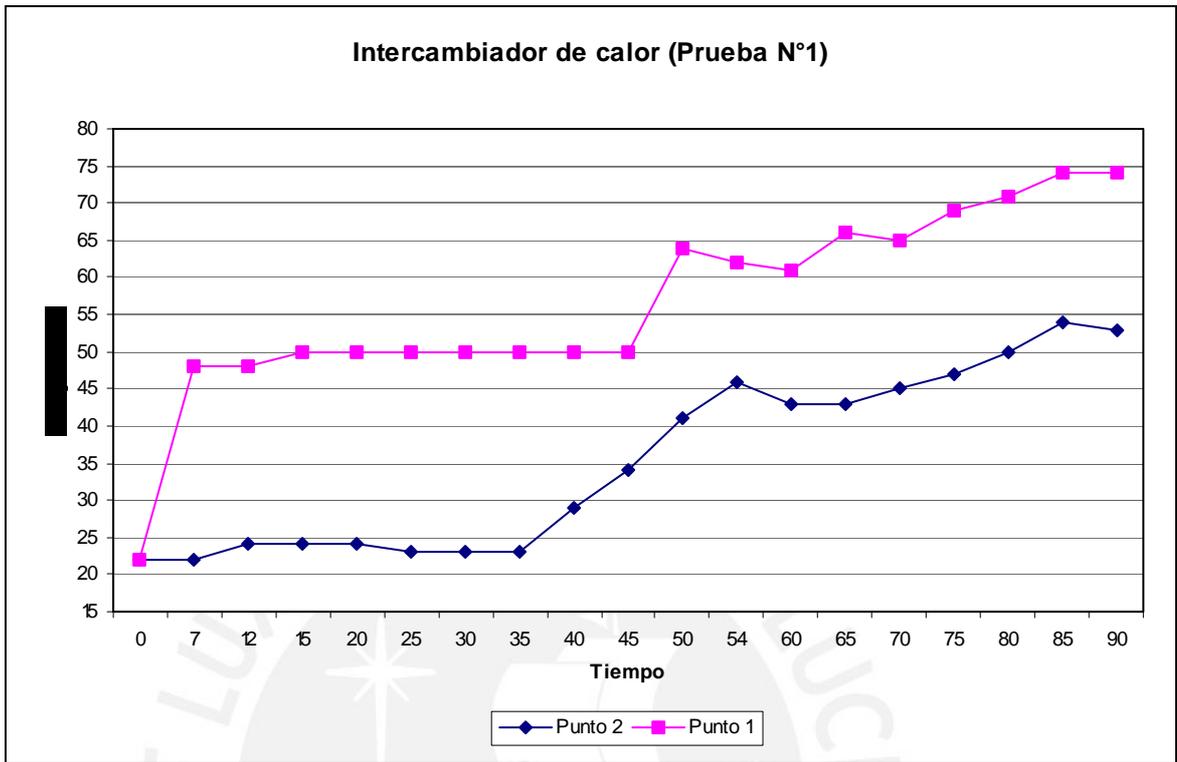
b) Toma de datos

La toma de datos se realizó con intervalos de 5 minutos en cada punto de medición, en la tabla que se muestra a continuación nos indica las mediciones tomadas en cada punto en donde, la última celda indica el promedio de las temperaturas del tanque de almacenamiento (Puntos 3, 4 y 5), esto es para observar cómo se comporta la temperatura en el tanque, que es finalmente la temperatura que el poblador utilizará.

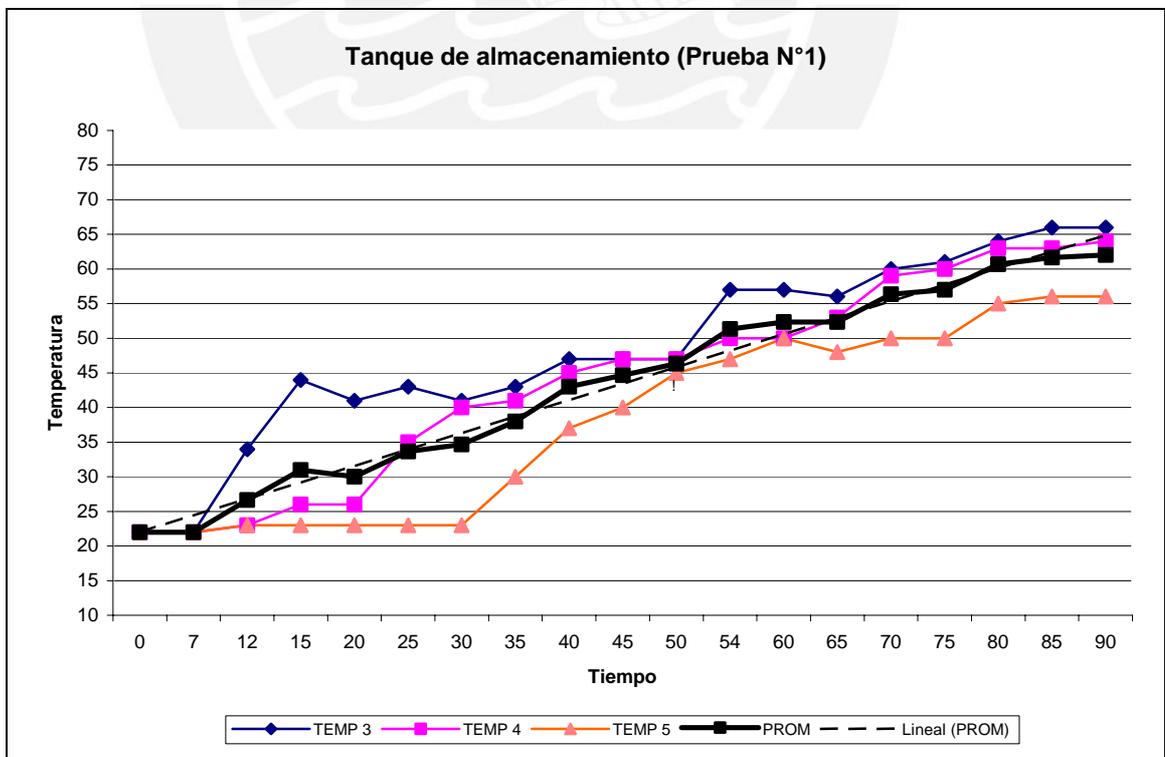
| Tiempo | Temperatura (°C) | | | | | Promedio |
|--------|------------------|----|----|----|----|-------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | |
| 00 | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 22.0 |
| 07 | 48 | 22 | 22 | 22 | 22 | 22.0 |
| 12 | 48 | 24 | 34 | 23 | 23 | 26.7 |
| 15 | 50 | 24 | 44 | 26 | 23 | 31.0 |
| 20 | 50 | 24 | 41 | 26 | 23 | 30.0 |
| 25 | 50 | 23 | 43 | 35 | 23 | 33.7 |
| 30 | 50 | 23 | 41 | 40 | 23 | 34.7 |
| 35 | 50 | 23 | 43 | 41 | 30 | 38.0 |
| 40 | 50 | 29 | 47 | 45 | 37 | 43.0 |
| 45 | 50 | 34 | 47 | 47 | 40 | 44.7 |
| 50 | 64 | 41 | 47 | 47 | 45 | 46.3 |
| 54 | 62 | 46 | 57 | 50 | 47 | 51.3 |
| 60 | 61 | 43 | 57 | 50 | 50 | 52.3 |
| 65 | 66 | 43 | 56 | 53 | 48 | 52.3 |
| 70 | 65 | 45 | 60 | 59 | 50 | 56.3 |
| 75 | 69 | 47 | 61 | 60 | 50 | 57.0 |
| 80 | 71 | 50 | 64 | 63 | 55 | 60.7 |
| 85 | 74 | 54 | 66 | 63 | 56 | 61.7 |
| 90 | 74 | 53 | 66 | 64 | 56 | 62.0 |

MEDICIONES EN LA PRUEBA N°1
TABLA V. 2

c) Gráfico de las pruebas



TEMPERATURA VS TIEMPO EN EL INTERCAMBIADOR DE CALOR N°1
GRAFICO V.1



TEMPERATURA VS TIEMPO EN EL TANQUE DE ALMACENAMIENTO N°1
GRAFICO V.2

d) **Resultados de las prueba N°1**

Temperatura máxima alcanzada en el tanque: 66°C

Temperatura máxima promedio del tanque: 62°C

Temperatura máxima en el sistema: 74°C

Tiempo que permaneció la máxima temperatura el tanque: 105 minutos

Tiempo que llego a la máxima temperatura: 1 hora 30 minutos

Tiempo de suministro de leña: 1 hora 5 minutos

Cantidad de leña que se suministro: 10 kg

Temperatura promedio del tanque luego de 24 horas: 38°C

Diferencia de temperatura luego de 24 horas: 66-38=28°C

B) **Prueba N°2**

Altura del tanque con respecto a la cocina: 3m

Volumen de agua: 75 litros

Aislamiento: **Sin Aislamiento**

Temperatura ambiente: 23°C

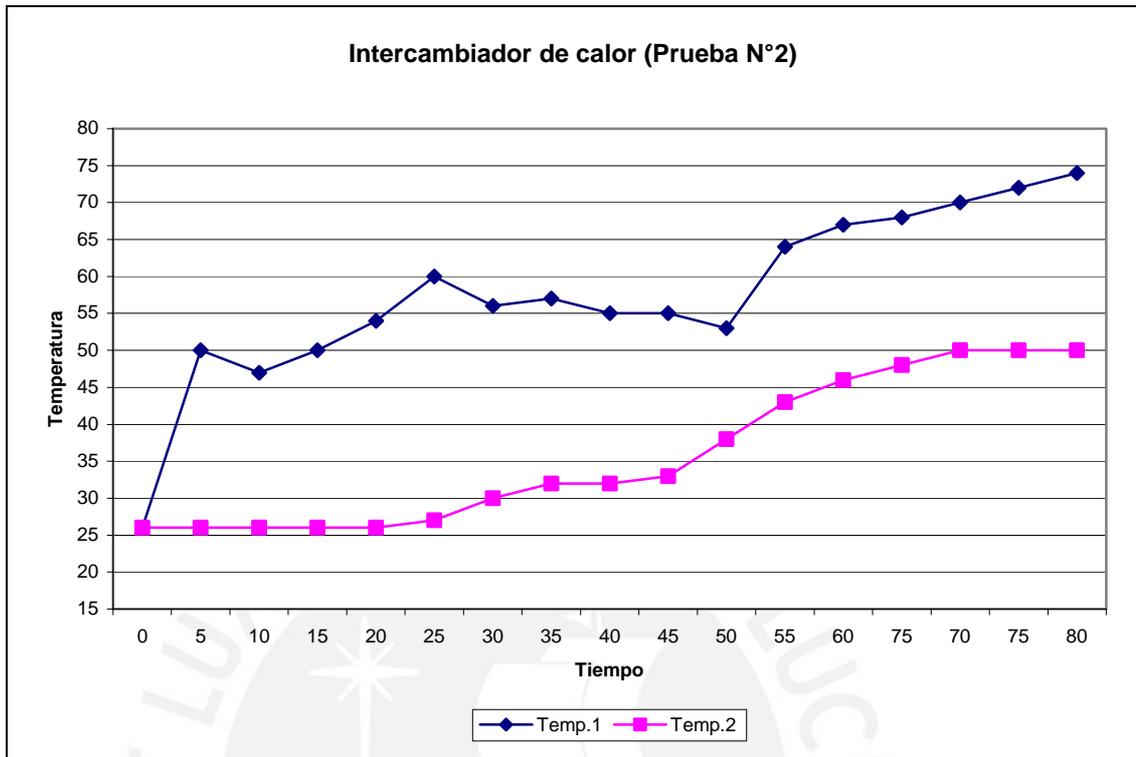
Combustible: Leña

a) **Toma de datos**

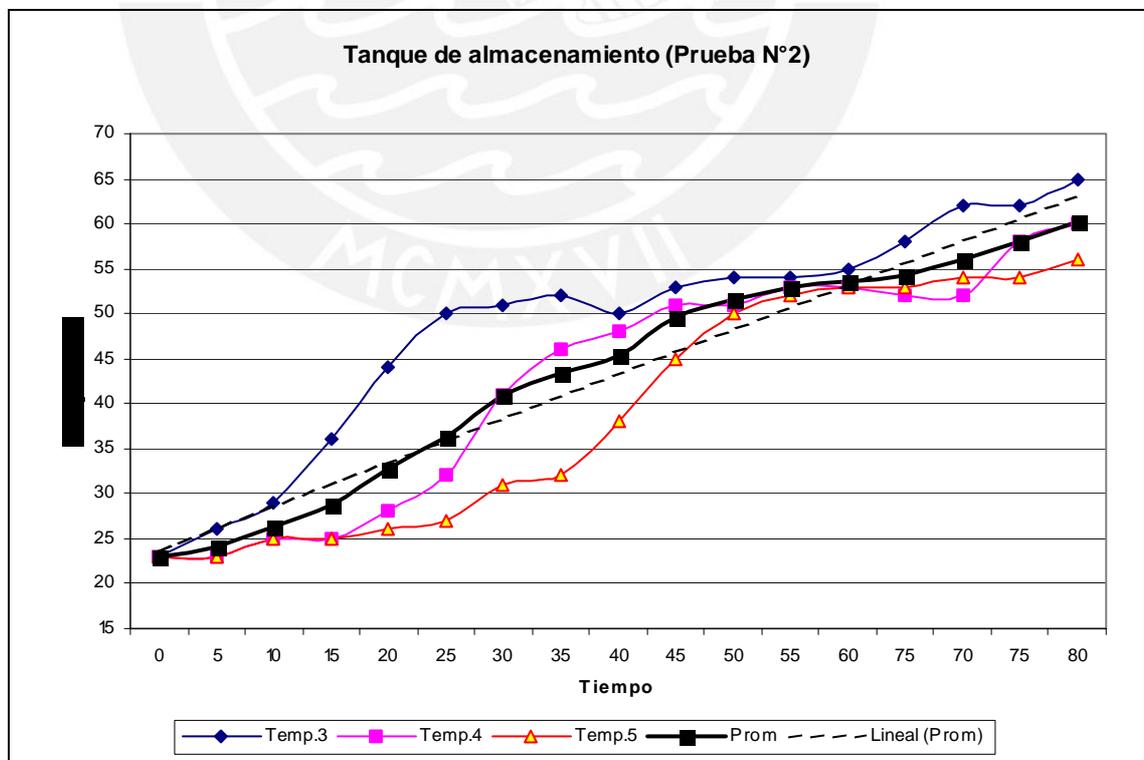
| Tiempo min | Temperatura (°C) | | | | | Promedio |
|---------------|------------------|----|----|----|----|-------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | |
| 0 | 24 | 24 | 23 | 23 | 23 | 23.0 |
| 5 | 50 | 26 | 26 | 23 | 23 | 24.0 |
| 10 | 47 | 26 | 29 | 25 | 25 | 26.3 |
| 15 | 50 | 26 | 36 | 25 | 25 | 28.7 |
| 20 | 54 | 26 | 44 | 28 | 26 | 32.7 |
| 25 | 60 | 27 | 50 | 32 | 27 | 36.3 |
| 30 | 56 | 30 | 51 | 41 | 31 | 41.0 |
| 35 | 57 | 32 | 52 | 46 | 32 | 43.3 |
| 40 | 55 | 32 | 50 | 48 | 38 | 45.3 |
| 45 | 55 | 33 | 53 | 51 | 45 | 49.7 |
| 50 | 53 | 38 | 54 | 51 | 50 | 51.7 |
| 55 | 64 | 43 | 54 | 53 | 52 | 53.0 |
| 60 | 67 | 46 | 55 | 53 | 53 | 53.7 |
| 75 | 68 | 48 | 58 | 52 | 52 | 54.0 |
| 70 | 70 | 50 | 62 | 52 | 51 | 55.0 |
| 75 | 72 | 50 | 62 | 58 | 54 | 58.0 |
| 80 | 74 | 50 | 65 | 60 | 56 | 60.3 |

MEDICIONES EN LA PRUEBA N°2
TABLA V. 3

b) Gráfico de las pruebas



TEMPERATURA VS TIEMPO EN EL INTERCAMBIADOR DE CALOR N°2
GRAFICO V.3



TEMPERATURA VS TIEMPO EN EL TANQUE DE ALMACENAMIENTO N°2
GRAFICO V.4

c) **Resultados de las prueba N°2**

Temperatura máxima alcanzada en el tanque: 65°C

Temperatura máxima promedio del tanque: 60°C

Temperatura máxima en el sistema: 74°C

Tiempo que permaneció la máxima temperatura el tanque: 95 minutos

Tiempo que llego a la máxima temperatura: 1 hora 20 minutos

Tiempo de suministro de leña: 1 hora

Cantidad de leña que se suministro: 12 kg

Temperatura promedio del tanque luego de 24 horas: 34°C

Diferencia de temperatura luego de 24 horas: 60-34=26°C

C) **Prueba N°3**

Altura del tanque con respecto a la cocina: 3m

Volumen de agua: 75 litros

Aislamiento: **Con Aislamiento**

Temperatura ambiente: 25°C

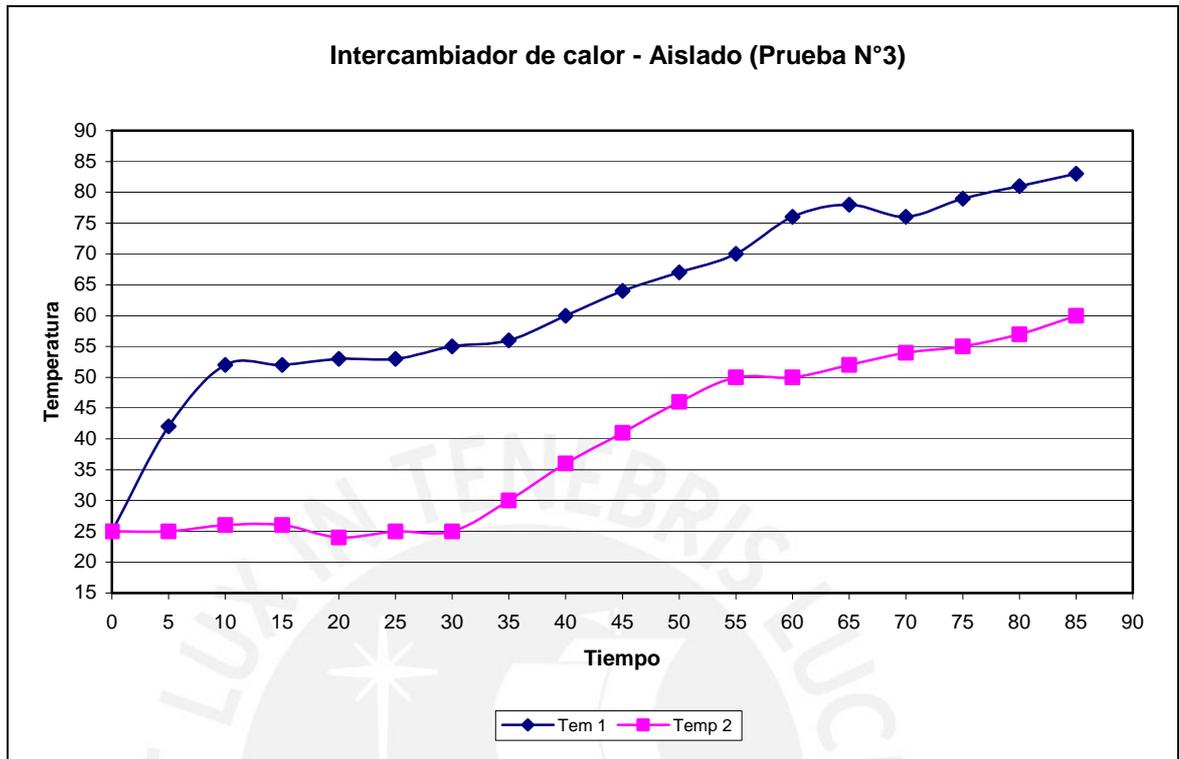
Combustible: Leña

a) **Toma de datos**

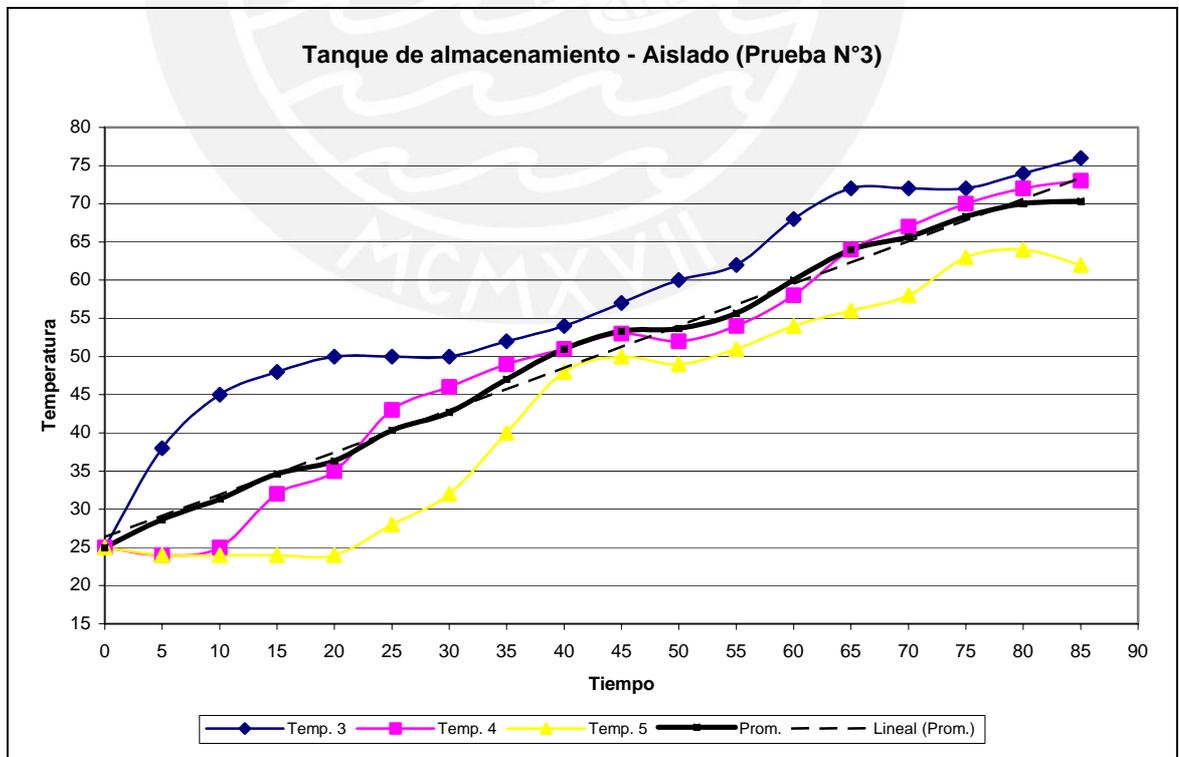
| Tiempo min | Temperatura (°C) | | | | | Promedio |
|---------------|------------------|----|----|----|----|----------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | |
| 0 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25.0 |
| 5 | 42 | 25 | 38 | 24 | 24 | 28.7 |
| 10 | 52 | 26 | 45 | 25 | 24 | 31.3 |
| 15 | 52 | 26 | 48 | 32 | 24 | 34.7 |
| 20 | 53 | 24 | 50 | 35 | 24 | 36.3 |
| 25 | 53 | 25 | 50 | 43 | 28 | 40.3 |
| 30 | 55 | 25 | 50 | 46 | 32 | 42.7 |
| 35 | 56 | 30 | 52 | 49 | 40 | 47.0 |
| 40 | 60 | 36 | 54 | 51 | 48 | 51.0 |
| 45 | 64 | 41 | 57 | 53 | 50 | 53.3 |
| 50 | 67 | 46 | 60 | 52 | 49 | 53.7 |
| 55 | 70 | 50 | 62 | 54 | 51 | 55.7 |
| 60 | 76 | 50 | 68 | 58 | 54 | 60.0 |
| 65 | 78 | 52 | 72 | 64 | 56 | 64.0 |
| 70 | 76 | 54 | 72 | 67 | 58 | 65.7 |
| 75 | 79 | 55 | 72 | 70 | 63 | 68.3 |
| 80 | 81 | 57 | 74 | 72 | 64 | 70.0 |
| 85 | 83 | 60 | 76 | 73 | 62 | 70.3 |

MEDICIONES EN LA PRUEBA N°3
 TABLA V. 4

b) Gráfico de las pruebas



TEMPERATURA VS TIEMPO EN EL INTERCAMBIADOR DE CALOR N°3
GRAFICO V.5



TEMPERATURA VS TIEMPO EN EL TANQUE DE ALMACENAMIENTO N°3
GRAFICO V.6

c) **Resultados de las prueba N°3**

Temperatura máxima alcanzada en el tanque: 76°C

Temperatura máxima promedio del tanque: 70°C

Temperatura máxima en el sistema: 83°C

Tiempo que permaneció la máxima temperatura el tanque: 5 horas

Tiempo que llegó a la máxima temperatura: 1 hora 25 minutos

Tiempo de suministro de leña: 1 hora

Cantidad de leña que se suministro: 9.5 kg

Temperatura promedio del tanque luego de 24 horas: 62°C

Diferencia de temperatura luego de 24 horas: 70-62=8°C

D) **Prueba N°4**

Altura del tanque con respecto a la cocina: 3m

Volumen de agua: 75 litros

Aislamiento: **Con Aislamiento**

Temperatura ambiente: 22°C

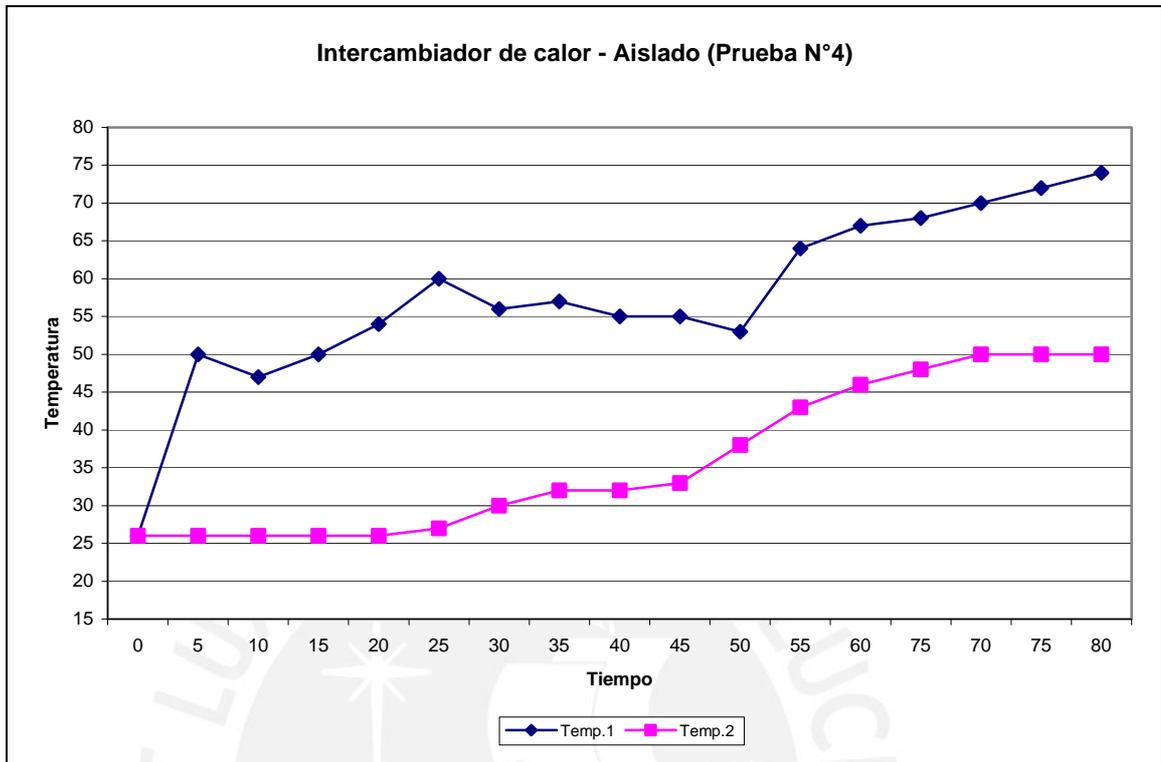
Combustible: Leña

a) **Toma de datos**

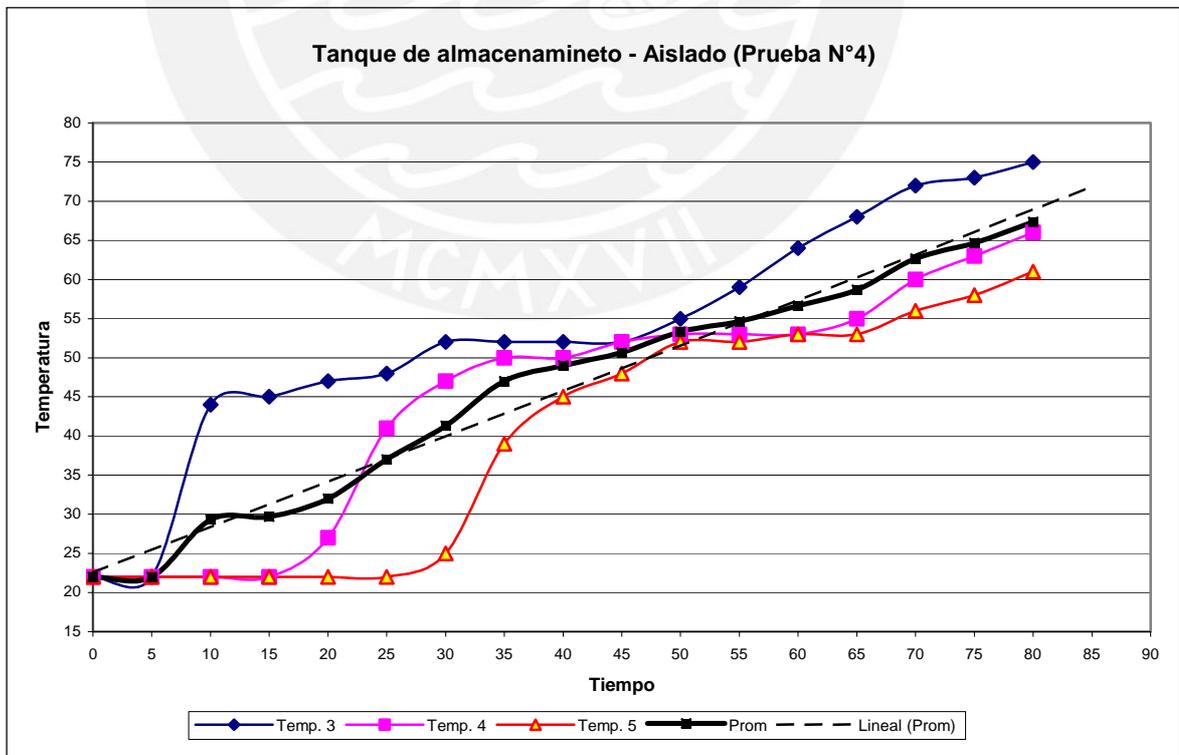
| Tiempo min | Temperatura (°C) | | | | | Promedio |
|---------------|------------------|----|----|----|----|-------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | |
| 0 | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 22.0 |
| 5 | 50 | 24 | 22 | 22 | 22 | 22.0 |
| 10 | 50 | 24 | 44 | 22 | 22 | 29.3 |
| 15 | 53 | 24 | 45 | 22 | 22 | 29.7 |
| 20 | 54 | 24 | 47 | 27 | 22 | 32.0 |
| 25 | 58 | 26 | 48 | 41 | 22 | 37.0 |
| 30 | 54 | 24 | 52 | 47 | 25 | 41.3 |
| 35 | 55 | 24 | 52 | 50 | 39 | 47.0 |
| 40 | 55 | 26 | 52 | 50 | 45 | 49.0 |
| 45 | 57 | 30 | 52 | 52 | 48 | 50.7 |
| 50 | 64 | 34 | 55 | 53 | 52 | 53.3 |
| 55 | 70 | 36 | 59 | 53 | 52 | 54.7 |
| 60 | 75 | 39 | 64 | 53 | 53 | 56.7 |
| 65 | 76 | 41 | 68 | 55 | 53 | 58.7 |
| 70 | 78 | 44 | 72 | 60 | 56 | 62.7 |
| 75 | 79 | 48 | 73 | 63 | 58 | 64.7 |
| 80 | 80 | 53 | 75 | 66 | 61 | 67.3 |

MEDICIONES EN LA PRUEBA N°4
 TABLA V. 5

b) Gráfico de las pruebas



TEMPERATURA VS TIEMPO EN EL INTERCAMBIADOR DE CALOR N°4
GRAFICO V.7



TEMPERATURA VS TIEMPO EN EL TANQUE DE ALMACENAMIENTO N°4
GRAFICO V.8

c) Resultados de las prueba N°4

Temperatura máxima alcanzada en el tanque: 75°C

Temperatura máxima promedio del tanque: 67°C

Temperatura máxima en el sistema: 80°C

Tiempo que permaneció la máxima temperatura el tanque: 6 horas

Tiempo que llego a la máxima temperatura: 1 hora 20 minutos

Tiempo de suministro de leña: 1 hora con 10 min

Cantidad de leña que se suministro: 11 kg

Temperatura promedio del tanque luego de 24 horas: 60°C

Diferencia de temperatura luego de 24 horas: 67-60= 7°C

7. CONCLUSIONES DE LAS PRUEBAS

Las pruebas tenían como objetivo principal garantizar que el sistema de termosifón funcione y se cumplió con dicho objetivo. También se analizar dos sistemas diferentes el primer sistema con aislamiento y el segundo sistema sin aislamiento, para comparar las diferencias entre los dos se realizo la tabla la **TABLA V.6** que analizaremos a continuación:

| | ITEM 1 | ITEM 2 | ITEM 3 | ITEM 4 | ITEM 5 | ITEM 6 | ITEM 7 | ITEM 8 | ITEM 9 | ITEM 10 |
|-------------------------|--------|--------|--------|--------|------------|--------|--------|--------|--------|-----------|
| | °C | °C | °C | °C | min | min | min | Kg | °C | °C |
| No Aislado (N°1) | 22 | 66 | 62 | 74 | 105 | 90 | 65 | 10 | 38 | 28 |
| No Aislado (N°2) | 23 | 65 | 60 | 74 | 95 | 80 | 60 | 12 | 34 | 26 |
| Aislado (N°3) | 25 | 76 | 70 | 83 | 300 | 85 | 60 | 9.5 | 62 | 8 |
| Aislado (N°4) | 22 | 75 | 67 | 80 | 360 | 80 | 70 | 11 | 60 | 7 |

RESUMEN DE LAS MEDICIONES DE LAS PRUEBAS
TABLA V. 6

Ítem 1: Temperatura ambiente

Ítem 2: Temperatura máxima alcanzada en el tanque

Ítem 3: Temperatura máxima promedio del tanque

Ítem 4: Temperatura máxima en el sistema

Ítem 5: Tiempo que permaneció la máxima temperatura el tanque

Ítem 6: Tiempo que llego a la máxima temperatura

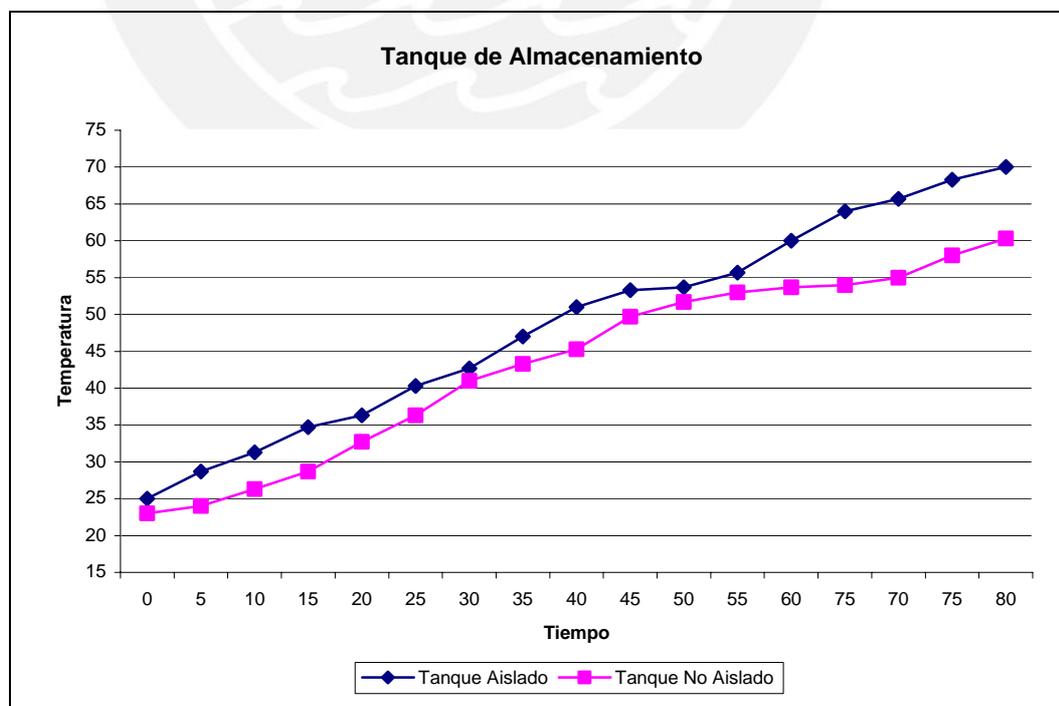
Ítem 7: Tiempo de suministro de leña

Ítem 8: Cantidad de leña que se suministró

Ítem 9: Temperatura promedio del tanque luego de 24 horas

Ítem 10: Diferencia de temperatura luego de 24 horas

Analizando la **TABLA V. 6** las temperaturas que se alcanzan en el sistema aislado son mayores que el sistema no aislado esto lo observamos en los Ítem 2, Ítem 3, Ítem 4, donde las temperaturas que se registran son mayores hasta de 10 °C; también la pendiente de la línea de tendencia es mayor en el sistema aislado por ello que las temperaturas que se alcanzan son mayores en el sistema aislado. También en los Ítem 5, Ítem 6, Ítem 7, podemos observar que los tiempos se reducen en el sistema aislado a comparación del sistema no aislado, esta forma se alcanza mayores temperaturas a menor tiempo. En el Ítem 8 nos indica la cantidad de leña que se utilizó siendo similar en los dos sistema por ello el sistema aislado es más eficiente; Un punto importante en las pruebas fue conservar la energía calorífica del agua en el tanque de almacenamiento, esto lo podemos observar en el Ítem 9, Ítem10, ya que en el sistema asilado la energía calorífica se mantiene por más tiempo ya que después de 24 horas la diferencia de temperatura es alrededor de 8°C a diferencia del sistema no aislado que es de 30 °C, estos datos confirman los cálculos de diseño realizado previamente de garantizar por 24 horas la temperatura de del tanque de almacenamiento con una diferencia de temperatura de 8 °C. En conclusión el sistema aislado es más eficiente que el no aislado es por ello que proponemos este prototipo en la presente tesis. Finalmente presentamos el **GRAFICO V.9** en donde se compara las temperaturas promedio del tanque de almacenamiento en los dos sistemas



**TEMPERATURA VS TIEMPO EN EL TANQUE DE ALMACENAMIENTO
ENTRE EL SISTEMA AISLADO Y NO AISLADO
GRAFICO V.9**

VII. MATERIALES Y COSTOS

1. CONSIDERACIONES

En el proceso de fabricación del equipo, los materiales empleados fueron seleccionados cumpliendo con 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.

2. DISTRIBUCIÓN DE COSTOS

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

A. Ingeniería

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

B. Fabricación

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

a) **Intercambiador de calor**

Indicamos todos los gastos para la fabricación del intercambiador de calor donde el principal material a utilizar es ACERO ESTRUCTURAL ASTM A36 por economía ya que muy común de fácil obtención para el fabricante, también colocamos el costo de la soldadura, los costos de estos materiales pueden variar con el tiempo ya que dependen mucho del mercado internacional.

b) **Tanque de almacenamiento**

Agrupar el costo de del tanque como también de todos los elementos para la fabricación, estos materiales se pueden conseguir fácilmente en una ferretería y sus costos no son muy variables.

c) **Tuberías y Accesorios**

En esta sección agrupamos todos los elementos que conectara el intercambiador de calor con el tanque de almacenamiento, principalmente estará formado por tuberías de agua caliente CPVC y de sus accesorios (codos, uniones, adaptadores, etc.), estos materiales también lo podemos adquirir en una ferretería y sus costos tienden a mantenerse.

d) **Aislamiento**

En ella detallaremos los costos los materiales para el montaje del aislante en el sistema (tanque de almacenamiento, tuberías) ya que usaremos lana de oveja que es un recurso gratis para el poblador

3. **DETALLE**

A. **Ingeniería**

| INGENIERÍA EMPLEADA EN EL DISEÑO DE UNA TERMOCOCINA | | | | | |
|--|---------------------------------------|-------------|-------------|-------------------|--------------------|
| | DESCRIPCIÓN | UNID | CANT | UNIT (S/.) | TOTAL (S/.) |
| 1 | DISEÑO DESARROLLADO POR INGENIERO JR. | hrs. | 600 | 6 | 3600.0 |
| 2 | DIBUJO Y ELABORACIÓN DE PLANOS | hrs. | 25 | 10 | 250.0 |
| SUB-TOTAL | | | | | 3850.0 |

Fabricación

| RELACIÓN DE MATERIALES NECESARIOS PARA FABRICACIÓN DE UNA TERMOCOCINA | | | | | |
|--|---|----------------|-------------|-------------------|--------------------|
| MATERIALES PARA LA FABRICACIÓN DEL INTERCAMBIADOR DE CALOR | | | | | |
| | DESCRIPCIÓN | UNID | CANT | UNIT (S/.) | TOTAL (S/.) |
| 1 | PLANCHA DE ACERO ESTRUCTURAL ASTM A36 – 4mm | m ² | 0.348 | 180 | 62.6 |
| 2 | TUBO DE ACERO LAC ISO 65 DE ¾" | m | 0.3 | 20 | 6.0 |
| 3 | SOLDADURA CARBOFIL Ø0.8mm PS6 | Kg | 0.50 | 30 | 15.0 |
| SUB-TOTAL | | | | | 83.6 |

| MATERIALES PARA LA FABRICACION DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO | | | | | |
|---|---|------|------|------------|-------------|
| | DESCRIPCIÓN | UNID | CANT | UNIT (S/.) | TOTAL (S/.) |
| 1 | BIDÓN DE PLASTICO DE 80 LITROS | UNI | 1 | 35 | 35.0 |
| 2 | NIPLE GALVANIZADO MIXTO ¾" | UNI | 5 | 3.5 | 17.5 |
| 3 | SELLOS ¾" | UNI | 6 | 0.2 | 1.2 |
| 4 | PERNOS DE ¾" | UNI | 6 | 0.5 | 3.0 |
| 5 | ARANDELA PLANA DE ¾" | UNI | 6 | 0.5 | 3.0 |
| 6 | NIPLE GALVANIZADO MIXTO 1/2" | UNI | 4 | 3 | 12.0 |
| 7 | SELLOS 1/2" | UNI | 4 | 0.2 | 0.8 |
| 8 | PERNOS 1/2" | UNI | 4 | 0.5 | 2.0 |
| 9 | ARANDELA PLANA DE 1/2" | UNI | 2 | 0.5 | 1.0 |
| 10 | VÁLVULA CISTERNA ¾" CON VARILLA Y BOYA 1/4" | UNI | 1 | 12 | 12.0 |
| SUB-TOTAL | | | | | 87.5 |

| MATERIALES PARA LAS TUBERÍAS DE CONEXIÓN Y ACCESORIOS | | | | | |
|---|---------------------------------------|------|------|------------|--------------|
| | DESCRIPCIÓN | UNID | CANT | UNIT (S/.) | TOTAL (S/.) |
| 1 | TUBERÍA CPVC ¾" x 5m | UNI | 1.5 | 30 | 45.0 |
| 2 | TUBERÍA PVC ¾" x 5m | UNI | 1 | 7 | 7.0 |
| 3 | CODO CPVC ¾" x 90° | UNI | 4 | 1.5 | 6.0 |
| 4 | CODO GALVANIZADO ¾" X 90° | UNI | 2 | 1 | 2.0 |
| 5 | VÁLVULA DE BOLA ¾" | UNI | 2 | 12 | 24.0 |
| 6 | UNIÓN GALVANIZADA ROSCA INTERIOR ¾" | UNI | 5 | 1 | 5.0 |
| 7 | ADAPTADOR MACHO CPVC ¾" | UNI | 10 | 0.7 | 7.0 |
| 8 | CODO PVC 1/2" X 90° | UNI | 2 | 0.5 | 1.0 |
| 9 | CURVA CPVC ¾" X 90° | UNI | 2 | 1.5 | 3.0 |
| 10 | TUBERÍA PVC 1/2" x 5m | UNI | 1 | 5 | 5.0 |
| 11 | VÁLVULA DE BOLA 1/2" | UNI | 1 | 5 | 5.0 |
| 12 | UNIÓN GALVANIZADA ROSCA INTERIOR 1/2" | UNI | 2 | 0.7 | 1.4 |
| 13 | ADAPTADOR MACHO CPVC 1/2" | UNI | 3 | 0.5 | 1.5 |
| 14 | TRANSICIÓN CPVC - METAL 1/2" | UNI | 1 | 0.7 | 0.7 |
| 15 | CODO CPVC 1/2" X 90° | UNI | 1 | 0.5 | 0.5 |
| 16 | TUBERÍA CPVC 1/2" x 5m | UNI | 1 | 15 | 15.0 |
| 17 | PEGAMENTO CPVC 1/8 LITRO | UNI | 1 | 10 | 10.0 |
| 18 | CINTA TEFLÓN | UNI | 8 | 0.7 | 5.6 |
| SUB-TOTAL | | | | | 144.7 |

| MATERIALES PARA MONTAJE DEL AISLANTE | | | | | |
|--------------------------------------|-------------------------|------|------|------------|-------------|
| | DESCRIPCIÓN | UNID | CANT | UNIT (S/.) | TOTAL (S/.) |
| 1 | MALLA METÁLICA #1" x 1m | m | 2.5 | 0.7 | 1.8 |
| 2 | CAJA DE CARTÓN 1m | UNI | 1 | 5 | 3.0 |
| SUB-TOTAL | | | | | 4.8 |

| MATERIALES PARA LA FABRICACIÓN DEL SOPORTE Y ANILLO METÁLICO | | | | | |
|--|---|----------------|------|------------|-------------|
| | DESCRIPCIÓN | UNID | CANT | UNIT (S/.) | TOTAL (S/.) |
| 1 | PLANCHA DE ACERO ESTRUCTURAL ASTM A36 – 4mm | m ² | 0.15 | 180 | 27.0 |
| 2 | PERFIL "L" 1 1/4"x 1 1/4"x3mm | m | 0.8 | 15 | 12.0 |
| 3 | SOLDADURA CARBOFIL Ø0.8mm PS6 | Kg | 0.30 | 30 | 9.0 |
| SUB-TOTAL | | | | | 48.0 |

| | |
|--------------|--------------------|
| TOTAL | S/. = 368.6 |
| | \$ = 114.8 |

Nota: La cotización del dólar en el mes de agosto de Junio del 2007 es de 3.21 Nuevos Soles

CONCLUSIONES

1. Se diseñó, construyó y probó un prototipo de Termococina que logró calentar agua aprovechando la energía calorífica perdida en una cocina a leña o bosta, de fácil fabricación, bajo un diseño práctico, económico y que es accesible al mayor porcentaje de la población rural.
2. El equipo solo necesitará la energía calorífica que se pierde en una cocina a leña o bosta para el calentamiento del agua; no se usaran bombas, electrocirculadores, etc. para llevar el agua caliente hacia el tanque de almacenamiento ubicado en la parte superior de la cocina, por que aprovechamos el fenómeno de termosifón.
3. El equipo es capaz de calentar aproximadamente 75 litros de agua desde los 23°C hasta los 55 °C en una hora, por medio de un intercambiador de calor instalado al interior de la cámara de combustión de la cocina, aprovechando exclusivamente la energía calorífica perdida en el proceso de cocción.
4. Con un adecuado aislamiento del tanque de almacenamiento el proceso mejora hasta en un 10% la temperatura dentro del tanque, además se puede mantener el agua caliente por un lapso de 12 horas siendo la caída de temperatura de 8°C. El aislante utilizado es lana de oveja que es un producto que lo podemos catalogar como gratis para el poblador rural.
5. Se comprobó experimentalmente, que el fenómeno de termosifón funciona ya que con el tanque de almacenamiento de agua a 2 metros de altura no fue necesario emplear un equipo especial de bombeo para llevar el agua caliente hacia el tanque. Esto hace posible que el equipo puede ser utilizado como “terma” por los pobladores, aprovechando el agua caliente no sólo para labores domesticas si no también como ducha ya que el tanque a esa altura proporciona la presión suficiente para tal fin.
6. El proceso desarrollado nos permitió obtener un equipo que cumple con los requerimientos para los cuales fue diseñado, consiguiendo la satisfacción de aquellas personas quienes plantearon sus necesidades, pilar fundamental de este proyecto.

RECOMENDACIONES

1. Como el fenómeno de termosifón se genera por pequeñas diferencias de densidades, el trazado de las tuberías debe ser lo más corto posible. Por ello el tanque de almacenamiento debe situarse lo más cercano del intercambiador de calor.
2. Los trazados horizontales de tuberías deben evitarse, estos debe instalarse con una ligera inclinación de 5° como mínimo; en la red de tuberías se evitarán codos comerciales de 90° para cambios bruscos de dirección y se recomienda utilizar curvas con radios mínimos de tres veces el diámetro del tubo. No se deben emplear en la instalación filtros, válvulas anti-retorno o componentes que impliquen estrangulaciones al flujo del circuito termosifón.
3. La posición del tanque de almacenamiento es preferible situarlo verticalmente para favorecer el fenómeno de estratificación y situarse como mínimo a 40cm por encima del intercambiador de calor para que no se produzca la circulación inversa.
4. La limpieza del tanque de almacenamiento deberá de realizarse periódicamente, para ello se debe cerrar las válvulas de ingreso y retorno, retirar la boya para facilitar la limpieza y finalmente abrir la válvula de drenaje.

BIBLIOGRAFÍA

1. J.P. Holman, Transferencia De Calor 8ª Edición (Madrid: McGraw–Hill / Interamericana de España S.A.U., 1998) p. 229-245, 272-298
2. B.V. Karlekar, Transferencia De Calor 2ª Edición (México : Interamericana, 1985) p.319-355
3. Incropera , Frank P., Introduction To Heat Transfer 2ª Edición (New York : Wiley, 1990)
4. Vásquez Muñoz, Socorro, Experiencia De Fogones Adecuados Y El Ahorro Energético De Leña En El Area Del Proyecto Piloto De Ecosistemas Andinos (Cajamarca : Proyecto Piloto de Ecosistemas Andinos, 1991)
5. Proyecto DRISIC. Manual De Construcción De Cocinas Mejoradas a Leña. (Piura: Pontificia Universidad Católica Del Perú, 1996)
6. CENSOLAR , Instalaciones De Energía Solar : Curso Programado 3ª ed., Vol.3: Sistemas De Aprovechamiento Térmico I : Colector Solar (Sevilla : PROGENSA, 1992) p.104-128,
7. CENSOLAR , Instalaciones De Energía Solar : Curso Programado 3ª ed., Vol.4: Sistemas De Aprovechamiento Térmico II : Sistemas De Obtención De A.C.S.; Climatización De Piscinas (Sevilla : PROGENSA, 1992) p.83-96, 139-168
8. Matsusita Manabe, Juan, Estudio Experimental De La Transferencia De Calor En Un Calentador De Agua Con Briquetas De Carbón: Tesis Para Optar El Título De Ingeniero Mecánico (Lima: Pontificia Universidad Católica Del Perú, 1990).
9. Victorio Montoya, Eduardo, Diseño De Una Cocina A Carbón Para Uso Rural : Análisis Energético Y Dimensionamiento Básico: Tesis Para Optar El Título De Ingeniero Mecánico (Lima: Pontificia Universidad Católica Del Perú, 1990).
10. Valdivia Lema, Ulises, Cocinas De Carbón: Estudio Experimental Del Proceso De Transferencia De Calor De Un Modelo Elemental Portátil: Tesis Para Optar El Título De Ingeniero Mecánico (Lima: Pontificia Universidad Católica Del Perú, 1990).
11. Terrazas, Victor, Diseño Y Fabricacion De Una Maquina Cortadora De Avena Verde: Tesis Para Optar El Título De Ingeniero Mecánico (Lima: Pontificia Universidad Católica Del Perú, 2004).
12. Instituto Nacional De Estadística Informática (INEI)- Boletín "Estimaciones y Proyecciones de Población Total, Urbana y Rural por Años Calendario y Edades Simples, 1970-2025. Julio 2002".(Lima: instituto cuanto,2005)
13. EXSA. División Soldaduras, Manual De Soldadura & Catálogo De Productos: EXSA - OERLIKON [recurso electrónico] 6a ed. (Lima : EXSA, 2003)
14. Tupia W., Vega L. y Cederrón E., Dibujo Mecánico 1. (Lima: Pontificia Universidad Católica Del Perú, 1999).

15. Tupia W., Vega L. y Cederrón E., Dibujo Mecánico 2. (Lima: Pontificia Universidad Católica Del Perú, 1999).

