

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA ALTERNATIVO DE
TERMOTERAPIA CON ENERGÍA SOLAR CONCENTRADA PARA
APLICACIONES ACADÉMICAS, DE INVESTIGACIÓN Y SERVICIO
A LA COLECTIVIDAD DEL LABORATORIO DE ENERGÍAS
RENOVABLES.**

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

**ANDREA CATALINA GARCÍA ERAZO
ANDRÉS JAVIER TROYA RODRÍGUEZ**

**DIRECTOR: ING. JOSÉ GUASUMBA
CODIRECTOR: ING. ROBERTO GUTIÉRREZ**

Sangolquí, 2009 – 11

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Orden	Contenido	
<u>Pág.</u>		
	CERTIFICACIÓN DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO.....	ii
	LEGALIZACIÓN DEL PROYECTO.....	iii
	DEDICATORIA.....	iv
	AGRADECIMIENTO.....	vi
	ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	viii
	ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiii
	ÍNDICE DE TABLAS.....	xvii
	ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS.....	xx
	ÍNDICE DE ANEXOS.....	xxi
	RESUMEN.....	xxii
	CAPITULO 1: GENERALIDADES.....	1
	1.1. Antecedentes.....	1
	1.2. Definición del Problema.....	3
	1.3 Objetivos.....	4
	1.3.1 Objetivo General.....	4
	1.3.1 Objetivos Específicos.....	4
	1.4 Alcance.....	5
	1.5 Justificación e Importancia del Proyecto.....	5
	CAPITULO 2: MARCO TEÓRICO.....	8
	2.1 Análisis del Recurso Solar.....	8
	2.1.1. Método de Anstrom Page.....	14
	2.1.2. Isol.....	17

2.1.3. Censolar.....	19
2.1.4. Tablas del INAMHI.....	21
2.2. Óptica de Alta Concentración.....	22
2.3. Absorbedores.....	26
2.4. Sistemas de Transporte de Energía.....	29
2.5. Recipientes Cilíndricos.....	30
2.5.1. Tipos de Recipientes Cilíndricos.....	30
2.5.2. Criterios de Diseño en Recipientes a Presión.....	33
2.5.3. Aberturas.....	40
2.5.4. Pruebas de Presión.....	43
2.5.5. Materiales Para Recipientes a Presión.....	45
2.6. Cámaras de Vaporización.....	50
2.7. Pérdidas Hidráulicas.....	51
2.7.1. Características Generales del Flujo de Fluidos.....	51
2.7.2. Ecuación de Continuidad.....	52
2.7.3. Principio de Bernoulli.....	53
2.7.4. Número de Reynolds y Flujo en Tuberías.....	54
2.7.5. Factor de Fricción F.....	55
2.7.6. Pérdidas Continuas.....	58
2.7.7. Pérdidas Localizadas.....	60
CAPITULO 3: SISTEMAS ENERGÉTICOS PARA TERMOTERAPIA.....	62
3.1. Termoterapia y Calidad de Vida.....	62
3.1.1. Clasificación de la Termoterapia.....	65
3.1.2. Baños de Cajón.....	66
3.1.3. Beneficios Terapéuticos.....	67
3.2. Tipos de Sistemas Energéticos Para Termoterapia.....	69
3.2.1. Saunas.....	70

3.2.2. Baños de Cajón Comunes.....	75
3.2.3. Baños de Cajón Alternativos.....	79
3.3. Parámetros de Funcionamiento.....	80
3.4. Procesos Térmicos Utilizados.....	82
3.5. Instalaciones.....	89
3.6. Alternativas.....	99
CAPITULO 4: DISEÑO DE LA INSTALACIÓN.....	104
4.1. Diseño Térmico.....	104
4.1.1. Absorbedor.....	104
4.1.2. Intercambiador de Calor.....	116
4.1.3. Caldero.....	123
4.1.4. Cámara de Vaporización.....	130
4.1.5. Ductos de Conducción del Calor.....	134
4.2. Diseño Mecánico.....	139
4.2.1. Recipiente Absorbedor.....	139
4.2.2. Recipiente Generador de Vapor.....	143
4.2.3. Cámara de Termoterapia.....	147
CAPITULO 5: CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE.....	150
5.1. Diagramas de Procesos.....	150
5.2. Cronograma de Actividades.....	159
5.3. Recursos de Fabricación.....	159
5.3.1. Materiales.....	159
5.3.2. Mano de Obra.....	162
5.3.3. Equipos y Herramientas.....	163
5.4. Fabricación de Componentes.....	172
5.5. Montaje.....	181

CAPITULO 6: PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO.....	184
6.1. Parámetros de Funcionamiento.....	184
6.2. Instrumentos de Medición.....	185
6.3. Procedimiento.....	190
6.4. Levantamiento de Datos.....	190
6.5. Análisis de Resultados.....	204
6.6. Criterios de Seguridad Industrial.....	205
6.7. Guías de Práctica.....	209
6.8. Manual de Operación y Mantenimiento.....	209
CAPITULO 7: ANÁLISIS ECONÓMICO Y FINANCIERO.....	210
7.1. Análisis Económico.....	210
7.1.1. Costos Directos.....	210
7.1.1.1. Construcción y Ensamblaje.....	211
7.1.1.2. Mantenimiento y Reparación.....	211
7.1.1.3. Materiales y Equipos.....	212
7.1.2. Costos Indirectos.....	213
7.1.2.1. Suministros y Servicios.....	214
7.1.2.2. Capacitación y Asesoramiento.....	214
7.1.3. Servicios Especializados.....	214
7.1.3.1. Diseño e Ingeniería.....	215
7.1.4. Costos Totales.....	215
7.1.5. Financiamiento.....	216
7.2 Análisis Financiero.....	218
7.2.1. Calculo del Van y del Tir.....	218
7.2.1.1. Valor Actual Neto.....	218
7.2.1.1.1. Cálculo del Van.....	219

7.2.1.2. Tasa Interna de Retorno.....	220
7.2.1.2.1 Calculo de la Tasa Interna de Retorno.....	221
7.2.2. Depreciación.....	223
7.2.3. Factibilidad del Proyecto.....	224
7.2.3.1. Criterios de Factibilidad Técnico.....	224
7.2.3.2. Criterios de Factibilidad Financiera.....	225
7.2.3.3. Criterios de Factibilidad Institucional.....	226
CAPITULO 8: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	228
8.1. Conclusiones.....	228
8.2. Recomendaciones.....	229
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	231
DIRECCIONES DE INTERNET.....	231

ÍNDICE DE FIGURAS

No. Figura	Contenido	
		<u>Pág.</u>
2.1	Irradiancia espectral solar.....	9
2.2	Interacción radiación-atmósfera.....	10
2.3	Curva representativa de la radiación solar directa.....	11
2.4	Curva representativa de la radiación difusa.....	11
2.5	Curva representativa de radiación global.....	12
2.6	Muestra representativa de las hora de sol en cartulina de color negro.....	12
2.7	El recurso solar.....	13
2.8	Variación de la Irradiación Global Directa Respecto al Mes.....	17
2.9	Pantalla principal del programa Isol.....	18
2.10	Pantalla de trabajo- CENSOLAR	20
2.11	Colector Parabólico.....	24
2.12	Helióstatos.....	25
2.13	Lente convencional y de Fresnel.....	26
2.14	Reflector Parabólico.....	26
2.15	Esquema del concentrador.....	27
2.16	Relaciones entre razón de concentración y temperatura de operación del absorbedor.....	28
2.17	Sistema de transporte de energía.....	29
2.18	Recipiente Cerrado.....	31
2.19	Tanques Cilíndricos de Fondo Plano.....	32
2.20	Recipientes Cilíndricos Horizontales y Verticales con Cabezas Formadas..	33
2.21	Esfuerzos en juntas circunferenciales y longitudinales.....	35
2.22	Tipos de aberturas.....	40

2.23 Distancia recomendada para aberturas en recipientes a presión.....	42
2.24 Recomendaciones de distancia recomendada para aberturas.....	42
2.25 Cámaras de vaporización.....	51
2.26 Principio de conservación de la masa.....	52
2.27 Diagrama de Moody.....	57
3.1 Transferencia de calor en el cuerpo humano.....	64
3.2 Cuadro de clasificación de la Termoterapia.....	65
3.3 Sesión de baños de cajón.....	67
3.4 Sauna en Spa.....	69
3.5 Cuadro sinóptico de los sistemas energéticos para la Termoterapia.....	70
3.6 Cámara de Sauna Seco.....	71
3.7 Cámara de Sauna Húmedo.....	71
3.8 Sauna De Humo.....	72
3.9 Sauna con Estufa Metálica.....	73
3.10 Estufas Eléctricas.....	74
3.11 Estufas a Gas.....	75
3.12 Baños de Cajón.....	76
3.13 Generadores de vapor con combustibles fósiles.....	77
3.14 Generadores de vapor con biomasa.....	78
3.15 Generadores de Vapor Eléctricos.....	78
3.16 Producción de agua caliente	79
3.17 Temperatura medida al Ambiente.....	81
3.18 La presión de vapor de un líquido es literalmente la presión del gas que Absorbe sobre el líquido en un envase cerrado y a una temperatura dada.	82
3.19 Cámara de generación de vapor.....	82
3.20 Evaporación de agua en un recipiente puesto al calor.....	88
3.21 Calderas Piro tubulares.....	90
3.22 Calderas Acuotubulares.....	91

3.23 Partes principales de una Caldera.....	92
3.24 Válvula de Seguridad.....	95
3.25 Manómetro.....	95
3.26 Accesorios en los Generadores de Vapor.....	97
5.1 Símbolos para procesos de fabricación.....	150
5.2 Proceso de fabricación del recipiente absorbedor.....	151
5.3 Proceso de fabricación de la base del absorbedor.....	152
5.4 Proceso de fabricación de la caldera.....	154
5.5 Proceso de fabricación de la base de la caldera.....	155
5.6 Proceso de fabricación del recipiente de abastecimiento de aceite.....	156
5.7 Proceso de fabricación del recipiente aromatizante.....	157
5.8 Proceso de fabricación de la cámara de vaporización.....	158
5.9 Prensa Hidráulica.....	164
5.10 Baroladora.....	165
5.11 Proceso de conformado de la baroladora.....	165
5.12 Soldadora Eléctrica DC.....	166
5.13 Compresor.....	167
5.14 Torno.....	168
5.15 Taladro de Pedestal.....	169
5.16 Esmeril.....	170
5.17 Herramientas.....	171
5.18 Absorbedor.....	172
5.19 Soporte del absorbedor.....	173
5.20 Intercambiador de Calor.....	174
5.21 Caldera.....	176
5.22 Soporte de la caldera.....	177
5.23 Recipiente Aromatizante.....	179
5.24 Cámara de Vaporización.....	180

5.25 Elementos del sistema de Termoterapia.....	182
5.26 Sistema de Termoterapia.....	183
6.1 Termómetro laser.....	186
6.2 Termocupla Tipo K.....	187
6.3 Multímetro digital.....	188
6.4 Manómetro.....	189
6.5 Nivel de Agua.....	189
6.6 Gráfica de la Irradiancia en función de las Horas.....	192
6.7 Gráfica de la Temperatura del absorbedor en función de la Irradiancia.....	193
6.8 Gráfica de la Temperatura del aceite en función de la Irradiancia.....	194
6.9 Gráfica de la Temperatura de absorbedor en función de la Velocidad Viento	195
6.10 Gráfica de la Temperatura Ambiente en función de Irradiancia.....	196
6.11 Gráfica de la temperatura del agua función de la Temperatura del aceite...	197
6.12 Gráfica Temperatura del Aceite en función de la Temperatura del Absorbedor.....	198
6.13 Gráfica Eficiencia Instantánea del concentrador en función de la Irradiancia.....	199
6.14 Gráfica Eficiencia Instantánea en función de la Temperatura del Absorbedor.....	200

ÍNDICE DE TABLAS

No. Tabla	Contenido	
<u>Pág.</u>		
2.1	Características principales del Sol.....	9
2.2	Valores de las constantes a y b.	15
2.3	Datos iniciales para el cálculo de la radiación solar.....	16
2.4	Irradiación Global Directa (Método de Anstrom Page).....	16
2.5	Valores para convertir el día del mes, en el número del día del año.....	18
2.6	Irradiación respecto a los diferentes meses del año.	19
2.7	Datos de radiación media anual de la provincia de Pichincha.	21
2.8	Eficiencia de la junta según el tipo de unión.	37
2.9	Aceros Recomendables Para Diferentes Temperaturas.....	49
2.10	Valores de rugosidad absoluta para distintos materiales.....	56
2.11	Los valores aproximados de "K" para cálculos rápidos.....	61
3.1	Modalidades de termoterapia y agentes terapéuticos.....	66
3.2	Matriz elemental de selección de los sistemas energéticos para Termoterapia	100
4.1	Resultados obtenidos en el diseño térmico del sistema.....	148
4.2	Resultados obtenidos en el diseño mecánico del sistema.....	149
6.1	Parámetros Obtenidos del sistema.....	191
6.2	Datos de Irradiancia tomados a diferentes Horas.....	192
6.3	Datos de Temperatura absorbedor tomados a diferente Irradiancia.....	193
6.4	Datos de la Temperatura del aceite tomados a diferente Irradiancia.....	194
6.5	Datos de Temperatura del absorbedor a diferente Velocidad del Viento.....	195
6.6	Datos de la Temperatura Ambiente tomados a diferente Irradiancia.....	196
6.7	Datos de Temperatura del Agua a diferentes Temperaturas del Aceite.....	197
6.8	Datos de la Temperatura del Aceite a diferente Temperatura del Absorbedor.	198

6.9 Datos de la eficiencia Instantánea tomados con diferente irradiancia.....	199
6.10 Datos de la Eficiencia Instantánea del concentrador tomados a diferentes temperaturas.....	200
6.11 Temperaturas obtenidas del sistema.....	201
6.12 Datos de temperaturas del sistema.....	202
6.13 Temperaturas del sistema.....	203
6.14 Primeros datos obtenidos del sistema en conjunto.....	203
6.15 Datos Máximos, Mínimos y Promedios, Obtenidos en el Funcionamiento del sistema de Termoterapia.....	204
6.16 Tiempo de exposición al ruido según los decibeles.....	208
7.1 Construcción y ensamblaje.....	211
7.2 Mantenimiento y Reparación.....	211
7.3 Materiales y Equipos de construcción.....	212
7.4 Costos indirectos.....	213
7.5 Servicios y Suministros.....	214
7.6 Capacitación y Asesoramiento.....	214
7.7 Diseño e Ingeniería.....	215
7.8 Resumen de Costos.....	215
7.9 Crédito IECE.....	216
7.10 Cálculo del van.....	220
7.11 Tasa interna de retorno.....	222
7.12 Indicadores.....	222
7.13 Activos fijos.....	224
7.14 Factibilidad técnica.....	225
7.15 Factibilidad financiera.....	225

7.16 Factibilidad institucional.....	226
--------------------------------------	-----

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

No. Fotografía	Contenido	
		<u>Pág.</u>
5.1	Cilindro de Aluminio Canalizado.....	169
5.2	Serpentín de Cobre (Absorbedor).....	173
5.3	Base del Absorbedor.....	174
5.4	Serpentín de Cobre (Intercambiador de calor).....	175
5.5	Etapas de Fabricación de la Caldera.....	177
5.6	Construcción de la Base del Absorbedor.....	178
5.7	Construcción del Recipiente Aromatizante.....	180
5.8	Construcción de la Cámara de Vaporización.....	181
6.1	Ropa de trabajo.....	206
6.2	Guantes manga larga.....	207
6.3	Protector visual.....	207
6.4	Botas de seguridad....	208
6.5	Protección auditiva....	209

ÍNDICE DE ANEXOS

<u>Anexo</u>	<u>Contenido</u>	
<u>Pág.</u>		
A:	PLANOS.....	234
B:	MAPAS DE IRRADIACION.....	235
C:	CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES.....	236
D:	GUÍAS DE PRACTICAS.....	237
E:	MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO.....	238
F:	FOTOGRAFÍAS.....	239
G:	APENDICES DEL CODIGO ASME Y TABLAS DE PROPIEDADES.....	240

RESUMEN

La energía, es considerada como el eje principal de todas las actividades que realizan los seres vivos, y por tanto su incorrecta utilización es un aspecto muy preocupante en la actualidad, especialmente aquellas energías convencionales provenientes de combustibles fósiles, que han estado en el planeta desde hace millones de años pero que hoy en día las reservas van disminuyendo con el pasar del tiempo, y que además su consumo está generando grandes cantidades de gases tóxicos a la atmósfera causando varios problemas en el planeta como la lluvia ácida, “Efecto invernadero”, cambios bruscos en el clima, entre otros. Produciendo en sí el llamado calentamiento global.

De acuerdo con estos efectos tan alarmantes, se ha tomado en consideración, el aprovechamiento de las energías renovables, ya que estas se encuentran en gran cantidad, y poseen un gran potencial. Además en nuestro país, existe un alto déficit de recursos energéticos convencionales, por tanto se pretende emplear al máximo las fuentes energéticas renovables, no contaminantes; el objetivo principal de este proyecto consiste principalmente en, diseñar y construir un sistema alternativo de generación de vapor para aplicaciones de termoterapia, que utilice energía limpia, sustentable, y de menor impacto ambiental. Así como también fomentar el consumo de las energías renovables, en nuestro país.

El sistema fue diseñado de forma que la energía solar se concentre en un punto focal, donde se encuentra instalado el absorbedor de cobre. Mediante un sistema de tuberías y de alimentación, se hace circular constantemente el aceite térmico que en su recorrido pasa primeramente por el serpentín “absorbedor”, recibiendo toda la energía concentrada, luego de esto el aceite ingresa al interior de la caldera, dentro de la cual existe un nuevo serpentín “Intercambiador de Calor”, que está en contacto directo con el agua que entra de la red. El intercambio de calor que se realiza permite que exista la generación de vapor debido a la diferencia de temperaturas, este último es almacenado en el interior de la caldera

en la cámara de vapor, siendo controlado mediante válvulas de seguridad, termómetros, medidores de nivel, y manómetros.

Generado el vapor en la caldera, este se transporta por su respectiva tubería hacia el interior de una nueva cámara de vaporización llamada “Cajón”. En esta nueva cámara de vaporización es donde las personas pueden tomar su baño, el ingreso de vapor deberá ser debidamente controlado ya que de la temperatura existente en su interior depende el correcto funcionamiento del sistema.

Con esto se busca tener un mejor conocimiento sobre la Energía Solar, en especial sobre la cantidad de energía que se puede obtener de su radiación directa, a partir de Concentradores Solares, esta investigación además sirvió para obtener un equipo de laboratorio, el cual permitirá realizar prácticas de educación de tercer y cuarto nivel, con lo que los estudiantes podrán realizar prácticas, y ver de una forma práctica lo aprendido en las aulas de clases sobre este tipo de energía.

El presente proyecto se desarrollo en las instalaciones del Laboratorio de Energías No Convencionales del Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica (DECEM) en la Escuela Politécnica del Ejercito ESPE, en el periodo del Marzo 2009 – Octubre 2009, y tiene una vida útil aproximada de 20 años.

Los beneficiarios son los estudiantes universitarios del DECEM, y alumnos de Post Grado en Energías Renovables, los cuales podrán obtener un mejor conocimiento realizando prácticas en este sistema.

CAPITULO 1

GENERALIDADES

1.1 ANTECEDENTES

Desde los inicios de la revolución industrial, se produce un incremento de las emisiones de los gases de efecto invernadero hacia la atmósfera, situación que en los últimos años se ha ido agravando, por el desproporcionado consumo de los combustibles fósiles: petróleo, carbón, gas natural, por lo que es de dominio público, el aumento de la temperatura global, debido a la presencia de los gases antes mencionados. Ante esta realidad, es necesario desarrollar tecnologías energéticas eficientes, para el aprovechamiento de las energías renovables: solar térmica, eólica, hidráulica, fotovoltaica, mareomotriz, entre otras.

Entre las energías renovables, una de las de mayor aplicación es la energía solar térmica, que en un futuro cercano se constituye en una de las principales fuentes de abastecimiento energético, ya que la oferta solar es amplia y sostenible. Además es gratuita y desde el punto de vista ambiental es significativamente más benigna que cualquier otra fuente convencional.

Básicamente, concentrando la radiación solar podemos obtener: calor y electricidad. El calor se obtiene mediante captadores o colectores térmicos, como es el caso del concentrador parabólico, el mismo que será utilizado en este proyecto con el propósito de utilizar la energía solar concentrada para calentar recipientes de agua hasta su vaporización.

La termoterapia, se constituye una medicina alternativa, para el tratamiento de estrés en las personas, enfermedad que se ha multiplicado en los últimos tiempos por la contaminación, ruido, trabajo exigente. Por lo que en el país es de mucha importancia poder curar estos efectos mediante el uso de facilidades naturales, con un enfoque al beneficio y mejoramiento de la calidad de vida de las personas.

Al aplicar la energía solar en la medicina alternativa, se puede innovar y mejorar los sistemas actuales de generación de vapor, para de esta forma evitar la contaminación del medio ambiente, generar un vapor limpio, y economizar los gastos de funcionamiento.

Para el desarrollo del presente proyecto se dispone de información técnica, de los siguientes proyectos de investigación:

- Factibilidad técnica y económica para la implementación de un concentrador parabólico en el tratamiento térmico de materiales: Tesis de Grado del Sr. Julio Aróstegui
- Cocina Solar Cilíndrica Parabólica para aplicación en la comunidad rural marginal: Tesis de Grado del Sr. Santiago Benavides.
- Cocina Solar Portátil para uso en campo: Investigación del Ing. José Guasumba.
- Torre de Potencia Solar para el Laboratorio de Energías Renovables del DECEM: Tesis de Grado del Sr. Calvopiña.

Otro de los valiosos aportes que sustentan el desarrollo de este proyecto corresponden a las investigaciones sobre radiación solar concentrada realizadas por el Señor Doctor Alfonso Vázquez del CENIM – España.

1.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

La energía, es utilizada por todos los seres vivos, ya que es considerada como el motor inevitable de todas las actividades que estos realizan.

La incorrecta utilización de las energías convencionales provenientes de los combustibles fósiles (Carbón, Petróleo y Gas Natural), que se han ido formando en nuestro planeta a través de millones de años, están siendo consumidas en un intervalo de tiempo muy corto, lo que esta introduciendo en la atmosfera grandes cantidades de Gases Nocivos.

En la actualidad el efecto más preocupante es el calentamiento o enfriamiento global y progresivo del planeta, debido a la acción de los gases de efecto invernadero (Vapor de agua, Dióxido de carbono, Metano, Óxidos de nitrógeno, Ozono, Clorofluorocarburos).

Este efecto térmico global, ha generado algunos desequilibrios en el planeta como: Cambios climáticos, Inundaciones, Deshielos, Desertización, Carencia de biodiversidad, entre otros.

Por lo cual es importante aprovechar los recursos energéticos (Agua, Sol, Viento, Olas, entre otros) de una forma racional e inteligente, y producir las energías intermedias (Biológicas, Químicas, Eléctricas, TÉRMICAS) de manera eficiente y con menor impacto ambiental.

En nuestro país, existe un alto déficit de recursos energéticos convencionales, por tanto la solución es compleja. Tenemos que emplear al máximo las fuentes energéticas renovables, no contaminantes; El reto consiste en utilizar principalmente, Energía Solar Térmica y Fotovoltaica para aplicaciones domésticas, y también para grandes instalaciones Industriales, caminando siempre hacia un esquema más saludable.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 GENERAL

Diseñar y construir un sistema alternativo de generación de vapor para aplicaciones de termoterapia, que utilice energía limpia, sustentable, y de menor impacto ambiental.

1.3.2 ESPECIFICOS

- Fomentar el consumo de Energías Renovables en nuestro país, y a la vez valorar los recursos naturales evitando su contaminación.
- Determinar la potencial aplicación térmica del concentrador parabólico de 1.8 metros de diámetro, en procesos de generación de vapor, y que pueda ser utilizado como modelo de referencia, para el desarrollo de sistemas energéticos limpios y no contaminantes, en el ámbito del mejoramiento de la salud y calidad de vida de la comunidad.
- Realizar el análisis y valoración del recurso solar para aplicaciones de alta temperatura.
- Desarrollar el sistema de conversión y aprovechamiento de la energía solar para procesos de termoterapia.
- Evaluar el funcionamiento del sistema térmico propuesto.

1.4 ALCANCE

Optimizar las aplicaciones del concentrador solar parabólico de 1.8m de diámetro, donado por el CLIRSEN al DECEM, para que pueda ser utilizado en la generación de vapor a través de un reflector óptico que permita obtener un rendimiento superior al 60%. Con esto, se pretende aprovechar la energía solar con mayor eficiencia y evitar el uso de una resistencia eléctrica de 1000 W, cuya fuente energética, si es obtenida mediante termogeneración por combustión de bunker, arrojaría más de 2500 Kg. de CO₂ a la atmosfera, durante 24 horas de operación.

1.5 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

Este proyecto busca en primer lugar dotar al laboratorio de Energías Renovables de un sistema nuevo e innovador en donde se apliquen conceptos de termodinámica, transferencia de calor, diseño térmico, fluidos, sistemas hidráulicos y energías renovables, en el cual los estudiantes de la carrera de Ingeniería Mecánica sean los más beneficiados.

Así mismo se busca mejorar la calidad en la educación por medio de una nueva tecnología aún no muy conocida en nuestro país y porque no decir a nivel mundial. Con todo esto se espera despertar el interés en los profesores y sobre todo en los estudiantes por este tipo de energía que en un futuro cercano será la principal fuente de abastecimiento energético.

El crear e implementar nuevos proyectos en los diferentes laboratorios de la carrera de Ingeniería Mecánica, mejora la infraestructura de estos, con conocimientos y recursos propios. Además, fortalece a la universidad. El modelo a desarrollarse puede servir de base para la construcción de maquinas térmicas que beneficien a la comunidad, especialmente en el área de salud.

Por otra parte, para aplicaciones de termoterapia, balneología, obtención de agua caliente sanitaria, se emplea la electricidad para la generación de vapor y calor, la misma que proviene en mayor porcentaje de la termogeneración, quemando combustibles fósiles. Es necesario conocer que la transformación de electricidad en calor utilizando el método Joule, origina un proceso extremadamente ineficiente con un rendimiento total que no sobrepasa el 2,5% debido a que se transforma una energía de alta calidad en otra de menor calidad como el calor. Ante esta situación, y por los altos costos de explotación de la energía proveniente de los combustibles fósiles, en los últimos años se extreman los esfuerzos y las inversiones en la investigación y desarrollo de nuevos sistemas térmicos que aprovechen de forma eficiente las energías renovables, pudiendo ser solar, geotérmica, biomasa.

El Ecuador posee importantes fuentes renovables. Sin embargo carece de la tecnología o la infraestructura básica para industrializar equipos y maquinas térmicas de última generación. Por lo que es necesario desarrollar nuevos conceptos tecnológicos que permitan aprovechar de manera eficiente la energía solar térmica de alta temperatura para vaporización de fluidos de proceso que puedan ser utilizados en beneficio de la salud de las personas como es el caso de la producción de agua caliente sanitaria, baños de cajón, sauna, turco, entre otras aplicaciones, donde a parte de generar divisas por la producción de estas instalaciones, se generarían fuentes de empleo y se contribuiría de manera real a la preservación del medio ambiente al utilizar una energía limpia, ilimitada y no contaminante como es el caso de la solar.

Lamentablemente, en nuestro país en la actualidad no se cuenta con los modelos energéticos que permiten ser transferidos a la comunidad en el corto o mediano plazo, y se sigue utilizando el gas, la electricidad producida por termogeneracion, el diesel, para procesos de calentamiento. Ante esta deficiencia es indispensable desarrollar facilidades y nuevas instalaciones energéticas que puedan empezar a sustituir los recursos convencionales.

Por lo anteriormente expuesto, es necesario que se investigue e implemente este tipo de proyectos que contribuyan al ahorro energético en procesos domésticos y sanitarios, empleando de forma eficiente energías amigables con el ambiente.

CAPITULO 2

MARCO TEORICO

2.1 ANÁLISIS DEL RECURSO SOLAR

La energía solar¹ es la energía producida por el sol y que es convertida a energía útil por el ser humano, ya sea para calentar algo o producir electricidad.

El sol se comporta generalmente como un cuerpo negro emisor con una temperatura superficial efectiva de unos 5800 °K, lo cual significa que la distribución espectral recibida por la tierra es amplia (Figura 2.1), la incidencia total sobre la atmósfera terrestre es de 1353 W/m², llamada constante solar, el 95% de la cual es de longitud de onda inferior a 2 μm.

Gran parte de esta radiación es devuelta por dispersión al espacio y una gran proporción es absorbida selectivamente por diversos gases en la atmósfera, de tal modo que después de un simple tránsito vertical a través de la capa atmosférica solo aproximadamente 1000 W/m² alcanza la superficie terrestre.

¹ WILSON, J., La Energía Solar, p.13

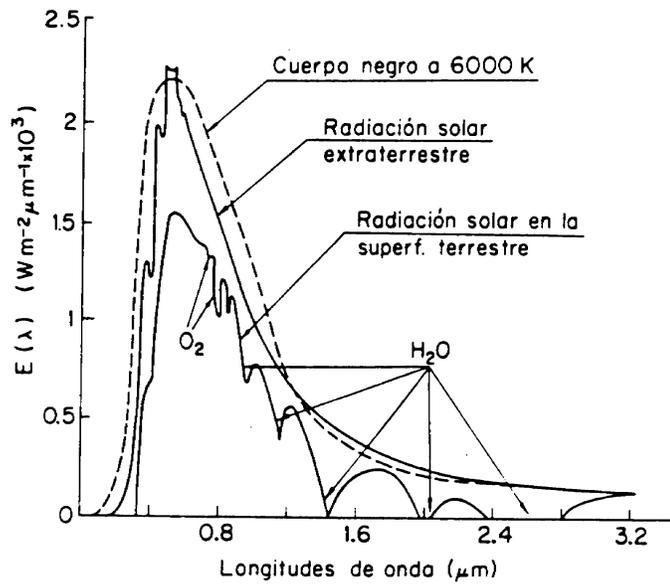


Figura 2.1 Irradiancia espectral solar

El espectro solar, utilizado como estándar puede dividirse, más o menos en 51% de infrarrojo, 40% de visible y 9% de ultravioleta. Cuanto más elevado es el número de masas de aire, mas importante es la absorción selectiva de los constituyentes atmosféricos en la banda infrarroja.

De manera simple, se puede considerar al Sol como una esfera no homogénea compuesta por diversos elementos y cuyas características principales son las que aparecen en la siguiente tabla.

Tabla 2.1 Características principales del Sol

PARÁMETRO	VALOR	UNIDAD
Masa	$1,99 \times 10^{30}$	Kg
Diámetro	$1,392 \times 10^9$	M
Superficie	$6,087 \times 10^{18}$	m^2
Volumen	$1,412 \times 10^{27}$	m^3
Densidad media	$1,41 \times 10^3$	Kg / m^3
Diámetro angular (Desde la Tierra)	31 m 59,3 s	
Distancia media Tierra – Sol	$1,496 \times 10^{11}$	M
Temperatura efectiva	5777	$^\circ\text{K}$
Potencia	$3,86 \times 10^{26}$	W
Irradiancia	$6,35 \times 10^7$	W / m^2

INTERACCIÓN DE LA RADIACIÓN CON LA ATMOSFERA

La atmósfera terrestre es la capa gaseosa de la tierra que se mantiene alrededor de ella por la acción de la fuerza gravitacional, en la Figura 2.2 se muestra esquemáticamente los diferentes procesos que sufre la radiación en su interacción con la atmósfera.

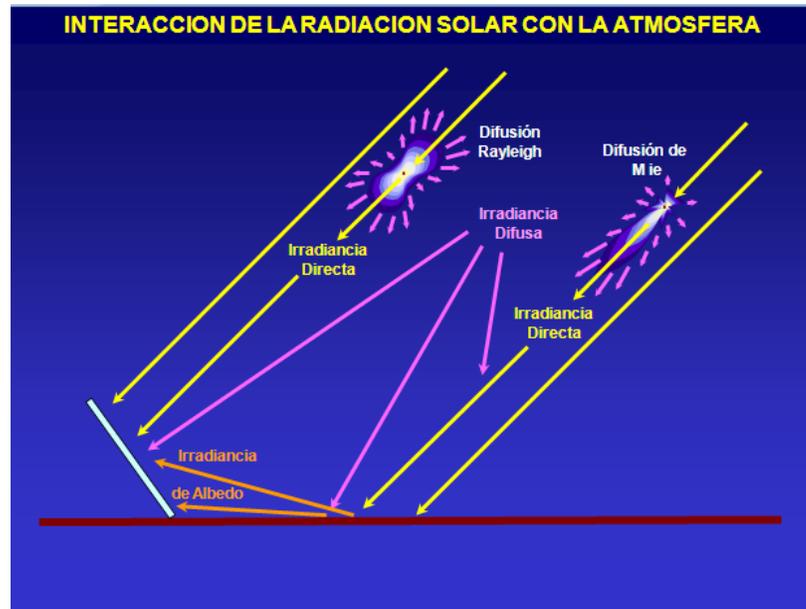


Figura 2.2 Interacción radiación-atmósfera

Parte de la radiación directa incidente se transforma en difusa (radiación sin ninguna dirección de preferencia), debido al fenómeno de dispersión el cual se debe a la presencia en la atmósfera de vapor de agua, moléculas que componen el aire y partículas de polvo. Otra parte de la radiación solar es absorbida en la atmósfera. La absorción de la radiación ultravioleta se debe predominantemente al ozono O_3 , la del infrarrojo al vapor de agua y bióxido de carbono, y la visible nuevamente al ozono.

Como resultado de la interacción con la atmósfera, la radiación solar recibida sobre una superficie horizontal terrestre, se compone de radiación solar directa y radiación solar difusa.

TIPOS DE RADIACIÓN

La radiación solar sufre ciertas transformaciones al incidir sobre la atmósfera de modo que es necesario conocer algunos conceptos específicos para los diversos tipos de radiación.

Radiación directa.

La que se recibe directamente del sol sin sufrir ninguna dispersión en la atmósfera.

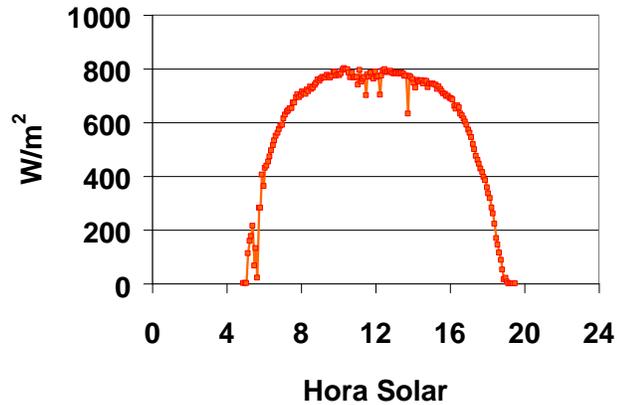


Figura 2.3 Curva representativa de la radiación solar directa

Radiación difusa.

Es la que se recibe del sol, después de ser desviada por dispersión en la atmósfera, la que se absorbe a través de las nubes así como también la que proviene del cielo azul, de no existir radiación difusa el cielo se vería de color negro, aun durante el día.

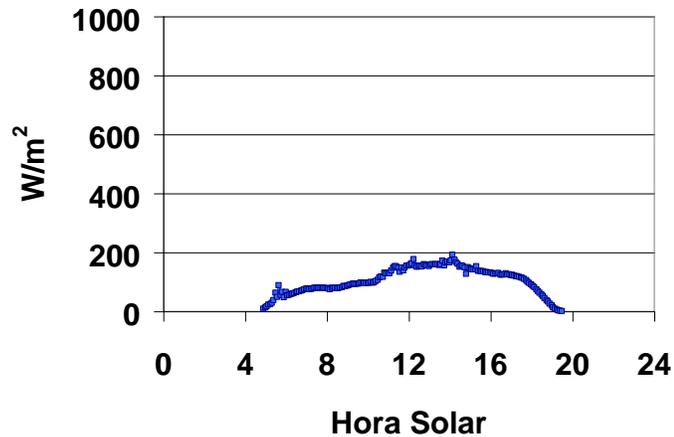


Figura 2.4 Curva representativa de la radiación difusa

Albedo.

La que proviene de la superficie terrestre y de materiales diversos.

Radiación total.

Es la suma de las radiaciones directa, difusa y albedo que se reciben sobre una superficie.

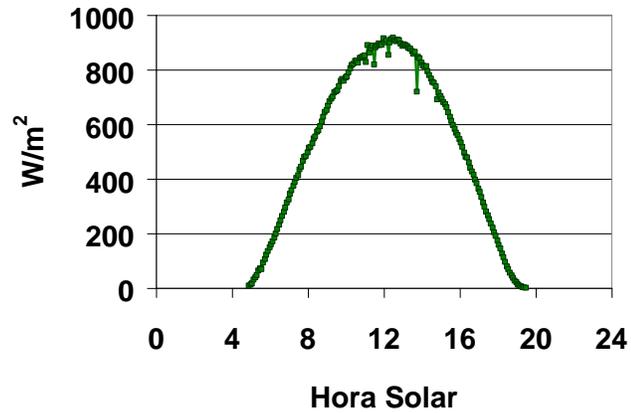


Figura 2.5 Curva representativa de radiación global

HORAS DE SOL

Comprende las horas de insolación diaria que se puede alcanzar en la superficie terrestre, se lo determina con el heliógrafo que es un instrumento que contiene una esfera de vidrio que va quemando la cartulina negra conforme avanzan las horas del día.

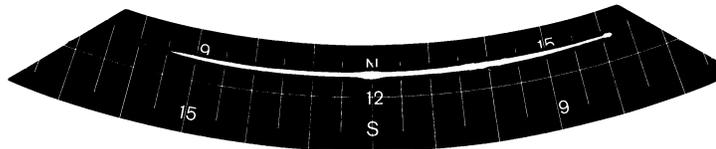


Figura 2.6 Muestra representativa de las hora de sol en cartulina de color negro

La energía solar térmica es una rama de la energía solar que consiste en el aprovechamiento de la energía calorífica del sol en la vida de los seres humanos.

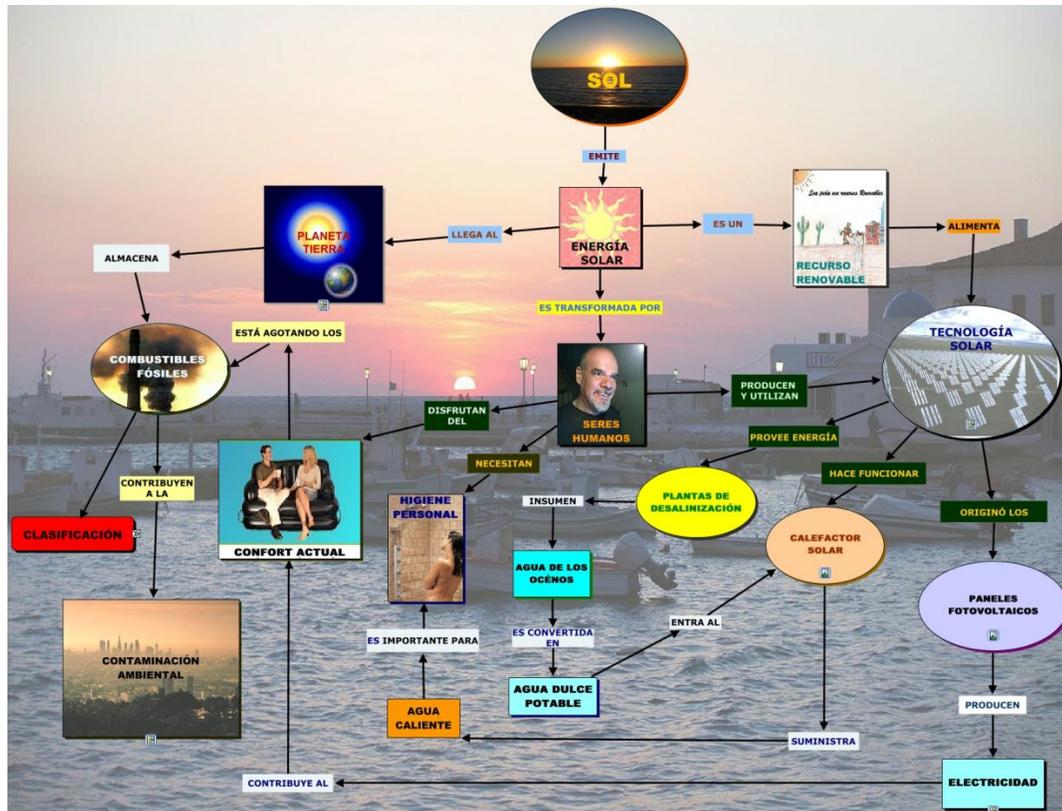


Figura 2.7 El recurso solar

La intensidad de energía disponible en un punto determinado de la tierra depende, del día, del año, de la hora y de la latitud. Además, la cantidad de energía que puede recogerse depende de la orientación del dispositivo receptor.

Para conocer cual será la intensidad de energía que vamos a utilizar es necesario aplicar los métodos citados a continuación y conocer algunos datos del lugar donde va a ser nuestro sistema.

Lugar: Escuela Politécnica del Ejercito

Ciudad: Sangolquí

Cantón: Rumiñahui

Provincia: Pichincha

Latitud: S 0° 18' 37"

Longitud: W 78° 26' 28,1"

2.1.1 MÉTODO DE ANSTROM - PAGE

El Método de Anstrom Page es una técnica de medición del recurso solar, mediante el cual podemos determinar el aporte solar que tendremos en una determinada Provincia o localidad, y que va a ser variante de acuerdo al mes en el que nos encontremos. La disponibilidad de la energía solar en una localidad es importante en la determinación del tamaño y capacidad de los

dispositivos solares. Debido a las fluctuaciones que se presentan diariamente en los valores de la radiación solar, así como también en el brillo solar por los cambios de la atmósfera, es necesario procesar la información estadísticamente con información de varios años.

Para la utilización de este método, es necesario que conozcamos como dato fundamental la latitud a la que se encuentra nuestra localidad, el ángulo de inclinación en el que va a estar ubicado nuestro colector solar, y además dos importantes factores como son:

- **Factor climático:** Depende de las condiciones ambientales, y por ende de la región en la que va a ser realizado el proyecto.
- **Factor de albedo:** Se refiere a la fracción de energía que es devuelta inmediatamente al espacio, de la radiación que llega al planeta, principalmente en forma de luz visible.

Estos factores oscilan entre 0 y 1 de acuerdo con las características donde va a estar ubicado el colector solar.

El modelo de cálculo de la irradiación solar de mayor aceptación es el de Ångström modificado.

$$\frac{(H)_j}{(H_o)_j} = a + b \cdot \frac{(n)_j}{(N)_j} \quad (2.1)$$

$(H)_j$ Promedio mensual durante el mes j de la irradiación solar diaria global sobre una superficie horizontal.

$(H_o)_j$ Promedio mensual durante el mes j de la irradiación solar extraterrestre diaria.

$(n)_j$ Promedio mensual durante el mes j del brillo solar diario.

$(N)_j$ Promedio mensual durante el mes j de la duración astronómica del día.

Las letras a y b representan constantes empíricas cuyos valores podemos observar en la Tabla 2.2 y j es el número del mes, ($1 < j < 12$).

Tabla 2.2 Valores de las constantes a y b.²

Región	A	B
Sierra	0.25	0.45
Costa	0.28	0.54

La irradiación difusa H_d y la irradiación directa H_b en promedio mensuales pueden estimarse a partir de la irradiación global H mediante las siguientes ecuaciones.

$$H_b = H - H_d \quad (2.2)$$

$$\frac{H_d}{H} = 0.775 + 0.00653(W_s - 90^\circ) - [0.505 + 0.00455(W_s - 90^\circ)] \cos(115 \cdot K_t - 103) \quad (2.3)$$

$$\frac{H}{H_o} = K_t \quad (2.4)$$

² Fuente: INAMHI, Ecuador

Finalmente, después de colocar los datos requeridos como se muestra a continuación.

Tabla 2.3 Datos iniciales para el cálculo de la radiación solar

Datos de entrada para la ciudad de Sangolquí			
	Grados	Minutos	Segundos
Latitud	0	18	37
Latitud	-0.310277778		
Beta	60		
Anstrom page			
A	0.25	Factor climático	
B	0.45	para la Sierra	
factor de albedo	0.28		

Se despliega como resultado el valor de la irradiación global directa (Tabla 2.4) el cual nos servirá para realizar los futuros cálculos.

Tabla 2.4 Irradiación Global Directa (Método de Anstrom Page)³

MES	IRRADIACIÓN GLOBAL DIRECTA Ho	
	Langley	Whr / m2
Enero	373.23	4319.77
Febrero	385.16	4457.90
Marzo	388.86	4500.72
Abril	377.07	4364.20
Mayo	356.38	4124.81
Junio	343.28	3973.15
Julio	348.04	4028.21
Agosto	366.27	4239.18
Septiembre	382.08	4422.25
Octubre	383.72	4441.19
Noviembre	374.30	4332.13
Diciembre	367.67	4255.41

1Langley = 41800 (J/m²)

³ Fuente: Hoja de Cálculo – Anstrom Page

En la siguiente figura, se puede observar la variación de Ho, de forma gráfica, de acuerdo a cada uno de los meses del año, además se identifica que el mes de Junio es aquel que presenta el más bajo valor de Irradiación, sin embargo esto debe analizarse conjuntamente con las horas de sol pico de cada mes, para así establecer cual es el peor mes.

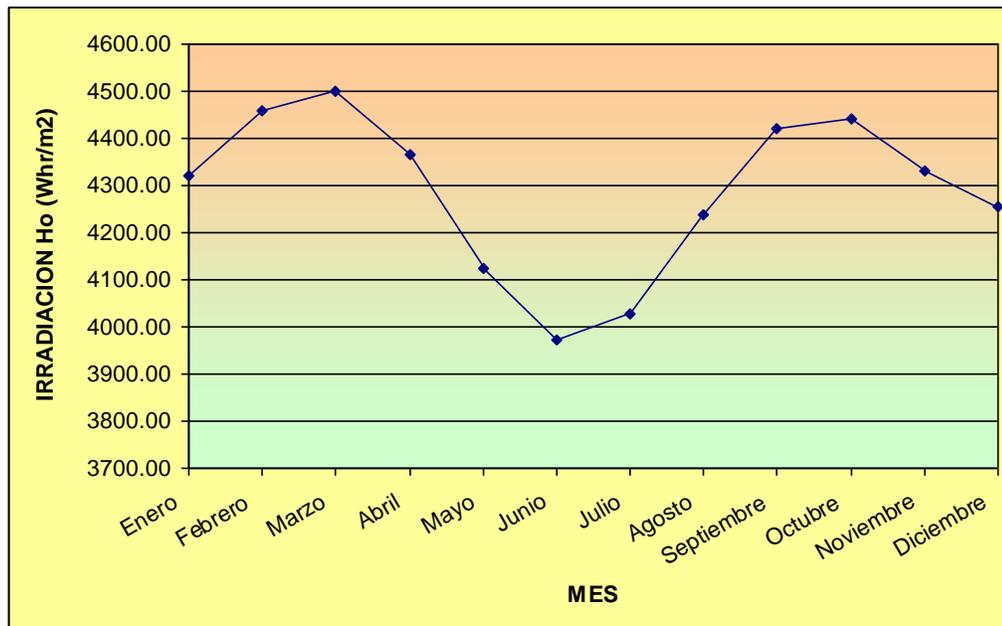


Figura 2.8 Variación de la Irradiación Global Directa Respecto al Mes

2.1.2 ISOL

En su versión 1.1, este programa calcula de una manera eficiente y rápida la irradiancia de un lugar determinado, lo único que se debe tener en cuenta son los datos del sector, que generalmente se adquiere de una tabla de estudios ya realizados, o a su vez que pueden ser medidos.

Se trata de Ingresar los datos que nos pide el programa, pertenecientes al sector y que van ligados además a nuestros requerimientos.



Figura 2.9 Pantalla principal del programa Isol

En dicha información es necesario especificar le día tipo del mes en que se requiere que se calcule la irradiación, para ello se hace uso de la siguiente tabla:

Tabla 2.5 Valores para convertir el día del mes, en el número del día del año.

Mes	“n” para el i-ésimo día del mes	Día Tipo
Enero	i	17
Febrero	31+i	15
Marzo	59+i	16
Abril	90+i	15
Mayo	120+i	15
Junio	151+i	10
Julio	181+i	17

Agosto	212+i	17
Septiembre	243+i	16
Octubre	273+i	16
Noviembre	304+i	15
Diciembre	334+i	11

Con dicha información, el software presenta pantallas que corresponden a la intensidad de la radiación solar sin vidrio o con 1 o 2 vidrios, y el gráfico de los ángulos de los rayos solares sobre el plano. Se resume en estas últimas, toda la información que se necesita sobre la irradiancia que se va a tener dependiendo de mes en el que nos encontremos como lo muestra la Tabla 2.5.

Tabla 2.6 Irradiación respecto a los diferentes meses del año⁴

MES	DIA	IRRADIACIÓN
		Whr / m ² día
Enero	17	2264.00
Febrero	15	2347.00
Marzo	16	2387.00
Abril	15	2333.00
Mayo	15	2219.00
Junio	10	2143.00
Julio	17	2175.00
Agosto	17	2288.00
Septiembre	16	2378.00
Octubre	16	2370.00
Noviembre	15	2290.00
Diciembre	11	2235.00

2.1.3 CENSOLAR

CENSOLAR⁵ es el Centro Internacional más antiguo de Europa en aprendizaje a distancia de las técnicas del aprovechamiento práctico de la energía solar. Su sede central se encuentra en Sevilla, la capital europea de la investigación y tecnología solar, sus servicios educativos llegan a todos las naciones de habla hispana, incluyendo todo el continente americano.

CENSOLAR produce libros, cursos y software sobre energía solar térmica y fotovoltaica, como es el ejemplo del software Censol 4.0, el mismo que es utilizado para realizar el análisis del recurso solar.

⁴ Fuente: Programa para aplicación académica ISOL

⁵ Tutorial del Programa de Aplicación Académica Censol 4.0

Censol 4.0 constituye un verdadero paquete de software sobre energía solar. Requiere Windows 95 o superior para su funcionamiento. Es, además de un complemento didáctico, una herramienta básica de diseño de instalaciones solares.

El programa incluye una base de datos de más de dos mil localidades de todo el mundo, que se puede examinar y ampliar fácilmente (Figura 2.10). Los registros de esta base de datos se utilizan para realizar el dimensionado de las instalaciones y su modificación se tiene en cuenta dentro de la misma sesión del programa.

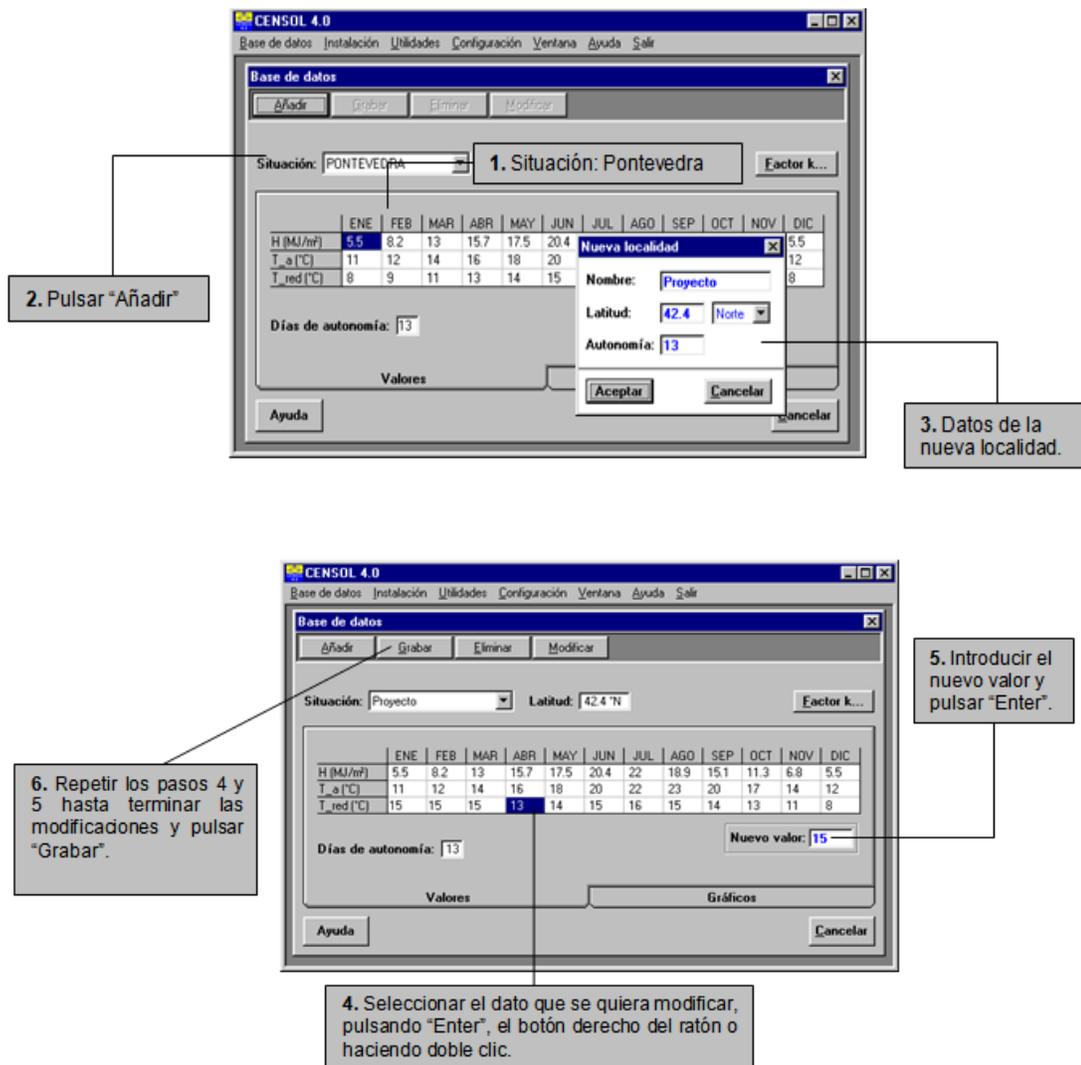


Figura 2.10 Pantalla de trabajo- CENSOLAR

Censol 4.0 presenta un entorno integrado de desarrollo donde se puede llevar a cabo, de manera muy rápida y cómoda, el dimensionado de instalaciones térmicas, fotovoltaicas y de climatización

de piscinas. Presenta una interfaz gráfica amigable, que permite introducir y modificar fácilmente los datos.

Además, cuenta con un sistema de ayuda auto-explicativo y en línea, que describe claramente el manejo y funciones de las ventanas.

Se incluye también un conjunto de utilidades que ofrece, entre otras, la posibilidad de observar la trayectoria aparente del Sol, realizar la conversión horaria, determinar la posición de paneles dotados de seguimiento.

Los datos obtenidos para la provincia de pichincha se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 2.7 Datos de radiación media anual de la provincia de Pichincha

PROVINCIA	MES											
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Pichincha	3609	3386	3487	3305	3529	3427	4035	3995	3568	3832	3751	3751

2.1.4 TABLAS DEL INAMHI

INAMHI, es el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, creado por Ley, como una necesidad y un derecho fundamental de la comunidad, con capacidad y la obligación de suministrar información vital sobre el tiempo, el clima y los recursos hídricos del pasado, presente y futuro, que necesita conocer el país para la protección de la vida humana y los bienes materiales.

Este instituto, nos proporciona anualmente datos estadísticos expuestos mediante tablas, y además mapas del Ecuador donde se ubica la irradiación global, directa y heliofanía de acuerdo a cada ciudad, estos datos han sido medidos, desde 1996 hasta el 2000, donde se obtiene un valor promedio de horas diarias de sol de 5,14.

De esta forma podemos encontrar en el **Anexo B.1**, el mapa de irradiación solar del Ecuador, en el **Anexo B.2**, el mapa de irradiancia máxima directa al medio día anual, y en el **Anexo B.3**, el correspondiente a la irradiancia máxima global al medio día anual.

Estos mapas son de mucha ayuda para todos los usuarios, y de esta manera si se hace referencia a la zona central del Ecuador, el valor de irradiancia máxima global, para esta región, es de 550 W/m² y en Sangolquí **834 W/m²**.

2.2 ÓPTICA DE ALTA CONCENTRACIÓN

COLECTORES CONCENTRADORES

El principio de los colectores concentradores es el de concentrar mediante procedimientos ópticos la energía que irradia el sol antes de su transformación en calor. Así, una radiación solar que entra a un colector concentrador a través de una superficie determinada es reflejada, refractada o absorbida por una superficie menor, para luego ser transformada en energía térmica.

La ventaja importante de este tipo de colector es, ante todo, la reducción de las pérdidas térmicas en el receptor, pues al ser éste de menor superficie habrá menos área para la radiación del calor y por lo tanto el líquido que circula por el receptor puede calentarse a mayores temperaturas con un rendimiento razonable y a un costo menor.

Claro está que las reflexiones y refracciones extras de la radiación solar hacen aumentar las pérdidas ópticas y entonces las curvas representativas del rendimiento, parten de ordenadas en el origen, son menores que las de un colector plano, pero no tienen la pendiente pronunciada, característica de estos últimos. Se define como coeficiente de concentración a la relación:

$$C = \frac{\text{Área neta de la radiación al colector}}{\text{Área donde se concentra la radiación}} \quad (2.5)$$

Los colectores concentradores, de acuerdo con el valor de "C", se dividen en dos tipos:

1. **De alta concentración:** (C > 10)

Son los que, mediante dispositivos especiales y precisos de enfoque y seguimiento del sol, logran en el receptor una alta densidad de energía;

2. **De media y baja concentración:** (2 < C < 10)

Son los que no requieren dispositivos especiales de enfoque y tampoco un seguimiento permanente del sol, sino la modificación de su posición algunas veces por año, que dependerá del

valor de "C". Así, por ejemplo, para:
C = 2 a 3..... 4 veces por año
C = 3 a 6.....8 veces por año
C = 10.....80 veces por año.

Los colectores concentrados pueden ser de varios tipos:

- **Parabólico por Refracción:** El colector está formado por una lente que recibe los rayos solares paralelos y los refracta concentrándolos en un punto, donde se encuentra el elemento receptor que contiene el fluido a calentar.
- **Parabólico por Reflexión:** El colector está formado por una superficie reflectora (espejo, aluminio anodizado, etc.) de forma parabólica, que recibe los rayos solares y que merced a la propiedad de la parábola que dice que cuando los rayos son paralelos al eje de la misma se concentran en el foco de ella, dichos rayos inciden en un elemento receptor ubicado en el foco, que contiene el fluido a calentar.

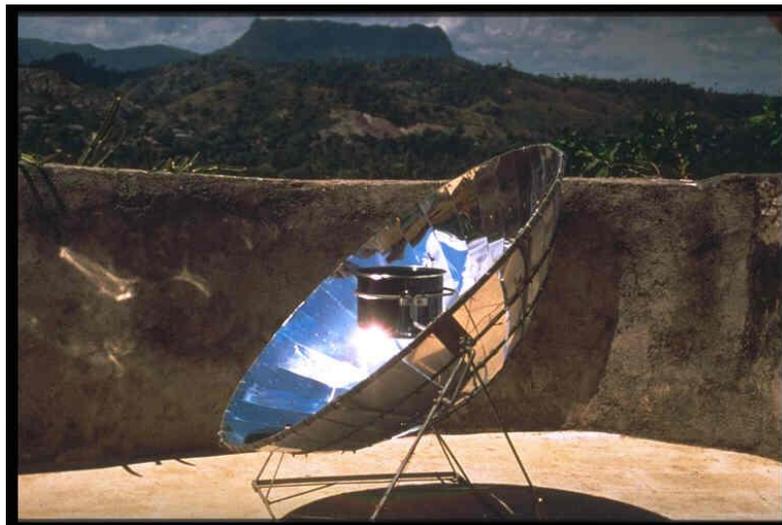


Figura 2.11 Colector Parabólico

DISPOSITIVOS DE CONCENTRACIÓN

Si se necesitan temperaturas muy altas, será necesaria cierta concentración óptica de la energía radiante.

El régimen de concentración "Cr" es la relación entre el área expuesta al sol, normal hacia el haz solar (es decir, el "área de captación") y el área de la imagen solar producida por el dispositivo en el absorbedor.

La ventaja de los dispositivos concentradores no solamente reside en la mayor temperatura que generan, sino también en el hecho de que mientras que se obtiene calor de un área grande, la pérdida de calor se produce solamente en una superficie reducida (el absorbedor en sí). Su desventaja es que pueden aprovechar únicamente la radiación directa, direccional, y no responden a la energía radiante difusa.

Pueden distinguirse cinco tipos básicos de dispositivos de concentración:

1. Espejos de membrana tensionada.



Figura 2.12 Helióstatos

2. Canales parabólicos (reflectores cilíndricos).
3. Reflectores paraboloides.
4. Lentes Fresnel cilíndricas.
5. Lentes Fresnel circulares.

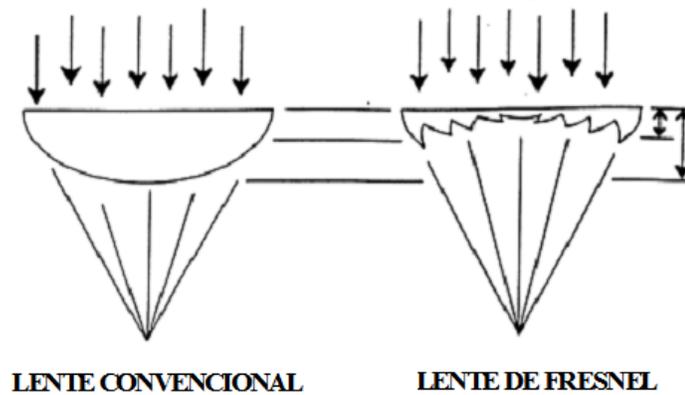


Figura 2.13 Lente convencional y de Fresnel

Las lentes permiten una gran precisión óptica, pero más allá de unos cuantos cientos de milímetros de diámetro son muy caras. Únicamente se utilizan junto con reflectores como concentradores secundarios. No obstante, los espejos merecen un breve análisis.

2.3 ABSORBEDORES

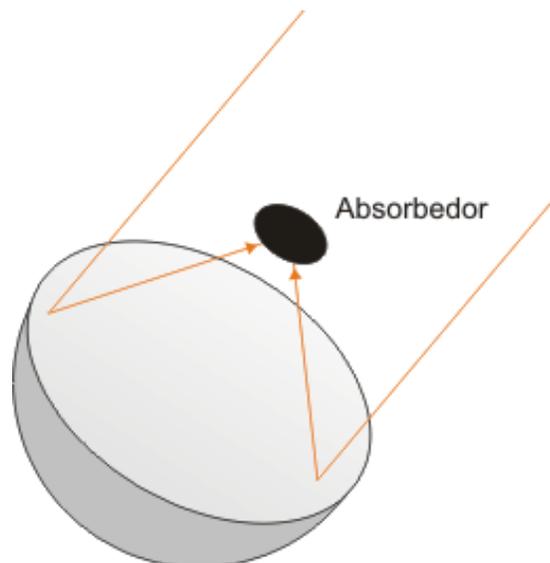


Figura 2.14 Reflector Parabólico

Una alternativa, en el corto plazo, en la generación de potencia de plantas térmicas solares es la generación directa de vapor.⁶

Para lograr esto hoy en día se utilizan los Colectores Solares Parabólicos. Para evitar confusiones de terminología, la palabra colector se aplica al sistema total incluyendo el receptor y el concentrador. El receptor es donde la radiación se absorbe y se convierte en alguna otra forma de energía; esto incluye al absorbedor, que está asociado con la cubierta, y aislamientos.

El concentrador, o sistema óptico, es la parte del colector que direcciona la radiación sobre el receptor. La apertura del concentrador es la abertura a través de la cual la radiación solar entra en el concentrador.⁷ La función del absorbedor es recolectar los rayos del sol emitidos por el concentrador. El absorbedor por lo general está hecho de cobre tipo K de pared delgada, y en su exterior posee una película de cromo negro, a su vez está cubierto de vidrio, el cual tiene como función aislar el absorbedor.

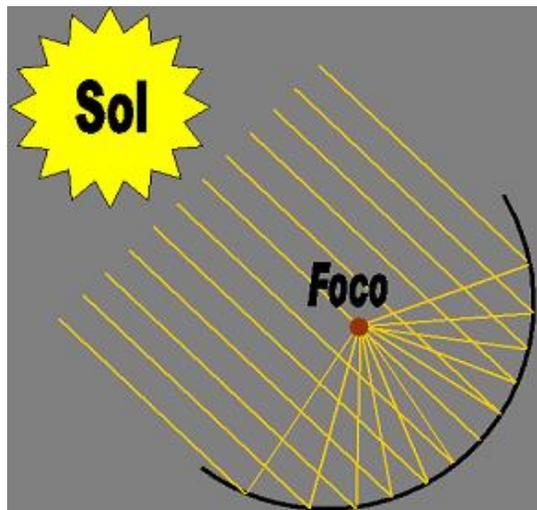


Figura 2.15 Esquema del concentrador

Cuanto más alta es la temperatura a la cual la energía va a ser entregada en un concentrador, mayor deberá ser la razón de concentración, que está dada por la relación entre área de apertura (A_a) y el área del absorbedor (A_r); para lograr esto, la geometría del concentrador necesita ser la más precisa posible, así como el sistema que permite seguir al Sol.

En la figura 2.16 se muestran los valores de razón de concentración y tipos de colectores con los que se puede entregar energía a diferentes temperaturas sobre un absorbedor.

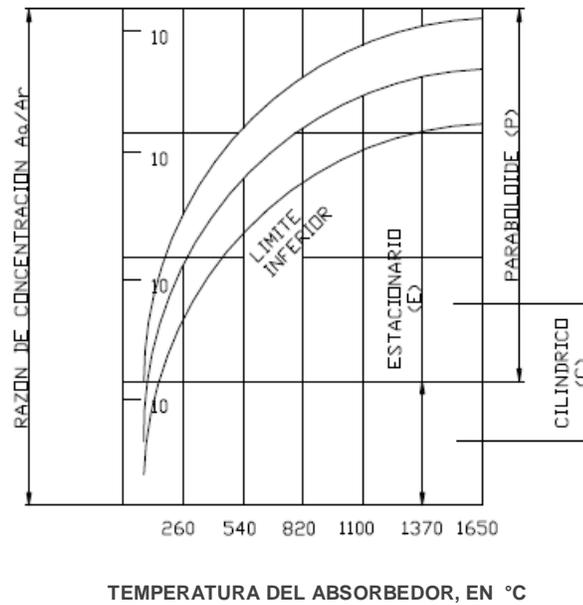


Figura 2.16 Relaciones entre razón de concentración y temperatura de operación del absorbedor

La curva limite inferior representa razones de concentración a las cuales las pérdidas térmicas son iguales a la energía generada. La región sombreada corresponde a eficiencias de colección de 40% a 60% y representa el intervalo usual de buena operación. La escala de densidad de flujo muestra la densidad de flujo promedio de radiación reflejada en el área focal.

2.4 SISTEMAS DE TRANSPORTE DE ENERGÍA

Los sistemas solares de concentración son aquellos que funcionan concentrando la radiación solar directa en un área focal, pudiéndose ubicar ésta alrededor de un punto a lo largo de una línea. Este conjunto de dispositivos requiere de procedimientos o mecanismos de seguimiento, ya que la línea de incidencia varía durante el día y durante el año. Estos sistemas pueden lograr temperaturas de varios centenares de grados centígrados y en casos especiales hasta los miles de grados.

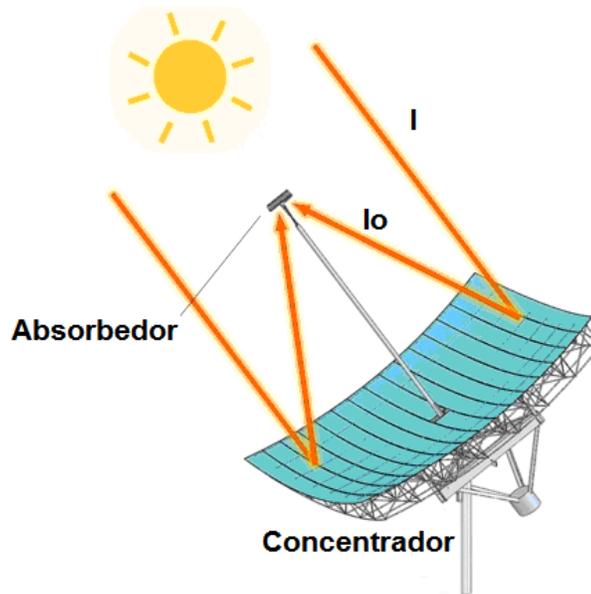


Figura 2.17 Sistema de transporte de energía

Un sistema solar térmico es una especie de intercambiador que transforma la energía radiante en calor. El flujo de energía radiante que finalmente intercepta el concentrador solar, proviene básicamente del rango visible del espectro solar y es por naturaleza variable con el tiempo.

La transferencia de energía se hace desde una fuente radiante (sol), la cual es la energía primaria, y que emite una irradiancia (I) hacia al concentrador parabólico, el mismo que a su vez mediante radiación (I_0) transmite dicha energía al absorbedor en donde internamente encontramos serpentín con un fluido circulando de forma constante dentro de este y que puede ser: agua, aire, o algún tipo de lubricante, en nuestro caso utilizaremos aceite térmico.

En todo este sistema se presentan tres mecanismos de transferencia de calor, como son: radiación la cual es producida por las ondas solares, convección al transmitir la energía (I_0) hacia el absorbedor, y conducción al interactuar internamente el calor con las paredes del serpentín del fluido circulante (aceite térmico). Figura 2.17.

La energía primaria, es transportada en el sistema mediante el aceite térmico, el mismo que va a convertirla en energía secundaria "energía térmica" la cual va a generar calor y con este se pretende calentar el agua del recipiente a presión produciendo vapor que será transportado hacia la cámara de vaporización para efectos de termoterapia.

2.5 RECIPIENTES CILÍNDRICOS

2.5.1 TIPOS DE RECIPIENTES CILÍNDRICOS

Existen numerosos tipos de recipientes cilíndricos que se utilizan en las [plantas](#) industriales o de [procesos](#). Algunos de estos tienen la finalidad de almacenar sustancias que se dirigen o convergen de algún [proceso](#), este tipo de recipientes son llamados en general tanques. Los diferentes tipos de recipientes que existen, se clasifican de la siguiente manera:

- Por su uso

Los podemos dividir en recipientes de [almacenamiento](#) y en recipientes de [procesos](#). Los primeros nos sirven únicamente para almacenar fluidos a presión y de acuerdo con sus [servicios](#) son conocidos como tanques de [almacenamiento](#), tanques de día, tanques acumuladores, etc.

- Por su forma

Los recipientes cilíndricos a presión pueden ser horizontales o verticales y pueden tener en algunos casos, chaquetas para incrementar o decrecer la [temperatura](#) de los fluidos según sea el caso. Los tipos más comunes de recipientes pueden ser clasificados de acuerdo a su [geometría](#) como:

1.- Recipientes Abiertos.

1.1 Tanques Abiertos.

2.- Recipientes Cerrados.

2.1 Recipientes cilíndricos verticales, fondo plano.

2.2 Recipientes cilíndricos horizontales y verticales con cabezas formadas.

Se indica algunas de las generalidades en el uso de tipos más comunes:

a) Recipientes Cerrados

Fluidos combustibles o tóxicos o [gases](#) finos deben ser almacenados en recipientes cerrados. Sustancias químicas peligrosas, tales como ácidos o sosa cáustica son menos peligrosas si son almacenadas en recipientes cerrados.

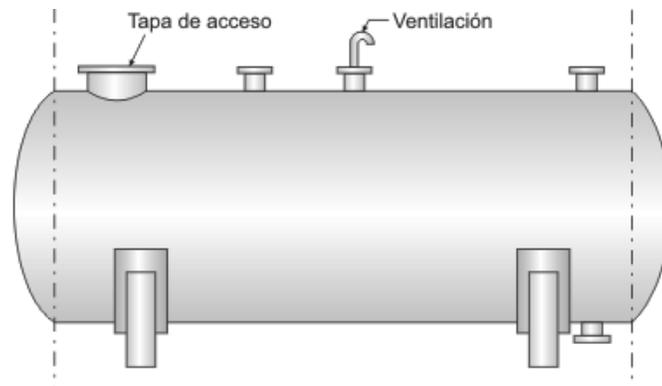


Figura 2.18 Recipiente Cerrado

b) Tanques cilíndricos de fondo plano

El diseño en el tanque cilíndrico vertical operando a la presión atmosférica, es el tanque cilíndrico con un techo cónico y un fondo plano descansando directamente en una cimentación compuesta de arena, grava o piedra triturada.

En los casos donde se desea usar una [alimentación](#) de gravedad, el tanque es levantado arriba del terreno y el fondo plano debe ser incorporado por columnas y vigas de [acero](#).



Figura 2.19 Tanques Cilíndricos de Fondo Plano

c) Recipientes cilíndricos horizontales y verticales con cabezas formadas

Son usados cuando la presión de vapor del líquido manejado puede determinar un diseño más resistente. Varios códigos han sido desarrollados o por medio de los esfuerzos del API y el ASME para gobernar el diseño de tales recipientes. Una gran variedad de cabezas formadas son usadas para cerrar los extremos de los recipientes cilíndricos.

Las cabezas formadas incluyen la semiesférica, elíptica, toriesférica, cabeza estándar común y toricoidal. Para propósitos especiales de placas planas son usadas para cerrar un recipiente abierto. Sin embargo las cabezas planas son raramente usadas en recipientes grandes.

A presiones altas de operación de almacenamiento, el volumen de gas es reducido y por lo tanto los recipientes cilíndricos son más económicos.



Figura 2.20 Recipientes Cilíndricos Horizontales y Verticales con Cabezas Formadas

2.5.2 CRITERIOS DE DISEÑO EN RECIPIENTES A PRESIÓN

Para esta parte nos vamos a referir exclusivamente al **CODIGO ASME SECCION VIII DIVISION 1**. En esta parte del código se establecen los requerimientos mínimos para el diseño, fabricación e inspección y para obtener la certificación autorizada de la ASME (American Society of Mechanical Engineers) para los recipientes a presión, que es lo que se va a ocupar en esta tesis. En base a esto se ha dividido en:

Subsección A.

- Parte UG que cubre los requerimientos generales.

Subsección B. Requerimientos de fabricación

- Parte UW.- Para recipientes que serán fabricados por soldadura.
- Parte UB.- Para recipientes que serán soldados utilizando un material de relleno no ferroso a este proceso se le denomina "brazing"

Subsección C. Requerimientos de materiales

- Parte UCS.- Para recipientes construidos con acero al carbón y de baja aleación.
- Parte UHA.- Para los construidos con materiales de alta aleación (inoxidables).

Alcance sección VIII división 1

El alcance de la sección VIII división 1, intenta cubrir, pero no esta limitado a:

- Recipientes que contengan agua bajo presión y que excedan:
 - Una presión de diseño de 300 psi.
 - Una temperatura de diseño de 210 °F
- Tanques de almacenamiento de agua caliente calentados por medios indirectos y que exceden de:
 - 58,600 W (200,000 Btu/h).
 - 99° c (210°F).
 - 454.3 lt (120 galones).
- Recipientes sujetos a presión de operación interna o externa mayor de 1.0055 Kg./cm² (15psi).
- Recipientes que tengan mas de 15.2 cm (6 pulg) de diámetro interior.
- Recipientes que tengan una presión de diseño que no excede de 3000 psi.

Esfuerzos en recipientes a presión

La categoría e intensidad de los esfuerzos son función de la naturaleza de las cargas, la geometría y construcción de los componentes del recipiente.

- Cargas (UG-22)

- Presión interna o externa.
- Peso del recipiente y su contenido.
- Reacciones estáticas.
- Reacciones cíclicas y dinámicas.
- Presión del viento.
- Fuerzas por sismo.
- Reacciones por impacto.
- Gradientes de temperatura.

- Esfuerzos (UG-23)

- Esfuerzo de tensión.
- Esfuerzo de compresión longitudinal.

Una presión interna o externa uniforme, induce en la soldadura longitudinal un esfuerzo dos veces mayor al esfuerzo producido en la soldadura circunferencial.

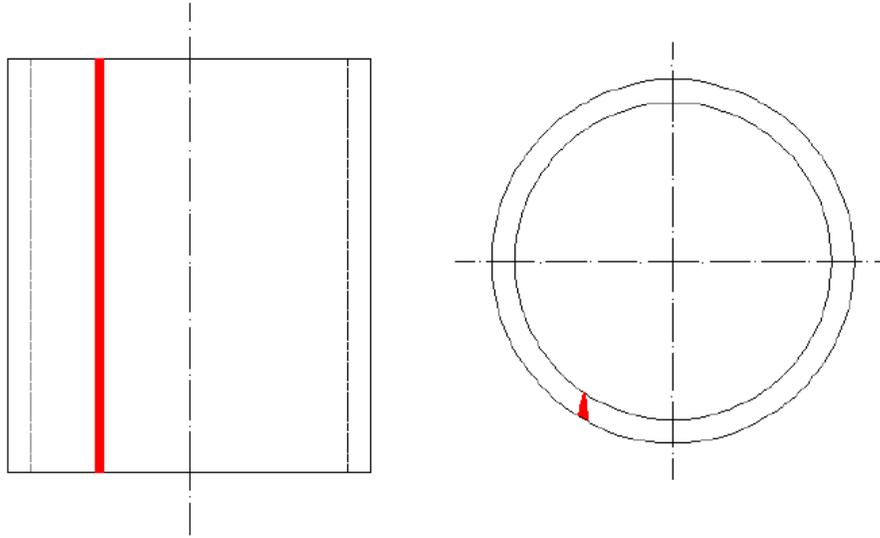


Figura 2.21 Esfuerzos en juntas circunferenciales y longitudinales

Esfuerzo Longitudinal (Juntas Circunferenciales):

$$S_1 = \frac{PD}{4t} \quad (2.6)$$

Esfuerzo Circunferencial (Juntas Longitudinales):

$$S_2 = \frac{PD}{2t} \quad (2.7)$$

Donde:

D: Diámetro (in)

P: Presión interna o externa (psi)

t: Espesor (in)

PRESIÓN INTERNA

- **Presión de operación:** Es la presión requerida por el proceso, a la cual el recipiente esta normalmente operando.
- **Presión de diseño:** Recomendable mayor que la de operación 10% o 30 psi, lo que sea mayor. También se debe considerar la presión del fluido o cualquier otro contenido del recipiente.
 - 1 pie agua = 0,433 psi.
 - 1 psi = 2,309 pies de agua.

MÁXIMA PRESIÓN ADMISIBLE DE TRABAJO (MAWP)

Es la presión interna a la cual el elemento más débil del recipiente esta cargado en su punto máximo permisible, y el recipiente se asume:

- En condición corroída.
- Bajo los efectos de la temperatura de diseño.
- En posición normal de operación.
- Bajo el efecto de otras cargas (viento, presión externa, presión hidrostática, etc.).

EFICIENCIA DE LA JUNTA (UW-12)

El valor de la eficiencia de la junta (E), va a depender del tipo de unión y del grado de radiografiado que se aplique.

Para el caso de juntas a tope soldadas por ambos lados, los valores son los siguientes:

Tabla 2.8 Eficiencia de la junta según el tipo de unión

Valor (E)	TIPO DE UNIÓN	
1	Full	Total
0.85	Spot	Por Puntos
0.7	None	NO

DEFINICION DE PARAMETROS PARA EL DISEÑO DE RECIPIENTES A PRESIÓN.

A continuación se realiza la identificación de componentes de las formulas a utilizar más adelante:

P: Presión de diseño o MAWP (psi).

S: Valor del esfuerzo del material (psi).

E: Eficiencia de la junta.

R: Radio interior/exterior (in).

D: Diámetro interior/exterior (in).

t: Espesor de la pared (in).

C.A: Corrosión admisible (in).

L: Radio de bombeo interno/externo (in).

r: Radio de rebordeo (in).

- En términos de las dimensiones interiores

- Cuerpo cilíndrico

$$t = \frac{P.R}{S.E - 0.6P} \quad (2.8)$$

Con la ecuación 2.8 se calcula el espesor en (in) del recipiente cilíndrico.

$$P = \frac{S.E.t}{R + 0.6t} \quad (2.9)$$

Con la ecuación 2.9 se calcula la presión interna del recipiente en (psi).

Usualmente gobierna el esfuerzo circunferencial en la costura longitudinal. Cuando t excede la mitad del radio interno o P excede $0,385 S^*E$, se usa formulas del apéndice 1.2 del código ASME sección VIII división I, **Anexo G.1**.

- **Cabeza hemisférica**

$$t = \frac{P.R}{2S.E - 0.2P} \quad (2.10)$$

$$P = \frac{2S.E.t}{R + 0.2t} \quad (2.11)$$

Cuando t excede a $0,356 R$ o P excede a $0,665 S^*E$, se usa fórmulas del apéndice 1.3, del código ASME sección VIII división I, **Anexo G.2**.

- **En términos de las dimensiones exteriores**

- **Cuerpo cilíndrico**

$$t = \frac{P.R}{S.E + 0.4P} \quad (2.12)$$

$$P = \frac{S.E.t}{R - 0.4t} \quad (2.13)$$

Usualmente gobierna el esfuerzo circunferencial en la costura longitudinal. Cuando t excede la mitad del radio o P excede $0,385 S^*E$, se usa fórmulas del apéndice 1.2, del código ASME sección VIII división I. **Anexo E.1**.

- **Cabeza hemisférica**

$$t = \frac{P.R}{2S.E + 0.8P} \quad (2.14)$$

$$P = \frac{2S.E.t}{R - 0.8t} \quad (2.15)$$

Cuando t excede a $0,356 R$ o P excede a $0,665 S^*E$, se usa fórmulas del apéndice 1.3, del código ASME sección VIII división I, **Anexo G.2.**

REQUISITOS DE ESPESOR DE LAS CABEZAS UG-32 (A) Y (B)

Para las cabezas formadas (elípticas, toriesféricas, hemisféricas, etc.), el espesor requerido es el espesor en el punto mas delgado después del conformado.

Es una costumbre usar una lamina mas gruesa para prevenir el posible adelgazamiento durante el proceso de conformado.

2.5.3 ABERTURAS

Las aberturas en recipientes a presión deben ser preferentemente: circulares, elípticas "obround" es aquella formada por dos paralelas y los finales semicirculares. Sin embargo el código no prohíbe otras formas de aberturas.

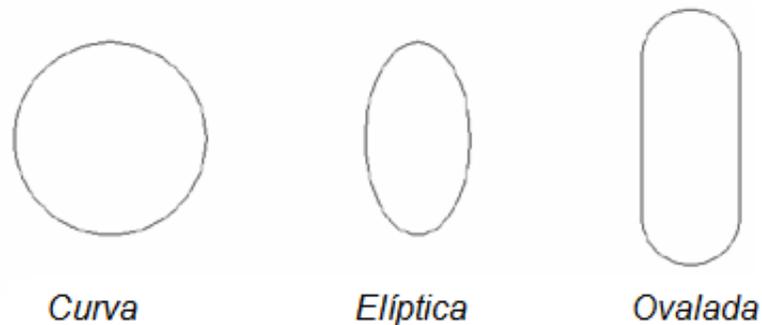


Figura 2.22 Tipos de aberturas

a) Tamaño de aberturas

Las siguientes reglas están en conformidad con los párrafos UG-36 al UG-43 y se aplican para:

- Recipientes de máximo 60" de diámetro interior, la mitad del diámetro del recipiente, pero máximo 20".
- Recipientes de más de 60" de diámetro interior, un tercio del diámetro del recipiente, pero máximo 40".

Para aberturas que excedan estos límites, se debe revisar las reglas del apéndice 1.7, del código ASME sección VIII división I. **Anexo E.3.**

b) Propósito de las aberturas

- Procesar los contenidos del recipiente
- Realizar inspecciones
- Darle servicios e instalar las partes internas
- Limpiar y drenar el recipiente

c) Excepciones del refuerzo UG-36 (c) (3)

Las aberturas en recipientes que no están sujetos a rápidas fluctuaciones en la presión no requieren refuerzo otro que el inherente a la construcción bajo las siguientes condiciones:

1. Conexiones soldadas con una abertura no mayor que:

- 3 ½" de diámetro, en cuerpos o cabezas de recipientes de 3/8" o menos de espesor.
- 2 3/8" de diámetro en cuerpos o cabezas de recipientes sobre 3/8" de espesor.

2. Para conexiones roscadas, atornilladas o expandidas en las cuales el agujero cortado en el cuerpo o cabeza no es mayor que $2 \frac{3}{8}$ " de diámetro.
3. Ningunas dos aberturas sin refuerzos, deberán tener sus centros mas cerca que la suma de sus diámetros.

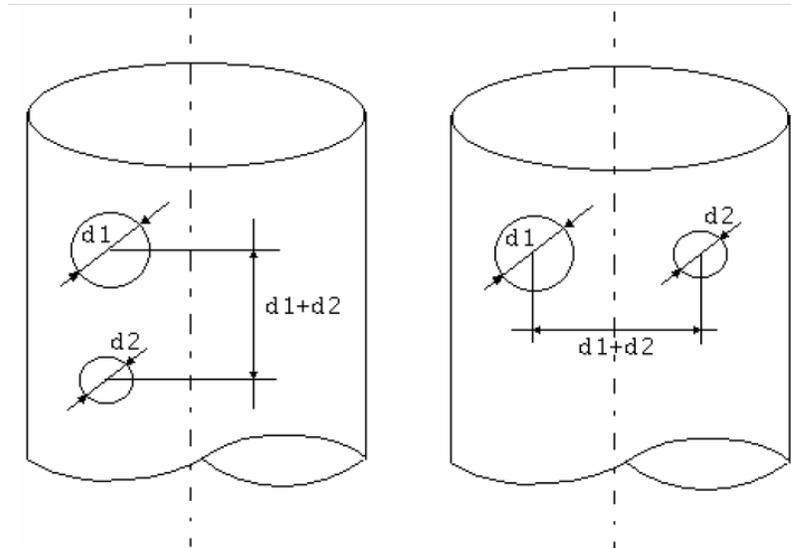


Figura 2.23 Distancia recomendada para aberturas en recipientes a presión

4. Ningunas dos aberturas sin refuerzo en un racimo de tres o mas deberán tener sus centros mas cerca de lo siguiente.

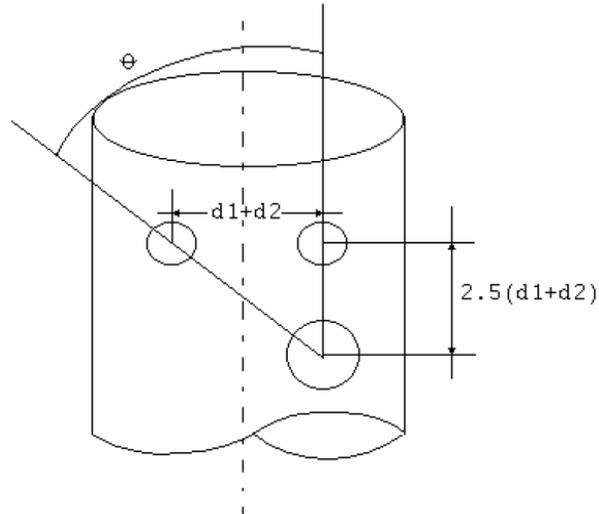


Figura 2.24 Recomendaciones de distancia recomendada para aberturas

- Para cuerpos cilíndricos o cónicos.

$$(1+1,5 * \cos \varnothing) * (d1+d2) \quad (2.16)$$

- Para cuerpos con doble curvatura (cabezas):

$$2,5 * (d1+d2) \quad (2.17)$$

2.5.4 PRUEBAS DE PRESIÓN

Dos tipos de pruebas son usadas en la sección VIII, para determinar la integridad estructural. Estos son, la prueba hidrostática y la prueba neumática, y su propósito es detectar defectos gruesos en el diseño y la fabricación.

a) Prueba hidrostática⁸

Debe ser realizada una vez que la fabricación esta completa.

$$P_h = 1.3 \times \text{MAWP o (P. DISEÑO)} \times \frac{S(\text{temperatura de prueba})}{S(\text{temperatura de diseño})} \quad (2.18)$$

Donde:

P_h: Presión de prueba hidrostática.

MAWP: Máxima presión admisible de trabajo.

P. Diseño: Presión de diseño.

S: Esfuerzo admisible a tensión.

b) Temperatura de la prueba hidrostática

UG-99 (h) recomienda que la temperatura del metal durante la prueba hidrostática sea mantenida al menos 30 °F, arriba de la mínima temperatura de diseño del metal para minimizar el riesgo de fractura frágil.

⁸ Fuente: Código ASME, sección VIII, División 1

La presión de la prueba no deberá ser aplicada hasta que el recipiente y su contenido estén a la misma temperatura. Una inspección visual cercana al recipiente no deberá ser efectuada cuando la temperatura exceda 120 °F.

UG-99 (c) permite una prueba hidrostática, basada en una presión calculada por un acuerdo entre el usuario y el fabricante. Esta presión no puede estar por debajo que la de UG-99 (b) y no puede estar por encima de la cedencia del material.

c) Prueba neumática

Una prueba neumática puede ser usada solamente, cuando el recipiente no haya sido diseñado para soportar el peso del líquido, o donde los trazos del medio para la prueba hidrostática puedan ser peligrosos para las condiciones de servicio del recipiente.

- Presión mínima para la prueba neumática

$$P_N = MAWP \cdot 1.1 \cdot \frac{S_{temp\ prueba}}{S_{temp\ diseño}} \quad (2.19)$$

- Inspección del recipiente

Antes de efectuar un examen visual de las juntas soldadas, la presión deberá ser bajada a la presión de la prueba dividida por 1,3 para la prueba hidrostática, o a la presión de la prueba dividida por 1,1 para pruebas neumáticas.

“Nunca Inspeccione a la Presión de la Prueba Total”

Las pruebas de presión tienen que ser testificadas por el inspector autorizado, para todos los recipientes estampados “U”.

2.5.5 MATERIALES PARA RECIPIENTES A PRESIÓN

a) Especificaciones de los Aceros

Los aceros al carbón y de baja aleación son usualmente usados donde las condiciones de servicio lo permitan por los bajos costos y la gran utilidad de estos aceros.

Los recipientes a presión pueden ser fabricados de placas de acero conociendo las especificaciones de SA-7, SA-113 C y SA-283 A, B, C, y D, con las siguientes consideraciones:

- 1.- Los recipientes no contengan líquidos ó gases letales.
- 2.- La temperatura de operación está entre -20 y 650°F.
- 3.- El espesor de la placa no exceda de 5/8"
- 4.- El acero sea manufacturado por horno eléctrico u horno abierto.
- 5.- El material no sea usado para calderas.

Uno de los aceros más usados en los propósitos generales en la construcción de recipientes a presión es el SA-283 C.

Estos aceros tienen una buena ductilidad, fusión de soldadura y fácilmente máquinables. Este es también uno de los aceros más económicos apropiados para recipientes a presión; sin embargo, su uso es limitado a recipientes con espesores de placas que no excedan de 5/8" para recipientes con un gran espesor de cascarón y presión de operación moderadas el acero SA-285 C es muy usado. En el caso de presiones altas o diámetros largos de recipientes, un acero de alta resistencia puede ser usado como el acero SA-212 B es conveniente para semejantes aplicaciones y requiere un espesor de cascarón de solamente de 790% que el requerido por el SA-285 C. Este acero es también fácilmente fabricado pero es más caro que otros aceros.

El acero SA-283 no puede ser usado en aplicaciones con temperaturas sobre 650°F; el SA-285 no puede ser usado en aplicaciones con temperaturas que excedan de 900°F, y el SA-212 tiene muchos esfuerzos permisibles bajos en las temperaturas más altas, por lo que el acero para temperaturas entre 650 y 1000°F.

El acero SA-204, el cual contiene 0.4 a 0.6% de molibdeno es satisfactorio y tiene buenas cualidades. Para temperaturas de servicio bajas (-50 a -150°F) un acero niquelado tal como un SA-203 puede ser usado. Los esfuerzos permisibles para estos aceros no están especificados por temperaturas bajas de -20°F. Normalmente el fabricante hace pruebas de impacto para determinar la aplicación del acero y fracturas a bajas temperaturas.

En la etapa de diseño de recipientes a presión, la selección de los materiales de construcción es de relevante importancia, para lo cual necesitamos definir una secuencia lógica para la selección de estos.

Así pues realizaremos un breve análisis de la filosofía a que sigue la ASME, para seleccionar sus materiales y por consiguiente para especificarlos como adecuados en la construcción de los recipientes a presión.

b) Clases de materiales para recipientes a presión

El código ASME indica la forma de suministro de los materiales más utilizados, lo cual va implícitas en su especificación. A continuación se dan algunos ejemplos de materiales, su especificación y forma de suministro.

Debido a la existencia de diferentes materiales disponibles en el mercado, en ocasiones no resulta sencilla la tarea de seleccionar el material ya que deben considerarse varios aspectos como costos, disponibilidad de material, requerimientos de procesos y operación, facilidad de formato, etc.

Así pues es necesaria una explicación más amplia acerca del criterio de la selección de los materiales que pueden aplicarse a los recipientes como:

- Aceros al Carbón

Es el más disponible y económico de los aceros, recomendables para la mayoría de los recipientes donde no existen altas presiones ni temperaturas.

- Aceros de Baja Aleación

Como su nombre lo indica, estos aceros contienen bajos porcentajes de elementos de aleación como níquel, cromo, etc. Y en general están fabricados para cumplir condiciones de uso específico. Son un poco más costosos que los aceros al carbón. Por otra parte no se considera que sean resistentes a la corrosión, pero tienen mejor comportamiento en resistencia mecánica para rangos más altos de temperaturas respecto a los aceros al carbón.

- Aceros de Alta Aleación

Comúnmente llamados aceros inoxidable. Su costo en general es mayor que para los dos anteriores. El contenido de elementos de aleación es mayor, lo que ocasiona que tengan alta resistencia a la corrosión.

- **Materiales no Ferrosos**

El propósito de utilizar este tipo de materiales es con el fin de manejar sustancias con alto poder corrosivo para facilitar la limpieza en recipientes que procesan alimentos y proveen tenacidad en la entalla en servicios a baja temperatura.

c) Propiedades que deben tener los materiales para satisfacer las condiciones de servicio.

- **Propiedades Mecánicas**

Al considerar las propiedades mecánicas del material es deseable que tenga buena resistencia a la tensión, alto nivel de cedencia, por cierto de alargamiento alto y mínima reducción de área. Con estas propiedades principales se establecen los esfuerzos de diseño para el material en cuestión.

- **Propiedades Físicas**

En este tipo de propiedades se buscará que el material deseado tenga coeficiente de dilatación térmica.

- **Propiedades Químicas**

La principal propiedad química que debemos considerar en el material que utilizaremos en la fabricación de recipientes a presión es su resistencia a la corrosión. Este factor es de muchísima importancia ya que un material mal seleccionado nos causará muchos problemas, las consecuencias que se derivan de ello son:

- a. Reposición del equipo corroído. Un material que no sea resistente al ataque corrosivo puede corroerse en poco tiempo de servicio.

- b. Sobre diseño en las dimensiones. Para materiales poco resistentes al ataque corrosivo puede ser necesario dejar un excedente en los espesores dejando margen para la corrosión, esto trae como consecuencia que los equipos resulten más pegados, de tal forma que encarecen el diseño además de no ser siempre la mejor solución.
- c. Mantenimiento preventivo. Para proteger los equipos del medio corrosivo es necesario usar pinturas protectoras.
- d. Paros debido a la corrosión de equipos. Un recipiente a presión que ha sido atacado por la corrosión necesariamente debe ser retirado de operación, lo cual implica las pérdidas en la producción.
- e. Contaminación o pérdida del producto. Cuando los componentes de los recipientes a presión se han llegado a producir perforaciones en las paredes metálicas, los productos de la corrosión contaminan el producto, el cual en algunos casos es corrosivo.

- **Soldabilidad**

Los materiales usados para fabricar recipientes a presión deben tener buenas propiedades de soldabilidad, dado que la mayoría de los componentes son de construcción soldada. Para el caso en que se tengan que soldar materiales diferentes entre él, estos deberán ser compatibles en lo que a soldabilidad se refiere.

Un material, cuando más elementos contenga, mayores precauciones deberán tomarse durante los procedimientos de soldadura, de tal manera que se conserven las características que proporcionan los elementos de aleación.

Tabla 2.9 Aceros Recomendables Para Diferentes Temperaturas⁹

TEMPERATURA EN °C	TEMPERATURA EN °F	MATERIAL PARA CASCARON	CABEZAS Y PLANTILLAS DE REFUERZO
-67 a -46.1	-90 a -51	SA-203 B*	SA-203 A
-45.6 a -40.5	-50 a -41	SA-516-65	SA-203 B
-40 a 15.6	-40 a +60	SA-516-70+	SA-516-65
15.6 a 343	+60 a 650	SA-285-C	SA-515-70
344 a 412.8	-651 a +775	SA-515-70	

⁹ www.Monografias.com/Recipiente a presión

2.6 CÁMARAS DE VAPORIZACIÓN

La práctica del sauna de vapor es una saludable costumbre que se ha adoptado por muchos países de todo el mundo, las altas temperaturas dentro de la cámara de vaporización convierten el agua en microgotas calientes las cuales producen un efecto terapéutico y estético en el organismo de cada individuo.

Desde que introducimos nuestro cuerpo en el sauna de vapor en donde el clima será aproximadamente de entre 43° C y 46° C y la humedad relativa de un 100%, se generan una cantidad de beneficios que ninguna otra actividad puede otorgarnos¹⁰.

Las cámaras de vaporización constituyen una parte fundamental de los baños de vapor, para el diseño de estas, debemos tener en cuenta consideraciones importantes como las siguientes:

- La humedad en los baños de vapor excede el 100%.
- Los baños de vapor usualmente mantienen una temperatura mas baja que las saunas. La temperatura en los baños de vapor no excede 49 grados centígrados (120 Fahrenheit).
- Las "nubes de vapor" crean un ambiente casi místico dentro de las cabinas de vapor.

Uno de los principales componentes de las cámaras de vaporización es la madera (Figura 2.22), la misma que se emplea para la construcción de estas y que desempeña un papel vital ya que mantiene una atmósfera adecuada dentro de la cámara y posee la capacidad de absorber la humedad cuando ésta se transforma en excesiva para luego cederla paulatinamente.

¹⁰ www.Monografias.com/Sauna de vapor



Figura 2.25 Cámaras de vaporización

Los baños de vapor se toman en cámaras de vaporización herméticas de madera, esto se alterna con la presencia de agua fría en el cuerpo, para de esta manera generar un equilibrio de temperatura en el cuerpo.

Al realizarse un Baño de Vapor, obtendremos como resultado, una purificación a fondo de la piel, sobre todo si durante el baño se aprovecha para hacer unos peeling exfoliantes con arcilla o almendras dulces, o si se hacen masajes con óleos perfumados. El vapor dilata los poros de la piel, favoreciendo la transpiración y la limpieza en profundidad. Es ideal para devolver al rostro la luminosidad perdida, para depurar y desintoxicar la epidermis corporal.

2.7 PÉRDIDAS HIDRÁULICAS

2.7.1 CARACTERISTICAS GENERALES DEL FUJO DE FLUIDOS

- 1) Puede ser estacionario o no estacionario
- 2) Puede ser compresible o incompresible
- 3) Puede ser viscoso o no viscoso
- 4) El flujo puede ser rotacional o irrotacional

2.7.2 ECUACION DE CONTINUIDAD

La conservación de la masa de fluido a través de dos secciones (sean éstas S1 y S2) de un conducto (tubería) o tubo de corriente establece que: la masa que entra es igual a la masa que sale.

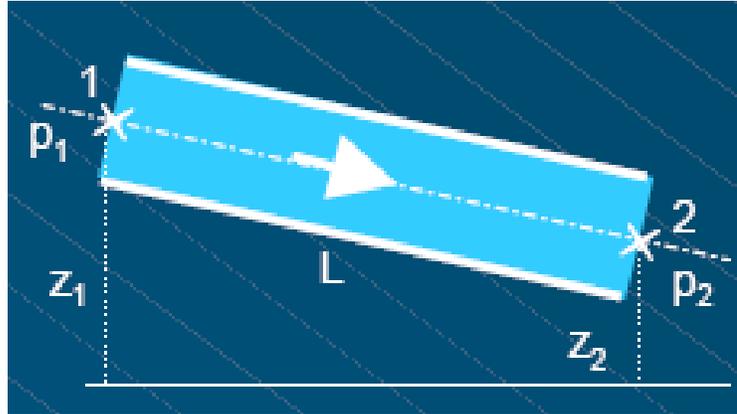


Figura 2.26 Principio de conservación de la masa

Definición de tubo de corriente: Superficie formada por las líneas de corriente.

Nota: Solo hay tubo de corriente si V es diferente de 0.

La ecuación de continuidad se puede expresar como:

$$\rho_1 \cdot S_1 \cdot V_1 = \rho_2 \cdot S_2 \cdot V_2 \quad (2.20)$$

Cuando $\rho_1 = \rho_2$, que es el caso general tratándose de agua, y flujo en régimen permanente, se tiene:

$$S_1 \cdot V_1 = S_2 \cdot V_2 \quad (2.21)$$

o de otra forma:

$$Q_1 = Q_2 \quad (2.22)$$

Donde:

- **Q** = caudal (m^3 / s)
- **V** = velocidad (m / s)
- **S** = sección del tubo de corriente o conducto (m^2)

Esto se cumple cuando entre dos secciones de la conducción no se acumula masa, es decir, siempre que el fluido sea incompresible y por lo tanto su densidad sea constante. Esta condición la satisfacen todos los líquidos y, particularmente, el agua.

En general la geometría del conducto es conocida, por lo que el problema se reduce a estimar la velocidad media del fluido en una sección dada.

2.7.3 PRINCIPIO DE BERNOULLI

A estos efectos es de aplicación el Principio de Bernoulli, que no es sino la formulación, a lo largo de una línea de flujo, de la Ley de conservación de la energía. Para un fluido ideal, sin rozamiento, se expresa

$$h + (v^2 / 2g) + (P / \rho g) = \text{constante} \quad (2.23)$$

Donde:

- **g** = aceleración de la gravedad
- **ρ** = peso específico del fluido
- **P** = presión

Se aprecia que los tres sumandos son, dimensionalmente, una longitud (o altura), por lo que el Principio normalmente se expresa enunciando que, a lo largo de una línea de corriente la suma de la altura geométrica, la altura de velocidad y la altura de presión se mantiene constante.

Cuando el fluido es real, para circular entre dos secciones de la conducción deberá vencer las resistencias debidas al rozamiento con las paredes interiores de

la tubería, así como las que puedan producirse al atravesar zonas especiales como válvulas, ensanchamientos, codos, etc.

Para vencer estas resistencias deberá emplear o perder una cierta cantidad de energía o, con la terminología derivada del Principio de Bernoulli de altura, que ahora se puede formular, entre las secciones 1 y 2:

$$h_1 + \frac{v_1^2}{2g} + \frac{P_1}{\rho g} = h_2 + \frac{v_2^2}{2g} + \frac{P_2}{\rho g} + h_{perdidas(1,2)} \quad (2.24)$$

Donde pérdidas (1,2) representa el sumando de las pérdidas continuas (por rozamiento contra las paredes) y las localizadas (al atravesar secciones especiales).

2.7.4 NÚMERO DE REYNOLDS Y FLUJO EN TUBERÍAS

A bajas velocidades, las moléculas del fluido o partículas arrastradas por el fluido se mueven en una línea recta. La velocidad del fluido es máxima en el centro de la tubería y cero en la pared del tubo. Este flujo se denomina laminar.

Si la velocidad se aumenta, alcanza un punto crítico en el que las partículas del fluido muestran un movimiento aleatorio transversal a la dirección del flujo. Esta es la velocidad crítica y el régimen de movimiento del fluido se denomina turbulento. Por encima de la velocidad crítica se considera el flujo turbulento pese a que hay una capa en la pared del tubo donde el flujo es laminar. En la zona de régimen turbulento, el perfil de velocidades es próximo a un frente recto a lo largo de la sección de la tubería.

Reynolds desarrolló un número adimensional:

$$Re = \frac{D.V.\rho}{\mu} \quad (2.25)$$

D: Diámetro interno de la tubería, ft

ρ : Densidad del fluido, lb/ft³

V: Velocidad del fluido, ft/s

μ : Viscosidad, lb/ft s

Si el número de Reynolds es menor que 2000, el flujo puede considerarse laminar; si está por encima de 4000, el flujo es turbulento; en la zona entre 2000 y 4000 puede ser turbulento o laminar y no puede predecirse por el número de Reynolds.

A efectos de cálculo de fricción en tubería se considera en esta región flujo turbulento dado que los factores calculados en este régimen turbulento son mayores.

2.7.5 FACTOR DE FRICCIÓN F

El factor f determina básicamente la influencia que tiene la rugosidad ϵ de las paredes de la tubería sobre las pérdidas de carga, así como la corrección a aplicar con respecto a un flujo totalmente turbulento.

Una tubería rugosa, da un factor de fricción mayor que en una tubería lisa. Por consiguiente si se pulimenta una tubería rugosa, el factor de fricción disminuye y llega un momento en que si se sigue pulimentándola, no se reduce más el factor de fricción para un determinado número de Reynolds.

Tabla 2.10 Valores de rugosidad absoluta para distintos materiales

RUGOSIDAD ABSOLUTA DE MATERIALES	
Material	ϵ (mm)
Plástico (PE, PVC)	0,0015
Poliéster reforzado con fibra de vidrio	0,01
Tubos estirados de acero	0,0024
Tubos de latón o cobre	0,0015
Fundición revestida de cemento	0,0024
Fundición con revestimiento bituminoso	0,0024
Fundición centrifugada	0,003

Fundición asfaltada	0,06 - 0,18
Fundición	0,12 - 0,60
Acero comercial y soldado	0,03 - 0,09
Hierro forjado	0,03 - 0,09
Hierro galvanizado	0,06 - 0,24
Madera	0,18 - 0,90
Hormigón	0,3 - 3,0

La aplicación de las técnicas de análisis adimensional permite expresar el factor f como una función del número de Reynolds Re y de la rugosidad relativa de las paredes de la tubería, ϵ_r .

- **Blasius** (1911) obtiene de forma experimental una primera expresión de f en función de Re , válida para tubos lisos (aquellos en que ϵ_r no afecta al flujo, al quedar las irregularidades cubiertas por la subcapa laminar) hasta $Re < 10^5$.

$$f = 0,3164 Re^{-0,25} \quad (2.26)$$

- **Colebrook-White** (1939) consiguen una expresión, válida para todos los tipos de flujo y rugosidades. Además, que es adaptable para tubos comerciales con tal de identificar su rugosidad relativa $\epsilon_r = \epsilon/D$:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left(\frac{\epsilon}{3,71D} + \frac{2,51}{Re \sqrt{f}} \right) \quad (2.27)$$

- **Moody** (1944) consigue representar la expresión de Colebrook en un ábaco de fácil manejo, que integra el valor de f para todos los tipos de flujos.

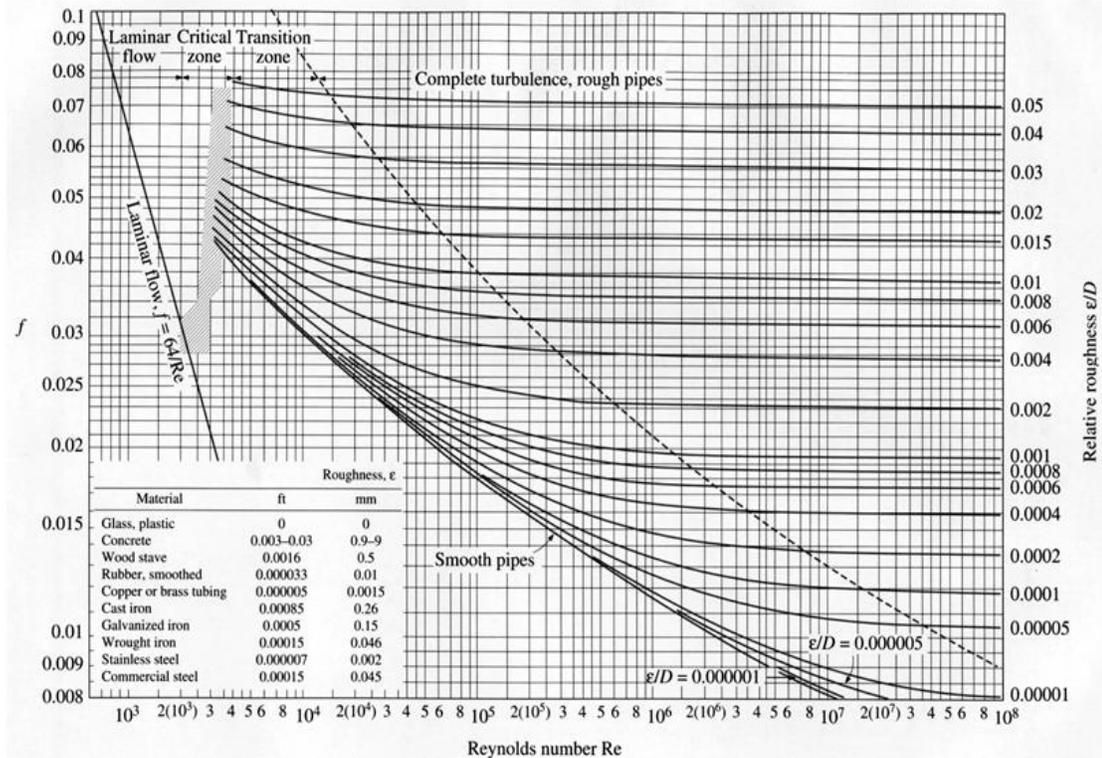


Figura 2.27 Diagrama de Moody

2.7.6 PÉRDIDAS CONTÍNUAS

Las pérdidas por rozamientos son función de la rugosidad del conducto, de la viscosidad del fluido, del régimen de funcionamiento (flujo laminar o flujo turbulento) y del caudal circulante, es decir de la velocidad (a más velocidad, más pérdidas).

La fórmula de Colebrook, para el cálculo del factor de fricción, combinada con la fórmula de Darcy, constituye hoy por hoy el modo más exacto y universal para determinar las pérdidas.

a) Pérdidas continuas para líquidos

Las pérdidas por fricción que acompañan al fluido en movimiento y que anteriormente hemos denominado h_L (expresada en ft de líquido) dan lugar a una pérdida de energía disponible en el sistema.

La ecuación general para la pérdida de energía por fricción, expresada como pérdida de presión, para un líquido en una tubería viene expresada por la ecuación de Darcy:

$$\Delta P = \frac{f \cdot \rho \cdot L \cdot V^2}{144 D \cdot 2g} \quad (2.28)$$

Donde:

ΔP: Pérdida de presión psi

P: Densidad del fluido, lb/ft³

V: Velocidad del fluido, ft/s

g: Aceleración debida a la gravedad, 32,2 ft/s²

D: Diámetro interno de la tubería, ft

d: Diámetro interno de la tubería, in

f: Factor de fricción Darcy = 4 veces el f.f. Fanning

L: Longitud equivalente de tubería, ft

Q: Flujo, gpm

Sustituyendo:

$$\Delta P = \frac{0,000216 f \rho L Q^2}{d^5} \quad (2.29)$$

Para pequeños cambios en el caudal se puede asumir que el factor de Fanning (f) es constante.

b) Pérdidas continuas para gases

La ecuación general para la pérdida de presión por fricción (ΔP) de un gas en una tubería (Darcy) se expresa como:

$$\Delta P = \frac{3.36 \times 10^{-6} f L W^2 \bar{V}}{d^5} \quad (2.30)$$

Donde:

ΔP: Pérdida de presión psi

- ρ:** Densidad del fluido, lb/ft³
- V:** Volumen específico (ft³/lb)
- d:** Diámetro interno de la tubería, in
- f:** Factor de fricción Darcy = 4 veces el f.f. Fanning
- L:** Longitud equivalente de tubería, ft
- W:** Flujo másico, lb/h

2.7.7 PÉRDIDAS LOCALIZADAS

En el caso de que entre las dos secciones de aplicación del Principio de Bernoulli existan puntos en los que la línea de energía sufra pérdidas localizadas (salidas de depósito, codos, cambios bruscos de diámetro, válvulas.), las correspondientes pérdidas de altura se suman a las correspondientes por rozamiento. En general, todas las pérdidas localizadas son solamente función de la velocidad, viniendo ajustadas mediante expresiones experimentales del tipo:

$$pl = K * \frac{v^2}{2g} \quad (2.31)$$

En donde:

- pl:** Pérdida de carga o de energía localizada (m)
- K:** Coeficiente empírico (adimensional)
- v:** Velocidad media del flujo (m/s)
- g:** Aceleración de la gravedad (m/s²)

El coeficiente "K" depende del tipo de singularidad y de la velocidad media en el interior de la tubería y se encuentran tabulados, o deben ser proporcionados por los fabricantes de piezas para conducciones.

Tabla 2.11 Los valores aproximados de "K" para cálculos rápidos

VALORES DEL COEFICIENTE K EN PÉRDIDAS SINGULARES		
ACCIDENTE	K	L/D
Válvula esférica (totalmente abierta)	10	350
Válvula en ángulo recto (totalmente abierta)	5	175
Válvula de seguridad (totalmente abierta)	2,5	-
Válvula de retención (totalmente abierta)	2	135
Válvula de compuerta (totalmente abierta)	0,2	13
Válvula de compuerta (abierta 3/4)	1,15	35
Válvula de compuerta (abierta 1/2)	5,6	160
Válvula de compuerta (abierta 1/4)	24	900
Válvula de mariposa (totalmente abierta)	-	40
T por salida lateral	1,80	67
Codo a 90° de radio corto (con bridas)	0,90	32
Codo a 90° de radio normal (con bridas)	0,75	27
Codo a 90° de radio grande (con bridas)	0,60	20
Codo a 45° de radio corto (con bridas)	0,45	-
Codo a 45° de radio normal (con bridas)	0,40	-
Codo a 45° de radio grande (con bridas)	0,35	-

CAPITULO 3

SISTEMAS ENERGÉTICOS PARA TERMOTERAPIA

3.1 TERMOTERAPIA Y CALIDAD DE VIDA

La termoterapia es la aplicación con fines terapéuticos de calor sobre el organismo por medio de cuerpos materiales de temperatura elevada, por encima de los niveles fisiológicos. El agente terapéutico es el calor, que se propaga desde el agente térmico hasta el organismo, produciendo en principio una elevación de la temperatura y, como consecuencia de esta elevación, surgen los efectos terapéuticos.

Para que un agente térmico se considere caliente debe estar entre los 34 y 36 °C como mínimo y el límite superior está fijado con respecto a la sensibilidad cutánea y no debe sobrepasar los 58 °C. El calor se propaga de un cuerpo a otro mediante los siguientes mecanismos¹⁰:

- **Radiación**

Es la transmisión del calor (energía en forma de ondas electromagnéticas) a través del vacío. Es el principal mecanismo de termólisis del organismo.

¹⁰ <http://www.publispain.com/balnearios/termoterapia.html>

No solo se produce emisión sino que se produce también absorción de radiación electromagnética. El poder absorbente, así como el poder de radiación del cuerpo depende de su temperatura, de su naturaleza y de su superficie.

- **Conducción**

Es un mecanismo de intercambio de energía térmica entre dos superficies en contacto. Se produce entre dos áreas de diferente temperatura, por colisión molecular directa y por desplazamiento de electrones libres. La energía térmica pasa de lugares de mayor temperatura a lugares de menor temperatura.

Los tejidos del cuerpo humano presentan, en general, una baja conductividad térmica, se comportan como aislantes. Los tejidos con gran contenido de agua (músculos, sangre) presentan una mayor conductividad. Si se interpone aire entre un agente termoterápico y la piel, será difícil la transmisión del calor.

- **Convección**

Consiste en la transferencia de calor que tiene lugar en un líquido (agua, sangre, etc.). Aunque en los líquidos y gases una parte del calor se transfiere por conducción, una mayor cantidad hace por convección. En el cuerpo humano se produce transporte de calor desde la profundidad hacia la superficie corporal, por conducción y por convección. El mecanismo convectivo, en el que desempeña un papel fundamental la circulación sanguínea, actúa a modo de radiación y es la causa principal de que a corta distancia de la piel la temperatura central sea prácticamente uniforme.

- **Evaporación**

Es un mecanismo termolítico, variante de la convección, consistente en una transferencia de calor corporal por la vaporización del sudor y del agua de los pulmones, durante la espiración. Es un mecanismo imprescindible frente a temperaturas externas elevadas. Las pérdidas por evaporación (a través del sudor) aumentan con la elevación de la temperatura ambiental.

- **Conversión**

Es la transformación de otras formas de energía en calor. Ejemplo: los ultrasonidos donde la energía mecánica produce fricción y se transforma en calor¹¹.

El hombre es un ser homeotermo, es decir, que mantiene su temperatura constante. Esto lo realiza por medio de un proceso denominado termorregulación, necesario para poder realizar todos los procesos vitales. La variación de la temperatura va a poner en marcha la termorregulación y esto va a producir ante una elevación de la temperatura una vasodilatación periférica, sudoración, hiperventilación, irradiación térmica y piloerección. Si hay un descenso de la temperatura el cuerpo va a responder con una vasoconstricción periférica, un estímulo circulatorio profundo, activación de los órganos internos y contracción muscular.

El cuerpo elimina el calor por:

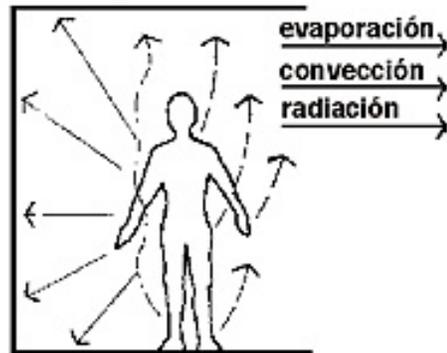


Figura 3.1 Transferencia de calor en el cuerpo humano

¹¹ www.sld.rehabilitacion.termoterapia_generalidades.pdf

3.1.1 CLASIFICACIÓN DE LA TERMOTERAPIA

Según, si el calentamiento se realiza de forma superficial o en profundidad, se distinguen dos tipos de termoterapia: superficial y profunda. Además, la termoterapia puede ser por conducción y convección térmica o por conversión de otras formas de energía en calor, de acuerdo con el mecanismo físico predominante de producción o transmisión de calor en los tejidos.

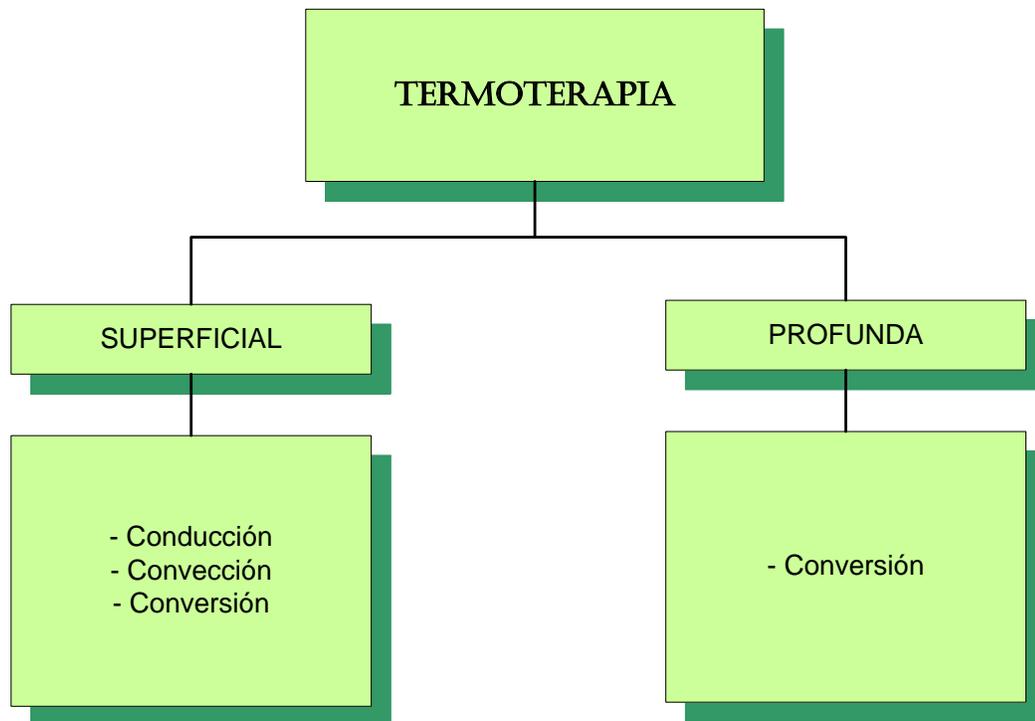


Figura 3.2 Cuadro de clasificación de la Termoterapia

En la actualidad, se dispone de una gran variedad de medios termoterápicos, que pueden clasificarse según diversos criterios. Los más empleados se basan en la profundidad de la acción térmica y en el mecanismo principal de transferencia de calor.

Los agentes y medios termoterápicos, según su profundidad de acción, se clasifican en superficiales y profundos. Los superficiales sólo producen un calentamiento de la superficie corporal, ya que su penetración es muy baja, por absorberse cutáneamente casi en su totalidad.

Los medios profundos producen efectos biológicos gracias al calentamiento directo de los tejidos situados en mayor profundidad. Este grupo incluye: onda corta, microondas y ultrasonidos.

Tabla 3.1 Modalidades de termoterapia y agentes terapéuticos

	CONDUCCIÓN	CONVECCIÓN	CONVERSIÓN
SUPERFICIAL	<ul style="list-style-type: none"> - Envolturas y compresas - Almohadillas eléctricas - Bolsas calientes - Arena caliente 	<ul style="list-style-type: none"> - Baños - Duchas calientes - Sauna - Baños de vapor 	<ul style="list-style-type: none"> - Infrarrojos

	- Parafina - Peloides - Parafangos	- Fluidoterapia	
PROFUNDA			- Onda corta - Microondas - Ultrasonidos

3.1.2 BAÑOS DE CAJÓN

También conocido como “Lavado de sangre” consiste en una serie de reacciones nerviosas y circulatorias provocadas por las frecuentes abluciones de agua fría sobre la piel calentada al vapor. No basta solo transpirar para eliminar con eficacia los venenos y toxinas de la sangre, es necesario producir la reacción térmica del cuerpo, y ello se consigue con las abluciones de agua fría cada tres o cuatro minutos en el transcurso de treinta o cuarenta y cinco minutos que dura este baño¹².

¹² www.vaponordic.com

En este proceso, se despierta la actividad nerviosa que acelera el cambio orgánico predisponiendo a la regeneración de todo el cuerpo alternando calor y frío sobre la piel se produce un flujo y reflujo sanguíneo desde el interior a la superficie y viceversa, realizándose de esta manera el verdadero lavado de sangre a través de los millones de poros de la piel.



Figura 3.3 Sesión de baños de cajón

3.1.3 BENEFICIOS TERAPEUTICOS

Los baños de vapor, la sauna finlandesa, los baños turcos, las termas romanas, etc., desde tiempos remotos hombres y mujeres han disfrutado de sus beneficios. En todos los casos, los beneficios terapéuticos de los distintos baños de vapor son innegables. Para gozar de las bondades de los baños de vapor de agua no hace falta que viajes a exóticos países, ni tan siquiera tienes que ir a un centro estético. Puedes experimentar sus ventajas en casa.

El baño de vapor conlleva a una serie de inmejorables beneficios para nuestro organismo, desde dormir mejor hasta el alivio de dolores reumáticos, sin olvidar que deja la piel lustrosa y perfecta para recibir cualquier tipo de tratamiento dermatológico. Uno de los principales beneficios de dicha práctica es la activación de la circulación; el corazón activa los latidos de forma que permite transportar la sangre hasta la superficie de la piel para enfriarla, es esta aceleración la que permite eliminar los desechos del organismo colaborando a corregir patologías tales como la celulitis.

Además, alivian el dolor ya que la combinación de calor corporal mejora la circulación de emisiones de endorfinas; el calentamiento de las articulaciones desarticula las articulaciones rígidas eliminando así las molestias, se ha comprobado que las enfermedades pulmonares obstructivas mejoran transitoriamente si tomamos sesiones seguidas de baños de vapor, pacientes afectados por las mismas han revelado una gran mejoría en su sistema respiratorio luego de haberlos probado.

Entre otros beneficios que presenta este sistema de termoterapia, tenemos los siguientes¹³:

- Aumento de vascularización ([hiperemia](#)): Hay un mayor flujo de sangre.
- Disminución de la [tensión arterial](#) por la [vasodilatación](#).
- Aumento de las defensas en todo el organismo.
- Disminución de la [inflamación](#) en inflamaciones subagudas y crónicas.
- Efecto [analgésico](#), ya que rompe el círculo vicioso de dolor - contractura - dolor.
- Aumento de la frecuencia respiratoria ([taquipnea](#)).
- Actúa también sobre el aparato digestivo como [laxante](#), ya que aumenta el [peristaltismo](#).
- Fluidifica las mucosidades.

¹³ www.wikipedia.org

Como podemos observar existe una gran cantidad de beneficios al utilizar los baños de vapor, por lo cual es recomendable que el ser humano valore la importancia de la utilización de estos sistemas, ya que así podrá mejorar su calidad de vida.

En nuestro tiempo las saunas y los baños de vapor son parte de un estilo de vida saludable. Son asociados con los gimnasios y los spas. Los beneficios de los baños de calor incluyen: relajamiento muscular y mental, eliminación de toxinas, eliminación del exceso de agua en los músculos, mejoraría en algunas condiciones como la artritis.

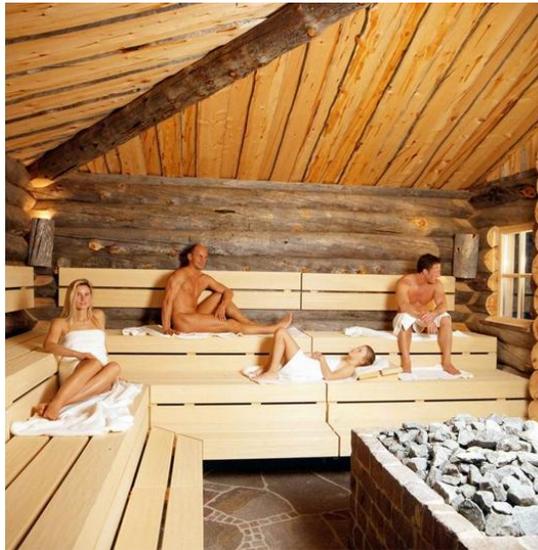


Figura 3.4 Sauna en Spa

3.2 TIPOS DE SISTEMAS ENERGÉTICOS PARA TERMOTERAPIA

La Termoterapia, es conocida como el calentamiento de los tejidos orgánicos con fines terapéuticos. Para lograr esto, cuenta con algunos sistemas energéticos superficiales, que utilizan como principal mecanismo para la transferencia de calor la convección. Dentro de los cuales se destacan: los saunas y baños de cajón, como se muestra en la Figura 3.4.

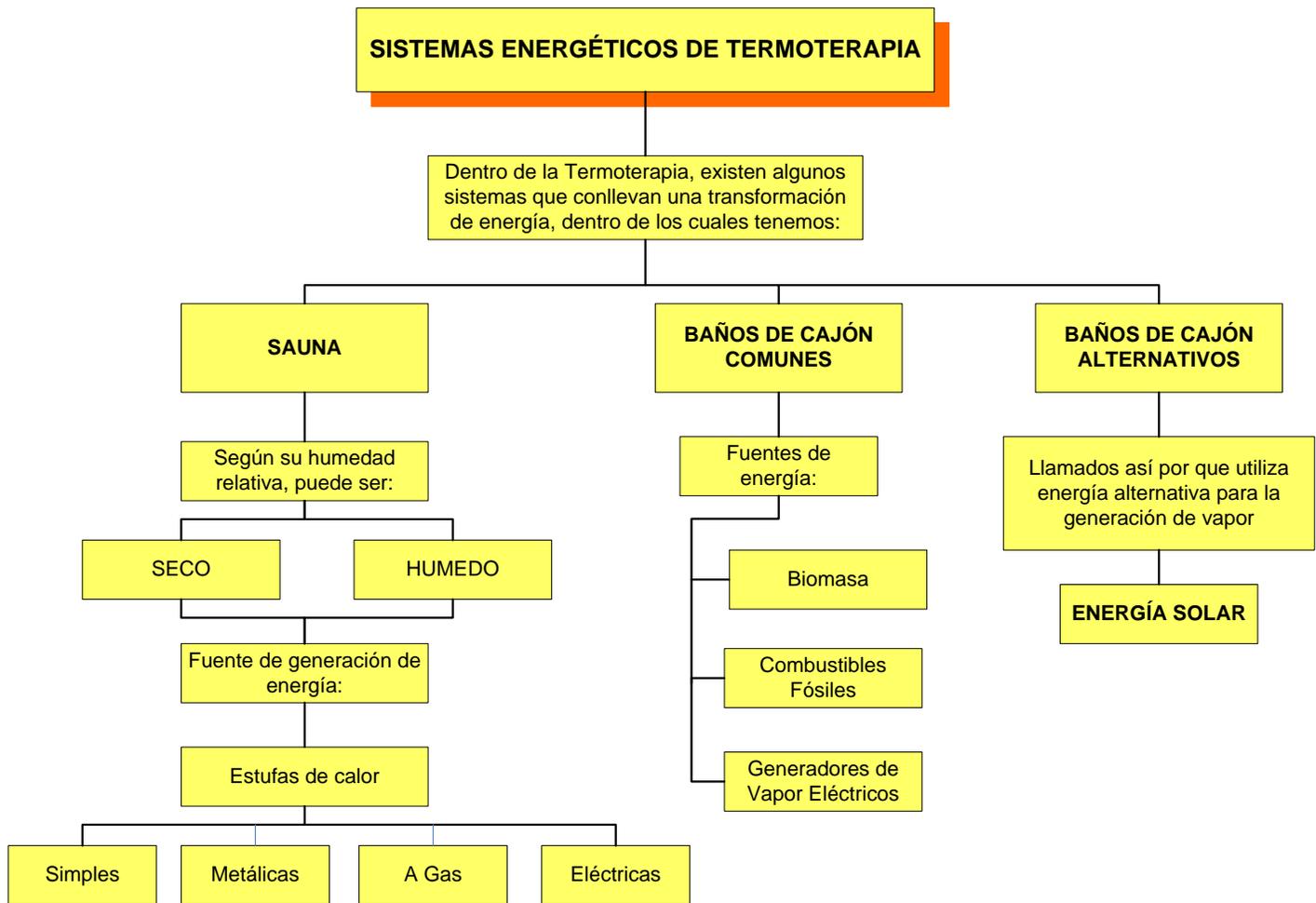


Figura 3.5 Cuadro sinóptico de los sistemas energéticos para la Termoterapia

3.2.1 SAUNAS

Se denomina sauna a un baño de vapor o sudoración que se realiza en un recinto a muy alta temperatura. Dependiendo de la humedad relativa dentro del recinto la sauna puede ser húmeda o seca.

a) Seco: El interior de los saunas secos está revestido de madera y las cabinas de sauna están calentadas por leña o electricidad.



Figura 3.6 Cámara de Sauna Seco

b) Húmedo: Es conocido también como baño turco o "Hamam" es un baño de vapor caliente que oscila sobre los 50°C sin superar los 70°C con un humedad relativa que ronda el 100%. Suelen ser salas herméticas donde se mantienen esas condiciones.



Figura 3.7 Cámara de Sauna Húmedo

Los elementos básicos que conforman un sauna son la cabina y la estufa, siendo esta última la que produce y emite el calor, Puede funcionar por medio de la combustión o, modernamente, por electricidad.

Es un sistema de calentamiento unitario o local, que solamente sirve para el local en que se encuentra, el fuego está protegido de contactos accidentales y permite una regulación de la potencia, mediante el paso de entrada de aire de combustión¹⁴.

ESTUFAS DE CALOR

- Estufa Simple

La estufa simple de una hoguera cubierta de pedras pronto fue sustituida por otros métodos de producción de calor. La sauna de humo consistía en una bóveda de piedra en la que se su interior se realizaba el fuego y una cúpula redondeada donde se ponían las piedras. Muchas veces coincidía con el fogón de la casa y en el siglo XI se desarrolló una modificación que hacia compatible el uso del mismo fogón para calentar la sauna y para las labores domésticas llegando a especializarse en de la sauna en su función de *cuarto de baño*. Estos fogones no poseían chimenea y el humo llenaba el recinto.



Figura 3.8 Sauna De Humo

¹⁴ www.wikipedia.org/Sauna

- Estufa Metálica

A comienzos del siglo XX, en 1910, se comienzan a fabricar las estufas metálicas que fueron mejorándose rápidamente. En la década de los 30 ya las

llamas no tocaban las piedras y el humo no se veía ya que poseía una chimenea permitiendo mantener el fuego encendido durante el baño y producir vapor mientras haya leña.

Estas tenían en la parte superior una plancha caliente donde se ponen los pucheros, con un orificio circular que sirve para alimentar de combustible el brasero, y como tapadera una serie de aros concéntricos, también de fundición para el cierre parcial o total de la abertura.



Figura 3.9 Sauna con Estufa Metálica

- **Estufa Eléctrica**

A mediados del siglo XX se incorporó la estufa eléctrica que no tenía las incomodidades de las de fuego. No precisaban de salida de humos, el control de la temperatura es muy sencillo y se puede instalar en cualquier lugar, lo que permitió la instalación de saunas en los pisos como una habitación más. Esta estufa disponía de un dispositivo que produce energía calorífica a partir de la eléctrica.

El tipo más difundido fue el calefactor eléctrico "resistivo", donde la generación del calor se debe al **Efecto Joule** (Los calefactores resistivos generan calor

proporcionalmente al cuadrado de la corriente eléctrica que fluye a través de ellos).



Figura 3.10 Estufas Eléctricas

- **Estufa de gas**

Es un tipo de estufa que genera el calor mediante la combustión de un gas, generalmente butano, en un quemador en la atmósfera que va a calentar. Su gran ventaja es que es económica de adquirir y explotar y que genera mucha más potencia que las eléctricas, calentando el ambiente mucho más deprisa.

Tiene varios inconvenientes: el aire de la combustión ha de entrar desde el exterior, frío, lo que refrigera la atmósfera que se pretende calentar. Si no hubiera suficiente entrada de aire la combustión será incompleta con producción del venenoso monóxido de carbono (CO). Para evitarlo, las estufas han de disponer de un analizador de la atmósfera, que apagará la estufa si se produce CO.

Finalmente la combustión del butano produce alrededor de 1,7 litros de agua (en forma de vapor) por cada kilo de combustible quemado, por lo que produce una gran humedad en el local calefactado¹⁵.



Figura 3.11 Estufas a Gas

3.2.2 BAÑOS DE CAJÓN COMUNES

Son parte de una terapia de salud alternativa llamado la termoterapia fue concebida por el Dr. Manuel Lezaeta Acharán como un sistema para el limpiado de sangre naturalmente, consiste en un baño en el cual se aplica vapor directamente al cuerpo en cubículos personales, los mismos que cuentan con un orificio para mantener la cabeza afuera, hecho que le permite respirar aire fresco, en secuencias de cinco minutos se realiza el baño de contraste con agua fría.

¹⁵ [www.wikipedia.org/ Estufa_de_gas](http://www.wikipedia.org/Estufa_de_gas)



Figura 3.12 Baños de Cajón

- **Generadores de vapor**

Un generador de vapor es una máquina o dispositivo de ingeniería, donde la energía química, se transforma en energía térmica. Generalmente son utilizados para generar vapor, por lo cual son esenciales en la fabricación de los baños de cajón tradicionales. Los generadores de vapor se clasifican de acuerdo a su sistema de energía entre ellos encontramos:

- **Generadores de vapor con combustibles fósiles**

En este tipo de generadores en un principio consistían en un gran recipiente lleno de agua que era calentado por fuego en su parte inferior. El gran volumen de agua en estado de ebullición generaba fácilmente situaciones de gran riesgo al excederse la presión máxima admisible. Por ello para aumentar la superficie de contacto gas-metal, y disminuir la cantidad de agua en ebullición se crearon primero las calderas humotubulares, en las que los gases de combustión circulan por tubos inmersos en el agua.

Posteriormente se desarrollo la creación de las calderas acuotubulares, en las que el agua circula por tubos que forman las paredes del hogar. De este modo se maximiza la transferencia de calor y se minimiza el volumen de agua reduciendo el riesgo de explosión¹⁶.

Este tipo de generadores de vapor son muy eficientes pero tienen un alto grado de contaminación ya que para generar la combustión se tiene que quemar gran cantidad de combustibles fósiles como son (Gas, Bunker, Gasolina, etc.) Por ello se ha estado buscando otras alternativas menos contaminantes y de menor impacto ambiental.



Figura 3.13 Generadores de vapor con combustibles fósiles

- **Generadores de vapor con biomasa**

En este tipo de generadores la combustión se realiza mediante (leña, hojas secas, cáscaras en general). Al igual que los generadores de combustibles fósiles necesitan quemar gran cantidad de material orgánico, minimizando la utilización de los recursos naturales, pero de la misma forma causando grandes cantidades de contaminación e impacto ambiental.

En su gran mayoría son utilizados en sectores rurales donde los recursos naturales son escasos o de un difícil acceso, la biomasa en general existe en grandes cantidades pero su recolección dificulta un poco el trabajo.

¹⁶ www.materias.fi.uba.com

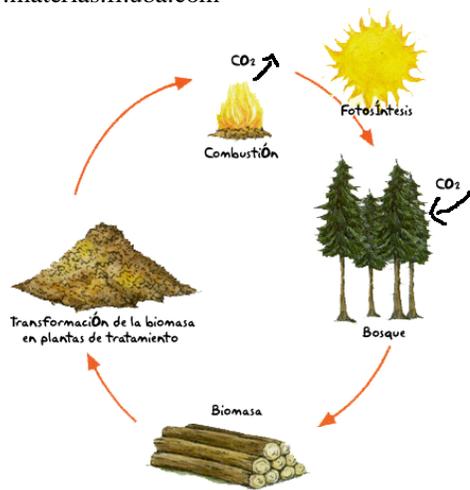


Figura 3.14 Generadores de vapor con biomasa

- **Generadores de vapor eléctricos**

En estos generadores el impacto ambiental es mínimo ya que son ecológicos, el sistema calefactor se da mediante resistencias eléctricas, estos son los más usados en la actualidad la gran desventaja es que para calentar las resistencias se necesita una gran cantidad de corriente y esto es una gran inversión de dinero. Los generadores de vapor eléctricos son hechos en su mayoría de acero inoxidable ya que su aplicación se da más en campos medicinales, hoy en día son de funcionamiento automático y su costo es un poco elevado, por ello cada vez se vuelve de mayor aceptación las instalaciones con energía alternativa, como lo es la energía solar, eólica, mareomotriz, entre otras.



Figura 3.15 Generadores de Vapor Eléctricos

3.2.3 BAÑOS DE CAJÓN ALTERNATIVOS

Como ya es de nuestro conocimiento, los baños de cajón son muy utilizados en la actualidad por un sin número de personas que buscan aliviar ciertos males que afectan su salud, o a su vez mejorar su calidad de vida tomando sesiones relajantes de termoterapia. Sin embargo los procesos para generar vapor han venido siendo reemplazados unos con otros, de acuerdo a como ha ido pasando el tiempo, hoy en día se pretende utilizar fuentes de energía alternativa (renovable) para optimizar ciertos recursos y a la vez reducir los costos de funcionamiento.

Una fuente de energía alternativa es aquella que puede suplir a las [energías](#) o fuentes energéticas actuales, ya sea por su menor efecto contaminante, o fundamentalmente por su posibilidad de [renovación](#). Dentro de la cual una de las más utilizadas es la energía solar térmica. El uso de la energía solar térmica ha sido históricamente uno de los más utilizados por la humanidad. Esta energía es la que aprovecha la radiación infrarroja del sol para generar calor que se destina, principalmente, a la producción de agua caliente sanitaria, calefacción y calentamiento del agua en piscinas. Otras aplicaciones menos usuales son la cocción de alimentos en cocinas solares, el secado de productos, la refrigeración o la generación de vapor, el mismo que será utilizado con distintos fines, entre ellos la termoterapia.

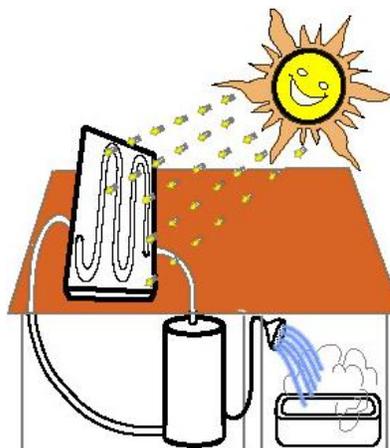


Figura 3.16 Producción de agua caliente

Sin duda alguna, el uso de esta energía traerá muchos beneficios tanto al medio ambiente como a la economía de los usuarios, ya que se estaría aprovechando un recurso que tenemos en gran cantidad y que además posee una gran fuente calorífica que nos permitirá obtener buenos resultados al momento de utilizarla.

3.3 PARÁMETROS DE FUNCIONAMIENTO

Después de haber conocido los principales sistemas energéticos superficiales, que utiliza la termoterapia para mejorar la calidad de vida del hombre, es necesario que conozcamos los parámetros fundamentales que rigen el funcionamiento de estos; en general, se basan en la producción de calor por distintos métodos y de esta manera, se genera vapor.

Los parámetros de funcionamiento, nos permitirán mantener un constante control sobre la generación de vapor, así mismo como la calidad de este, y además obtener ciertas condiciones ambientales necesarias para la aplicación de la Termoterapia. Dentro de estos parámetros, tenemos los siguientes:

- **Eficiencia de la combustión:** Es una medida de la efectividad con que el contenido de calor del combustible se convierte en calor utilizable¹⁷.

- **Flujo másico:** Es la magnitud que expresa la variación de la [masa](#) en el [tiempo](#)

$$\dot{m} = \rho \cdot Q_v \quad (3.1)$$

Donde:

m: Flujo másico (kg/s)

ρ : Densidad del Fluido (kg/m³)

Qv: Caudal (m³/s)

¹⁷ www.conae.gob.

- **Temperatura:** Es la magnitud fundamental para la determinación de la energía interna de un sistema, ya que mide el nivel relativo de su componente térmico. La forma de medir cuantitativamente la temperatura en los sistemas es mediante un termómetro¹⁸.

- **Temperatura ambiente:** Es la [temperatura](#) que se puede medir con un termómetro y que se toma del ambiente actual, por lo que, si se toma de varios puntos en un área a un mismo tiempo puede variar¹⁹.



Figura 3.17 Temperatura medida al Ambiente

- **Temperatura del vapor:** La temperatura del vapor de salida de una caldera esta en relación directa a la presión de trabajo de la misma

- **Presión de vapor:** Es la [presión](#), para una [temperatura](#) dada, en la que la fase [líquida](#) y el [vapor](#) se encuentran en [equilibrio dinámico](#); su valor es independiente de las cantidades de líquido y vapor presentes mientras existan ambas²⁰.

¹⁸ www.spitzer.caltech.edu

¹⁹ www.wikipedia.org/Temperatura_ambiente

²⁰ www.wikipedia.org/B3n_de_vapor

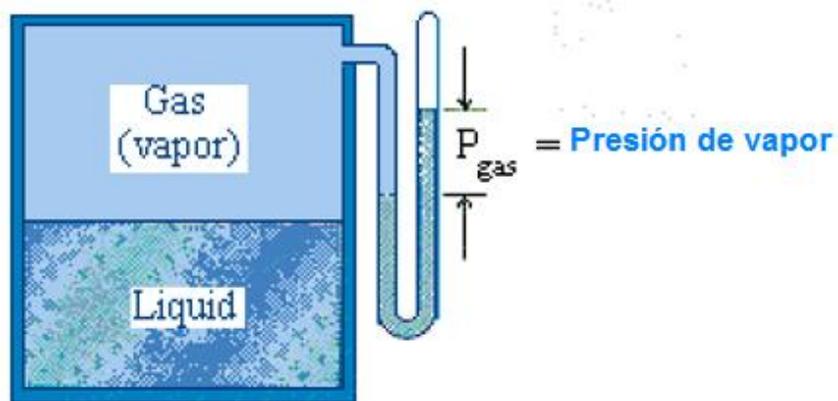


Figura 3.18 La presión de vapor de un líquido es literalmente la presión del gas que recoge sobre el líquido en un envase cerrado y a una temperatura dada.

- **Nivel del colector de vapor:** Este, nos indica el nivel que tenemos en la cámara de vapor. Es independiente de la calidad y del nivel del agua.

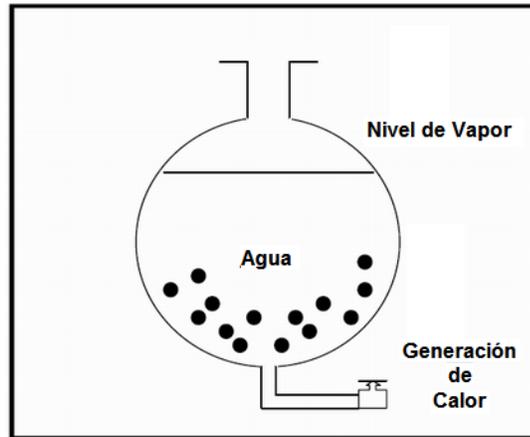


Figura 3.19 Cámara de generación de vapor

3.4 PROCESOS TÉRMICOS UTILIZADOS

La energía es una magnitud física que asociamos con la capacidad que tiene los cuerpos para producir trabajo mecánico, emitir luz, generar calor, etc. Para obtener Energía se tiene que partir de algún cuerpo que la tenga y pueda experimentar una transformación.

A estos cuerpos se les conoce como fuentes de energía. Las cantidades disponibles de energía de estas fuentes, es lo que se conoce como recurso energético.

La Tierra posee cantidades enormes de estos recursos. Sin embargo uno de los problemas que tiene planteada la humanidad es la obtención y transformación de los mismos.

Para la transformación de estas fuentes de energía se requiere de ciertos procesos térmicos, que nos permitirán aprovechar los recursos, y además, para nuestro caso, nos facilitará la generación de calor y por ende la producción de vapor, este último será utilizado en la cámara de vaporización con fines terapéuticos.

Los sistemas energéticos, usualmente incluyen un dispositivo que genera calor; dispositivos de transferencia para hacer pasar el calor desde la fuente al intercambiador de calor; un sistema de contención en forma de horno, estufa, calentador, cámara de vaporización; y por último un dispositivo de recuperación de calor.

Respecto a los procesos térmicos que se utilizan para la generación de vapor, podemos encontrarlos dentro de la siguiente división:

A) GENERACIÓN DE CALOR

En la antigüedad, el hombre, para sobrevivir, ha buscado la forma de combatir las bajas temperaturas. Solía calentarse alrededor de un fuego hecho directamente sobre el suelo, sin chimenea, de manera que el humo producido salía por hendijas y huecos.

Luego, con la aparición de las [chimeneas](#), se vio que una porción importante de calor generado se perdía con el humo. El calor producido se aprovechaba como lumbre.

Después de un tiempo, aparecieron las estufas de leña y [carbón](#) (aún siguen usándose en zonas rurales). Aquí el calor producido se aprovechaba mucho más ya que por su gran superficie se irradiaba en todas direcciones.

Se aprovechaba también el calor latente del humo pues el largo recorrido de la chimenea irradiaba calor a los sectores por donde discurría.

Luego se pensó que podría lograrse que el calor no quedara solo reducido al ámbito de la estufa sino que podría repartirse por el resto del edificio. La idea se concretó con un circuito cerrado de agua, calentado por una estufa, de este modo distribuía el calor por todos los ambientes.

Con lo que se cree, que las [calderas de uso actual](#) son una evolución sobre esa idea primigenia de la estufa; así se genera calor a partir de un combustible, y el calor se distribuye por todo el edificio, según sean las necesidades de cada ámbito.

- POR COMBUSTIÓN

Es una reacción química basada en la acción exotérmica de una sustancia llamada combustible en combinación con el Oxígeno del aire, el resultado de esta reacción es la chispa, la llama, el fuego; esto genera una gran cantidad de energía en forma de calor y luz.

La combustión²¹ puede generarse directamente con el oxígeno o con una mezcla de sustancias que contengan oxígeno. La reacción química producida es una oxidación, y las nuevas sustancias que se forman en el proceso se denominan óxidos. Este proceso térmico puede darse a través de:

Combustibles

Las propiedades más destacables que caracterizan a los combustibles son:

- Composición del Combustible.
- Poder Calorífico.
- Densidad.

²¹ www.construmatica.com

- Viscosidad.
- Temperatura de Ignición.
- Temperatura de Combustión.
- Contenido de Azufre.

Los combustibles, pueden ser: sólidos, líquidos o gaseosos. Se debe considerar que cualquier hidrocarburo (combustible), no se encuentra en estado puro, sino que posee impurezas, sobre todo del nitrógeno y el azufre. Éstos también reaccionan con la combustión formando compuestos de nitratos y sulfuros. Por ello siempre debe tenerse en cuenta que en el proceso de combustión pueden producirse sustancias tóxicas, de manera que se prestará cuidado especial en las salidas de humos. Los combustibles más utilizados para la generación de calor son:

- **Leña:** Es un combustible sólido, puede que haya sido el primer combustible usado por el hombre. Es un producto natural obtenido de troncos de árboles, la [madera](#), empleado en estado seco para poder arder. El hidrocarburo que reacciona en la leña es la celulosa de la madera.

Todavía en la actualidad se emplea la leña en estufas y lumbres, pero de un modo más limitado; las calderas a leña prácticamente ya no existen.

La leña presenta el inconveniente de tener muchas impurezas, por lo cual se producen humos tóxicos, por otra parte difícilmente se logra una combustión completa, produciendo gran cantidad de residuos en forma de ceniza. Además ocupa mucho volumen en relación al poder calorífico que despidе.

- **Carbón:** Este es un combustible fósil al igual que el petróleo, originado por la descomposición de distintos vegetales que se han ido acumulando en zonas lacustres o pantanosas y en una lenta transformación durante miles de años han llegado a formar importantes yacimientos. Todavía se lo emplea en muchas zonas. Uno de los problemas en su uso es la emisión de gases tóxicos, especialmente sulfuros (son los que producen la lluvia ácida).

- **Diesel:** Es un combustible líquido. Este quizás sea el combustible de mayor uso en las calderas. Cómodo para transportar. Permite una buena regulación de las calderas pero genera emisiones de gases tóxicos, aunque, si se puede regular bien la caldera, pueden llegarse a controlar estas emisiones.

- **Gas:** Combustible gaseoso, los gases butano y propano, licuados del petróleo y el gas natural, son los combustibles que menor cantidad de residuos generan, con la combustión no emiten ningún tipo de gases tóxicos. Su inconveniente más grande y que exige mucho cuidado, es su manejo correcto y dentro de la normativa vigente, ya que cualquier escape de gas puede provocar una explosión poniendo en peligro la vida de los ocupantes de la vivienda y de otras aledañas.

- **TERMO ELECTRICIDAD**

La generación de calor en base a la [energía eléctrica](#) se realiza en base a resistencias. Existen calderas eléctricas que calientan el agua en un depósito [acumulador](#) y se distribuye a los radiadores, pero por su alto coste de consumo no se han difundido como otras.

Este tipo de generación de calor solo se utiliza para el agua caliente sanitaria: no obstante, existen sistemas de acumulación de calor en materiales refractarios que aprovechan para cargarse los horarios nocturnos, por sus tarifas bajas.

- **ENERGÍA SOLAR**

La energía solar se emplea con buen rendimiento en las instalaciones térmicas, pero como sistema alternativo y complementario, para el apoyo de los sistemas convencionales, pues, si está nublado no trabajan.

La captación de la [energía solar](#) se realiza mediante [paneles](#) que se sitúan en el exterior; dichos paneles contienen agua la cual es calentada por los rayos solares mediante intercambiadores de calor y que luego sirve al sistema de calefacción y al agua caliente sanitaria. También se puede recibir la energía solar mediante los paneles fotovoltaicos, que generan electricidad o a su vez por concentradores solares, los mismos que reciben una alta temperatura y que pueden poner en marcha muchos sistemas que se encuentren sujetos a su funcionamiento.

B) PRODUCCIÓN DE VAPOR

Después de que se genera calor, indistintamente de la forma en la que se haga, este, a ser transmitido un dispositivo que contenga como fluido: el agua, para que de esta manera se pueda producir el vapor necesario para su utilización terapéutica. Dentro de este, vamos a encontrar como proceso térmico la evaporación, y después de generado el vapor, tendremos un proceso de convección al interactuar de forma directa con la piel del ser humano.

- EVAPORACIÓN

1.- En el intercambiador²²

La evaporación es el proceso físico por el cual una sustancia en estado [líquido](#) pasa al estado [gaseoso](#), tras haber adquirido energía suficiente para vencer la [tensión superficial](#).

²² [www.wikipedia.org /Evaporación](http://www.wikipedia.org/Evaporación)

A diferencia de la [ebullición](#), este proceso se produce a cualquier temperatura, siendo más rápido cuanto más elevada sea. No es necesario que toda la masa alcance el [punto de ebullición](#). Cuando existe un espacio libre encima de un líquido calentándose, una fracción de sus moléculas está en forma gaseosa, al equilibrarse la cantidad de materia gaseosa define la presión de vapor saturante, la cual depende de la temperatura.

Si la cantidad de gas es inferior a la presión de vapor saturante, una parte de las moléculas pasan de la fase líquida a la gaseosa: eso es la evaporación.

Vista como una [operación unitaria](#), la evaporación es utilizada para eliminar el vapor formado por ebullición de una solución líquida para así obtener una solución concentrada. En la gran mayoría de los casos, la evaporación vista como operación unitaria se refiere a la eliminación de agua de una solución acuosa.

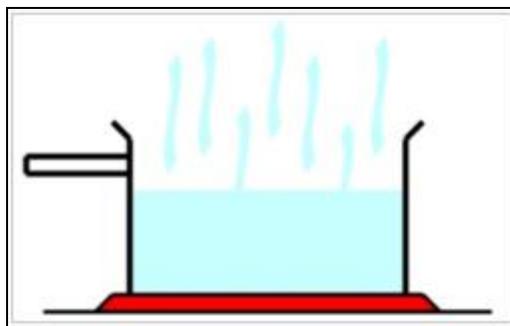


Figura 3.20 Evaporación de agua en un recipiente puesto al calor

2.- En el cuerpo humano

La evaporación es un mecanismo termolítico, en cierta medida variante de la convección, consistente en una transferencia de calor corporal por la vaporización del sudor y del agua en los pulmones, durante la respiración. Cuando un gramo de agua se convierte en vapor a 30 °C, se absorben 0.58 kcal (2.425 J) en el proceso (calor latente de evaporación). Se trata de un mecanismo imprescindible frente a temperaturas externas elevadas.

La evaporación es casi independiente de la temperatura ambiental por debajo de los 30°C; es aproximadamente de 12-15 g/m²h.

El grado de evaporación depende también del grado de humedad del aire ambiente y, por ello, se explica el que se sienta más calor en un día húmedo. Esto se debe, en parte, a que disminuye la evaporación del sudor; pero aun en condiciones en las que ésta sea total, una persona en un medio húmedo siente más calor que otra en un ambiente seco. La razón para esta diferencia puede radicar en la conductividad térmica del agua y en el hecho de que, en un ambiente húmedo, el sudor se extiende por un área mayor de piel antes de evaporarse, mientras que en un ambiente seco la mayor parte de este sudor se evapora. Así, el baño de vapor con poca ventilación disminuye considerablemente la evaporación del sudor y, por tanto, la pérdida calórica. Contrariamente, en un sauna donde la humedad interior es más baja pueden soportarse temperaturas más elevadas.

3.5 INSTALACIONES

Las disposiciones contenidas en "Instalaciones de vapor de agua de alta presión", son aplicables a las instalaciones destinadas a producir, transportar y utilizar vapor de agua, cuando la presión de trabajo en el generador supere los 300 g/cm². Se ocuparán de los distintos componentes de este tipo de instalación a saber: generador de vapor y sus accesorios; tuberías de conducción de vapor y artefactos que reciben y utilizan el vapor.²³

a) Generadores de Vapor (Calderas)

Son los dispositivos donde se transforma agua en vapor a expensas del calor producido en un proceso de combustión.

Existen dos tipos los cuales son los más comunes los generadores de vapor Piro tubulares, y los generadores de vapor Acuotubulares.

²³ Código AD 630.143

- **Calderas Piro tubulares:**

Se denominan piro tubulares por ser los gases o fluidos calientes procedentes de un proceso de combustión o un proceso de calentamiento, los que circulan por el interior de tubos cuyo exterior esta bañado por el agua de la caldera. Donde los gases al transferir calor al agua producen vapor.

El proceso donde se obtienen los gases o fluidos calientes se da en un hogar, en donde tiene lugar la transmisión de calor por radiación, y los gases o fluidos resultantes, se les hace circular a través de los tubos que constituyen el haz tubular del generador, y donde tiene lugar el intercambio de calor por conducción y convección.

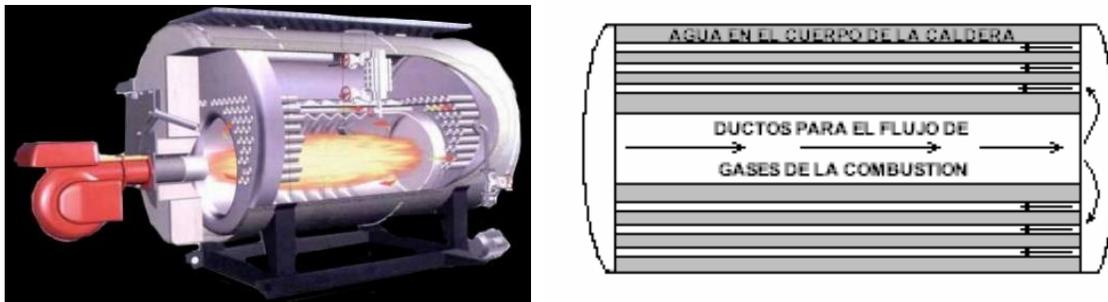


Figura 3.21 Calderas Piro tubulares

- **Calderas Acuotubulares:**

En estas calderas, al contrario de lo que ocurre en las piro tubulares, es el agua la que circula por el interior de tubos que conforman un circuito cerrado a través del calderín, y los gases de la combustión o proceso de calentamiento se encuentran fuera, al transferir estos gases calor al agua la evaporan y se produce vapor.

Estas calderas, constan de un hogar configurado por tubos de agua, tubos y refractario, o solamente refractario, en el cual se produce la combustión o el calentamiento del combustible y constituyendo la zona de radiación de la caldera (Generador).

Desde dicho hogar, el fluido o los gases calientes resultantes del calentamiento o la combustión son conducidos a través del circuito de la caldera, configurado este por paneles de tubos y constituyendo la zona de convección de la caldera²⁴.

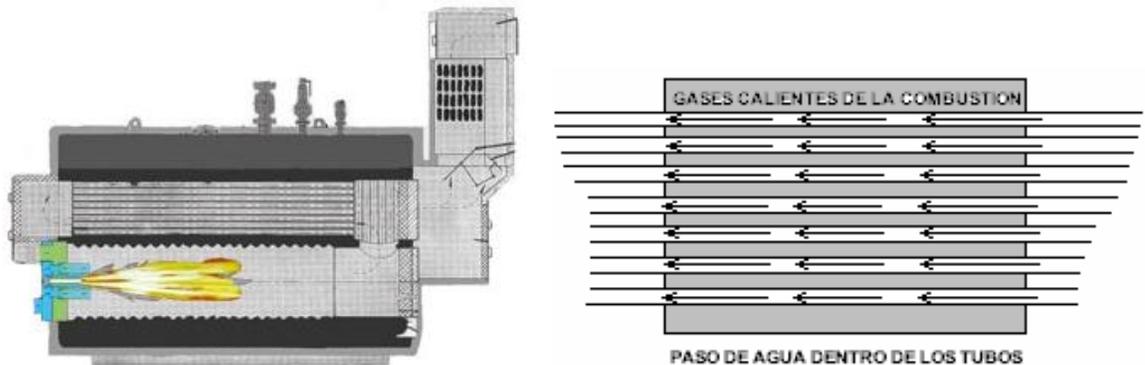


Figura 3.22 Calderas Acuotubulares

PARTES PRINCIPALES DE UNA CALDERA:

- **Hogar o cámara de combustión:** Es el lugar donde se quema el combustible y se generan gases calientes para elevar la temperatura del agua.
- **Anillo:** Es un muro de material refractario que confina la llama en un espacio reducido para mejorar la combustión (o quema del combustible) y está ubicado en el hogar.

²⁴ www.caballano.com/calderas.htm

- **Cuerpo o vaso de presión:** Es un cilindro de acero herméticamente cerrado, compuesto de una cámara de agua, una cámara de vapor, una superficie de calefacción y una superficie de vaporización.
- **Cámara de agua:** Espacio ocupado por el agua hasta el nivel de trabajo, que tiene límite máximo y mínimo de operación.

- **Cámara de vapor:** Espacio ocupado por el vapor dentro de la caldera, que se encuentra por encima del nivel de agua.
 - **Superficie de calefacción:** Son todas aquellas áreas que se encuentran en contacto por un lado con el agua y por el otro con los gases o fluidos de la combustión o calentamiento, es decir el hogar y los tubos.
 - **Superficie de vaporización:** Es el área que divide el espacio ocupado por el agua y el espacio ocupado por el vapor.
-
- **Tubos o conductos de humo:** Todos aquellos elementos que conducen los productos de la combustión (humo) desde el hogar hasta la chimenea.
 - **Chimenea:** Conducto que evacua los gases de la combustión a la atmósfera.

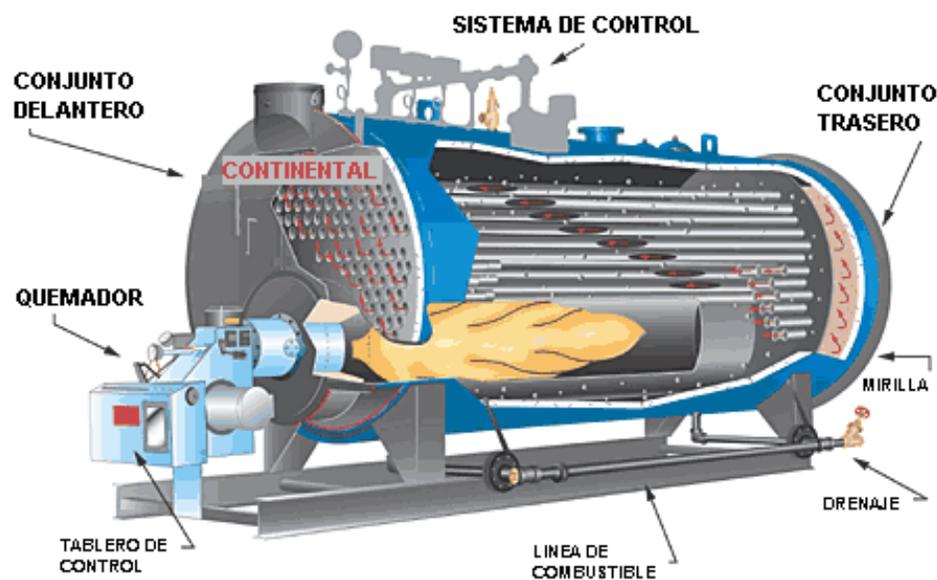


Figura 3.23 Partes principales de una Caldera.

EFICIENCIA DE UNA CALDERA:

Por eficiencia se entiende la relación entre el calor aprovechado y absorbido por el agua de alimentación de la caldera al convertirse en vapor y el calor que suministra el combustible.

En la realidad la eficiencia de la caldera no es del 100% ya que existen ciertos factores que hacen que se pierda calor, estos factores son principalmente:

- Los gases que salen por la chimenea están aún calientes.
- Condensación en el proceso de combustión.

- En ocasiones no se quema todo el combustible y esto también es una pérdida de eficiencia.
- Pérdidas de calor por el aislamiento de los equipos.
- Pérdidas de calor que transporta la purga de la caldera.

CLASIFICACIÓN Y UBICACIÓN DE LOS GENERADORES DE VAPOR DE AGUA

A los efectos del presente reglamento, los generadores de vapor de agua se clasificarán en 3 (tres) categorías, teniendo en cuenta la fórmula adimensional:

$$(p + 1) v \quad (3.2)$$

Donde:

p: expresado en Kg/cm² es la presión de trabajo

v: expresado en m³, es el volumen total de la caldera.

Son de **primera categoría** aquellos generadores para los cuales el producto citado es mayor que 18 (dieciocho).

La distancia mínima entre los generadores de vapor de agua de primera categoría y la red de Agua Potable, deberá ser de por lo menos 3 (tres) metros; salvo en la dirección del eje longitudinal de la caldera, en la cual la distancia deberá ser de por lo menos 10 (diez) metros.

Cuando por razones de dimensiones u otra circunstancia especial el generador no sea instalado en las condiciones expresadas, deberá construirse muros de protección como parámetro de defensa.

Son de **segunda categoría** aquellos generadores para los cuales el producto es mayor que 12 (doce) y menor o igual que 18 (dieciocho).

Los generadores de vapor de agua de esta categoría deberán ubicarse a una distancia de 1,50 (un metro cincuenta cm) de la red de Agua Potable, salvo en la dirección del eje longitudinal de la caldera, en la cual la distancia deberá ser de por lo menos 5 (cinco) m.

Son de **tercera categoría** aquellos generadores para los cuales el producto es menor o igual que 12 (doce).

Los generadores de vapor de agua de tercera categoría, sean éstos Piro-tubulares o Acuotubulares, deberán ubicarse a una distancia mínima de 1 (un) metro de la red de Agua Potable o ejes

separativos entre predios. El local destinado a calderas de tercera categoría deberá encontrarse separado de los demás talleres por un medio ejecutado con un material incombustible.²³

COMPONENTES Y ACCESORIOS DE UNA CALDERA:

a) Válvulas de Seguridad:

Permite la descarga del vapor en caso de emergencia. Cuando la presión se eleva más allá de los límites de diseño, existe peligro de explosión y debe disminuirse de manera inmediata. Cada generador deberá estar provisto de mínimo 2 (dos) válvulas de seguridad, una por lo menos de las cuales será de tipo a resorte, colocadas directamente sobre la cámara de vapor y reguladas de modo que permitan su escape, cuando la presión supere la fijada como máxima de trabajo. Las válvulas de seguridad nos ayudaran para que el vapor no pueda causar accidentes al personal o a terceros.

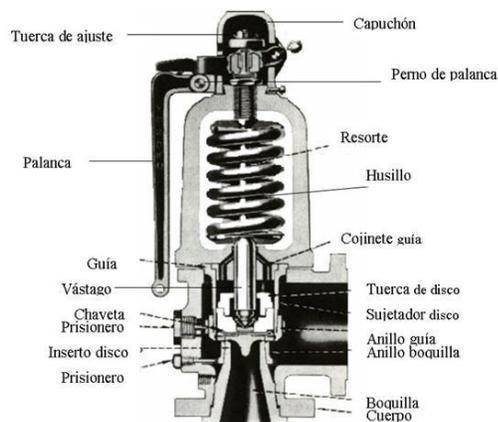


Figura 3.24 Válvula de Seguridad

b) Manómetros y Termómetros:

Son dispositivos de medición de presión y temperatura respectivamente. Cada generador de vapor debe estar provisto de un manómetro colocado a la vista del operador, instrumento sobre el cual estará indicado con un signo fácilmente visible, la presión máxima efectiva de trabajo.



Figura 3.25 Manómetro

c) Controles de Nivel de agua:

Controlan que el nivel de agua dentro de la caldera permanezca dentro de los límites establecidos. Un generador deberá estar provisto de aparatos indicadores de nivel de agua en comunicación directa con el interior, este debe estar colocado siempre a la vista del operador. Estos indicadores deberán ser de fácil acceso de modo que puedan limpiarse o cambiarse fácilmente si el proceso lo amerita.

Los indicadores de nivel llevarán grabada una señal bien visible que indique el nivel mínimo de agua que contendrá la caldera (Generador), que deberá estar como mínimo 8 (ocho) cm sobre el punto más elevado de calefacción, que se indicará también sobre el generador por una línea claramente visible. Los generadores de menos de 5 (cinco) m² de superficie de calefacción, podrán funcionar con un solo indicador de nivel que será del tipo de tubo de vidrio.

d) Alimentadores:

Todo generador, con excepción de aquellos cuya superficie de calefacción no supere los 5 (cinco) m² (de superficie de calefacción), tendrán como mínimo 2 (dos) aparatos de alimentación de funcionamiento independiente; cada uno suficiente para proveer con exceso el agua necesaria. Uno de estos aparatos deberá ser indefectiblemente 1 bomba de alimentación.

En los generadores de hasta 5 m² de superficie de calefacción, se admitirá un solo sistema de alimentación que deberá reunir las condiciones indicadas en el presente inciso.

e) Válvula de vapor:

Cada generador estará provisto de su válvula de vapor, y en caso que diversos generadores alimenten un mismo conducto, cada uno se deberá poder independizar por medio de dispositivos de cierre hermético.

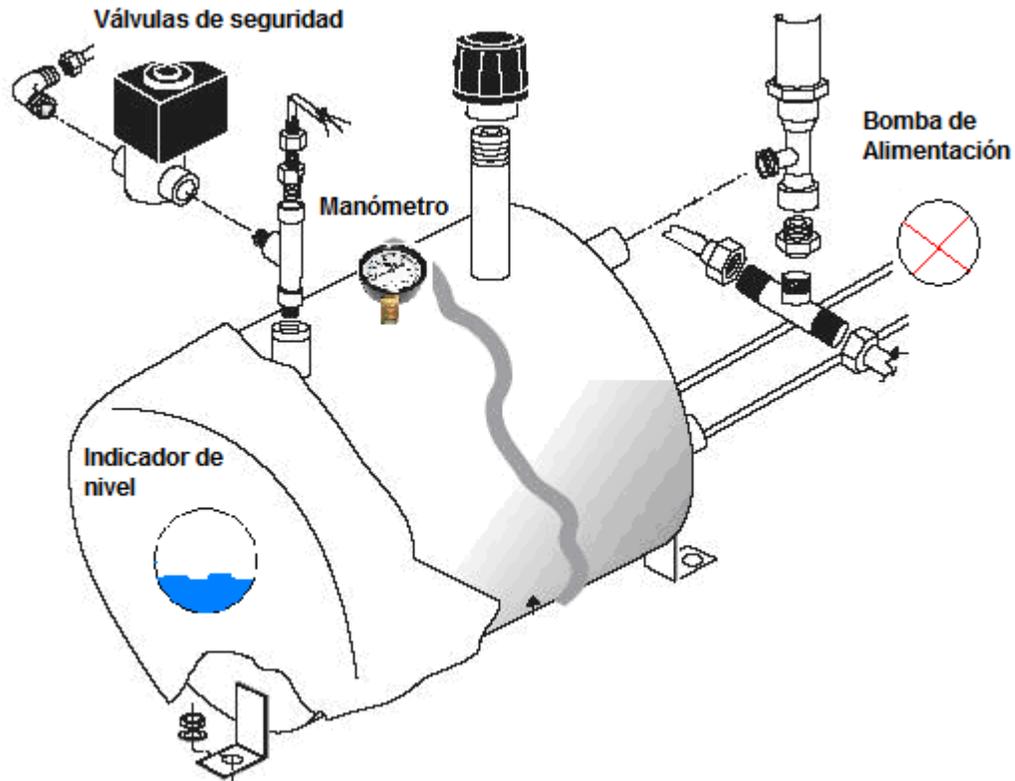


Figura 3.26 Accesorios en los Generadores de Vapor

ARTEFACTOS QUE RECIBEN Y UTILIZAN VAPOR

a) Todos los aparatos que reciben y utilizan vapor deberán ubicarse a una distancia mínima de 50 (cincuenta) cm de la línea de abastecimiento.

Se construirán de forma tal de no producir derrames o escapes que puedan causar daños al personal o a las cosas.

b) Los recipientes de forma diversa de una capacidad de más de 50 (cincuenta) litros que reciben vapor de agua proveniente de los generadores, con excepción de aquellos en los que mediante disposiciones materiales eficaces se impide sobrepasar 300 (trescientos) g/cm^2 la presión efectiva del vapor, cumplirán las siguientes condiciones:

1) Contarán con un manómetro con escala graduada, conectado directamente con el recinto sometido a presión, debiendo indicarse con una marca visible la presión máxima de trabajo.

2) Deberán poseer por lo menos 1 (una) válvula de seguridad, comunicada directamente con el recinto sometido a presión.

3) En la tubería de alimentación de vapor al recipiente a presión, se intercalará una llave de cierre hermético próxima al recipiente. Cuando la instalación cuente con más de un recipiente sometido a presión, cada uno llevará una llave de cierre hermético.

4) Cumplirán con las condiciones de presión, trabajo, ensayos de resistencia e inspecciones periódicas fijadas para los generadores de vapor de agua de alta presión.

c) El vapor residual eliminado por las máquinas, no podrá ser arrojado directamente a la vía pública, lugar de trabajo ni causar molestias a terceros.

Tuberías de conducción de vapor

Las tuberías destinadas a transportar el vapor producido en el generador, deberán ubicarse alejadas de los lugares de trabajo, salvo en los tramos de acceso a las máquinas que alimentan. No deberá acusar escapes de vapor a través de las juntas.

Aislamiento térmico

Este punto en la instalación es muy importante las calderas (generadores) así mismo como todo el sistema de tuberías deberán ser revestidas a fin de impedir la pérdida lógica de calor, y de la misma forma dar seguridad al lugar en donde este instalado el sistema, debiendo utilizarse para tal fin un material aislante liviano.

3.6 ALTERNATIVAS

En el Ecuador como en muchos otros países el crecimiento poblacional desmedido es uno de los principales causantes de los problemas que agobian la humanidad, ante este problema son pocos los países y comunidades que logran establecer un equilibrio estable en su desarrollo, para lograr esto se debe buscar e identificar claramente los problemas en los cuales se debe poner énfasis, ya que si no son intervenidos a tiempo se presentará un verdadero colapso a nivel mundial, entre estos problemas que asechan la humanidad se encuentra la Generación de Energía, en la que esta involucrada directamente la contaminación atmosférica, el propósito de este proyecto es encontrar una “nueva” alternativa para un sistema de generación de vapor evitando en lo posible esta contaminación.

Para poder tener una idea mas amplia de dicha alternativa que se busca, gracias a un minucioso análisis se pone en conocimiento la siguiente tabla de selectividad de las diferentes alternativas de formas de generación de vapor, y gracias a esta se podrá enfocar de una mejor manera la elección correcta para tratar de minorar la contaminación ambiental.

Dentro de las alternativas que se proponen como sistemas energéticos para la termoterapia se tiene:

- A:** Sauna Húmedo o Baño Turco
- B:** Baños de Cajón Comunes
- C:** Baños de Cajón utilizando Energía Solar

Tabla 3.2. Matriz elemental de selección de los sistemas energéticos para Termoterapia

ASPECTOS	PONDERACION	ALTERNATIVAS		
		A	B	C
TECNICOS	50	31	31	45
Durabilidad	25	18	17	23
Versatilidad (Fácil Manejo)	10	6	5	9
Bajo nivel de contaminación	15	7	9	13
ECONÓMICOS	30	26	21	16
Costo de instalación	20	18	15	13
Costo de mantenimiento	10	8	6	3
COMPLEMENTARIOS	20	12	12	18
Funcionalidad	12	7	6	11
Seguridad	8	5	6	7
PUNTUACION TOTAL	100	69	64	79

Una vez revisada la tabla se puede observar que la mejor alternativa desde el punto de vista de la contaminación ambiental es la **alternativa C**, cuya tecnología es la de Baños de Cajón utilizando Energía Solar, y a pesar que a primera vista el aspecto económico no sea el mejor, conforme avance el desarrollo de este proyecto el lector podrá darse cuenta de que gracias un aumento en

la en la inversión inicial se puede obtener un gran ahorro posteriormente en un corto periodo de tiempo.

Estudiados los sistemas y recursos energéticos que se utilizan actualmente en la termoterapia, y gracias a la tabla de selectividad se presenta esta alternativa innovadora.

Los baños de vapor consisten en un baño total saturado de vapor de agua a una temperatura que oscila entre, 38 y 45 °C. Al encontrarse el aire saturado de vapor de agua la transferencia de calor se encuentra reducida con respecto a la del agua, por lo que se puede tolerar temperaturas de 43 a 45 °C.

A continuación se da una descripción más detallada de lo que trata este proyecto y en que fundamentos teóricos se basa.

BAÑOS DE CAJÓN UTILIZANDO ENERGÍA SOLAR CONCENTRADA

Actualmente, se tiene sistemas energéticos dentro de la termoterapia, que se manejan directamente bajo la utilización de combustibles fósiles, biomasa o calentadores eléctricos para la generación de vapor, sin embargo en cierto modo estos recursos tienen un límite de vida, y además traen algunas complicaciones que fueron ya citadas en la sección 3.2, por tal razón y en busca de mejorar notablemente la economía de las instalaciones dedicadas a prestar estos servicios, se ha buscado una nueva forma de producir vapor, esto es posible mediante la utilización de una energía alternativa como la energía solar, la misma que se conoce por ser un recurso renovable y por poseer un gran potencial energético.

Mediante este proyecto, se pretende dar un nuevo enfoque a la utilización de energías renovables, orientadas a la producción de vapor. Es además una propuesta ecológica que va a mejorar sin duda alguna el ecosistema, evitando la contaminación por combustibles fósiles que se emana regularmente hacia la atmósfera.

Este proyecto se basa en buscar formas limpias de generar vapor, el cual será utilizado para modificar y optimizar el funcionamiento de los conocidos Baños de Cajón. Nuestra fuente primaria para el desarrollo de este proyecto es el Sol quien sustituirá la energía eléctrica y otras formas convencionales de generar vapor.

La alternativa propuesta consiste en tomar la energía del sol mediante un concentrador solar parabólico de 1,8 m de diámetro, toda esta energía será concentrada en un punto focal donde va a ser instalado un Absorbedor, que en su interior poseerá un serpentín "intercambiador de calor" y

dentro del cual circulará aceite térmico, este fluido será el que intercambie calor con el agua dentro de la caldera para generar el vapor que se requiere.

Mediante un sistema de tuberías y de alimentación el aceite térmico se encontrará en constante circulación por todo el sistema de transferencia de calor, que en su recorrido deberá ingresar al interior de la caldera, dentro de la cual existirá un nuevo serpentín, este estará en contacto directo con el agua que entra de la red. El intercambio de calor que se realiza permitirá que exista la generación de vapor debido a la diferencia de temperaturas, este último será almacenado en el interior de la caldera en la cámara de vapor, siendo controlado mediante válvulas de seguridad, termómetros, medidores de nivel, y manómetros.

Generado el vapor en la caldera, se instalará un nuevo sistema de tuberías, que permitirá transportar el vapor hacia el interior de una nueva cámara de vaporización llamada "Cajón". En esta nueva cámara de vaporización es donde las personas podrán tomar su baño, el ingreso de vapor deberá ser debidamente controlado ya que de la temperatura existente en su interior depende el correcto funcionamiento del proyecto, el cajón será construido de madera, la cual nos permitirá concentrar el calor gracias a su alto poder de aislación.

Además, se contará con aspersores, los mismos que servirán para rociar el cuerpo cada determinado tiempo de agua fría, esto ayudará a que se de el llamado "lavado de sangre", que consiste en producir reacciones nerviosas y circulatorias al elevar la temperatura del cuerpo mediante el vapor producido y enfriarlo repentinamente con el agua; al alterar el calor y el frío sobre la piel se produce un flujo y reflujo sanguíneo, desde el interior a la superficie y viceversa.

En su parte inferior contará con recolectores, encargados de transportar el agua utilizada hacia una tubería de desagüe. Cabe recalcar que todo el sistema contará con el debido aislamiento térmico por condiciones de optimización y de seguridad al usuario y operador.

INDICACIONES IMPORTANTES

Antes de entrar al baño debe realizarse una ducha tibia de limpieza y después del secado el cuerpo debe introducirse desnudo o con una toalla pequeña, durante periodos iniciales de 10 a 15 minutos.

Se realiza un periodo de descanso de 15 minutos, y se vuelve a entrar al baño donde se puede permanecer hasta 20 o 30 minutos, el baño finaliza con un masaje y ducha fría, posteriormente debe guardar unos 30 minutos de reposo, abrigado y en una hamaca.

Los baños de cajón poseen una acción analgésica, relajante y reductora del tono muscular importante, por lo que sus indicaciones son similares a las de la sauna. Por ser un baño de menor temperatura que la sauna, los pacientes con problemas circulatorios (varices) y los hipotensos lo soportan de una mejor manera.

Por último los beneficios de estos baños recaen sobre las afecciones respiratorias como el resfriado común y las bronquitis crónicas, al facilitar la broncodilatación y la fluidificación de las secreciones, ya que se respira un aire caliente saturado de vapor de agua, al que puede añadirse coadyuvantes como esencias o aditivos medicinales.

CAPITULO 4

DISEÑO DE LA INSTALACIÓN

1.6 DISEÑO TÉRMICO

4.1.1 ABSORBEDOR

Para realizar el diseño del absorbedor, es necesario realizar el siguiente procedimiento de cálculo:

Altura focal

La altura focal depende de la relación foco/diámetro. Para el cálculo de esta, se debe utilizar la ecuación de la parábola, de la cual se tiene:

D: Diámetro del concentrador
f: Foco
y: Altura del concentrador

$$x^2 = 4 f y \quad (4.1)$$

$$D := 1.890 \text{ m}$$

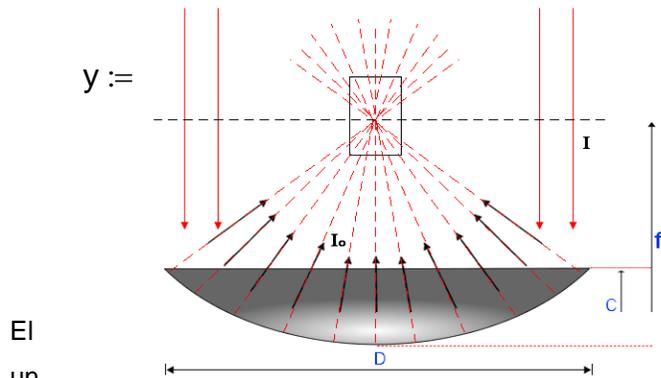


Figura 4.1 Cono de radiación del concentrador

El
un
punto

absorbedor se ha diseñado en forma de
serpentín de modo que se ubique en el
focal encontrado para optimizar toda la

energía solar que se concentra en este punto y buscar la mejor eficiencia del sistema. Las dimensiones propuestas para el absorbedor se establecen a continuación:

Datos del Serpentín - Absorbedor

$D_s := 0.1$	m	Diámetro del serpentín
$H_s := 0.15$	m	Altura del serpentín
$D_t := \frac{5}{8} \cdot 0.0254$		
$D_t = 0.016$	m	Diámetro de la tubería
$e_t := 0.001$	m	Espesor de la tubería
$D_i := D_t - (2 \cdot e_t)$		
$D_i = 0.014$	m	Diámetro interno de la tubería

Cálculo del calor útil del absorbedor¹

Si se realiza un balance de energía se puede observar como a una temperatura dada los concentradores son mucho más eficientes que los colectores planos. El calor útil entregado al fluido de trabajo, en este caso el aceite térmico, esta dado por la energía recibida por el absorbedor (energía solar) menos las pérdidas de calor al medio ambiente, es decir:

¹ ALMANZA, A. Energía Solar

$$q_u := q_{abs} - q_p \quad (4.2)$$

Donde la energía recibida por el absorbedor está dada por:

$$q_{abs} := \eta_o \cdot A_a \cdot G_d \quad (4.3)$$

Y el calor perdido está dado por:

$$q_p := U_{c1} \cdot (T_c - T_a) \cdot A_r \quad (4.4)$$

Donde:

- qu: Calor útil
- qabs: Energía recibida por el absorbedor
- qp: Calor perdido
- Aa: Área de apertura
- Ar: Área del absorbedor
- Gd: Radiación solar directa incidente sobre el colector
- Ta: Temperatura del aire ambiente, en °C
- Tc: Temperatura del absorbedor, en °C
- Uc: Coeficiente global de transferencia de calor
- ηo: Eficiencia óptica
- ηc: Eficiencia del concentrador
- Rc: Razón de concentración

Cálculo de radios:

El valor de los radios se

obtiene a partir de la figura 4.2 que se muestra más adelante.

$$r_1 := \frac{D_s}{2} - D_t$$

$$r_1 = 0.034 \quad \text{m}$$

$$r_2 := \frac{D_s}{2} - (D_t - e_t)$$

$$r_2 = 0.035 \quad \text{m}$$

$$r_3 := \frac{D_s}{2} - e_t$$

$$r_3 = 0.049 \quad \text{m}$$

$$r_4 := \frac{D_s}{2}$$

Cálculo de áreas y razón de concentración (R_c):

$$A_a := \pi \cdot \left(\frac{D}{2}\right)^2 \quad \text{Área de apertura del concentrador}$$

$$A_a = 2.806 \quad \text{m}^2$$

$$A_r := \pi \cdot \left(\frac{D_s}{2}\right)^2 \quad \text{Área del absorbedor}$$

$$A_r = 0.008 \quad \text{m}^2$$

(4.5)

$$R_c := \frac{A_a}{A_r} \quad R_c > 1 \quad \text{Para concentradores}$$

$$R_c = 357.21$$

Para los concentradores, al aumentar la razón de concentración manteniendo el área de apertura constante, las pérdidas se reducen permitiendo alcanzar altas temperaturas.

Eficiencia óptica (η_0)

- ρ_R : Reflejancia del espejo
- τ : Transmitancia de la envolvente del absorbedor
- α : Absortancia del absorbedor
- γ : Factor de forma que depende de los errores en la pendiente del espejo y de la dispersión que sufre la radiación solar directa incidente
- F : Error de seguimiento
- ft : Fracción de la apertura no sombreada por soportes y absorbedor

$$\rho_R := 0.75 \quad \gamma := 0.9 \quad (4.6)$$

$$\tau := 1 \quad F := 0.9$$

$$\alpha := 0.85 \quad ft := 0.9$$

$$\eta_0 := \rho_R \cdot \tau \cdot \alpha \cdot \gamma \cdot F \cdot ft$$

$$\eta_0 = 0.465$$

Irradiancia directa en Sangolquí:

Después de haber aplicado los métodos para calcular la irradiancia del sol, se determinó que para el caso de la ESPE (Sangolquí), esta tiene un valor aproximado de:

$$G_d := 834 \frac{W}{m^2}$$

Calor del absorbedor

$$q_{abs} := \eta_0 \cdot A_a \cdot G_d$$

$$q_{abs} = 1087.395 \quad W$$

Temperatura del absorbedor:

La temperatura del absorbedor más aproximada está dada por la siguiente ecuación:

$$T_c := \sqrt[4]{\frac{\tau \cdot \alpha \cdot R_c \cdot G_d \cdot \gamma \cdot F \cdot ft \cdot \gamma_s \cdot K_s \cdot \rho_a}{\epsilon_a \cdot \sigma}} \quad (4.7)$$

- ϵ_a : Emitancia del absorbedor
- σ : Constante de Stefan Boltzman
- γ_s : Imperfecciones en la superficie
- K_s : Factor de sombra y suciedad
- ρ_a : Reflejancia del absorbedor

$$\epsilon_a := 0.85$$

$$\gamma_s := 0.9$$

$$\sigma := 5.67 \cdot 10^{-8} \frac{W}{m^2 \cdot K^4}$$

$$K_s := 0.9$$

$$T_c := T_c - 273$$

$$\rho_a := 1 - \alpha$$

$$T_c = 552.948$$

°C

Temperatura ambiente:

$$T_a := 18 \quad ^\circ C$$

Coefficiente global de transferencia de calor:

El coeficiente global de transferencia de calor tiene una relación directa con la resistencia térmica total.

- Vo: Velocidad externa del viento
- Vi: Velocidad interna del viento
- ho: Coeficiente de convección externo del absorbedor
- hr: Coeficiente de convección por radiación
- hi: Coeficiente de convección interno del absorbedor
- ro: Radio externo del absorbedor
- ri: Radio interno del absorbedor
- Kac: Conductividad térmica del aceite
- Uc: Coeficiente global de transferencia de calor

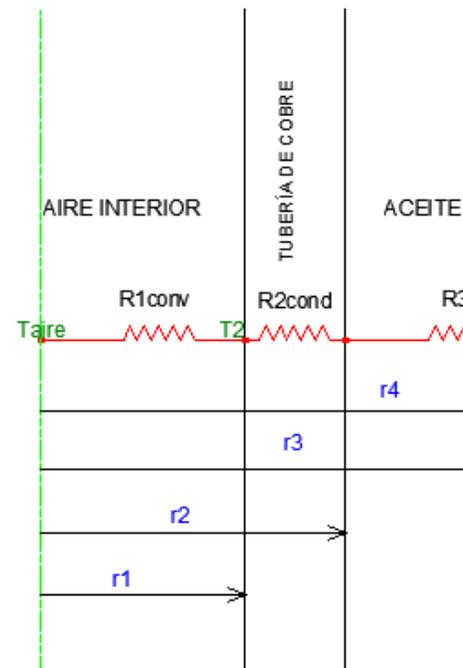


Figura 4.2 Análisis de resistencias en el absorbedor

Calculo del coeficiente de convección externo del absorbedor (ho):

$$V_o := 0.9 \frac{m}{s} \quad \text{Velocidad del viento en la Espe}$$

$$h_o := 2.8 + 3V_o \quad (4.8)$$

$$h_o = 5.5 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

El coeficiente de convección externo dado por el viento es de 5,5

$W/m^2 \text{ } ^\circ C$

Calculo del coeficiente de convección por radiación (hr):

$$\begin{aligned}\sigma_{\text{al}} &:= 5.67 \cdot 10^{-8} \frac{W}{m^2 \cdot K^4} && \text{Emisividad del aluminio} \\ \varepsilon_c &:= 0.85 && \\ h_{\text{rad}} &:= 4\varepsilon_c \cdot \sigma \cdot T_c^3 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} && \\ h_{\text{rad}} &= 32.592 && \end{aligned} \tag{4.9}$$

El coeficiente de transferencia de calor por radiación es de 32.592 W/m²°C

Calculo del coeficiente de convección interno del absorbedor (hi):

Resistencia por conducción del cobre (R₄)

Coeficiente de

$$\begin{aligned}K_{\text{cobre}} &:= 379 \frac{W}{m \cdot K} && \text{conductividad térmica del cobre} \\ R_4 &:= \frac{\ln\left(\frac{r_4}{r_3}\right)}{2 \cdot \pi \cdot K_{\text{cobre}}} \end{aligned}$$

Calculo del coeficiente de convección interno del aceite térmico (h₃)

Propiedades del Aceite térmico a utilizar - Texatherm 46²

$K_{\text{act}} := 0.11682$ Coeficiente de conductividad térmica del aceite

$C_{p_{\text{act}}} := 2763.96 \frac{W}{kg \cdot ^\circ C}$ Calor específico del aceite

$\mu_{\text{act}} := 6.12 \cdot 10^{-4} \frac{kg}{m \cdot s}$ Viscosidad dinámica del aceite

$Pr_{\text{act}} := 14.5$ Número de Prandtl del aceite

² En el Anexo E.4 se encontrará una tabla con las propiedades del aceite utilizado

$$\delta_{\text{act}} := 558.3 \quad \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad \text{Densidad del aceite}$$

$$m_{\text{act}} := 1 \quad \frac{\text{kg}}{\text{s}} \quad \text{Flujo másico del aceite}$$

Reynolds para el aceite térmico (fluido interno).

$$Re_{\text{act}} := \frac{4 \cdot m_{\text{act}}}{\pi \cdot Di \cdot \mu_{\text{act}}} \quad (4.10)$$

$$Re_{\text{act}} = 149942.83$$

Número de Nusselt:

$$n := 0.3 \quad \text{Para enfriamiento}$$

$$Nu := 0.023 \cdot Re_{\text{act}}^{\frac{4}{5}} \cdot Pr_{\text{act}}^n \quad (4.11)$$

$$Nu = 709.38$$

Coefficiente de transferencia de calor por convección interno:

$$h_3 := K_{\text{act}} \cdot \frac{Nu}{Di}$$

$$h_3 = 5972.594 \quad \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

Resistencia por convección del aceite (R_3)

$$R_3 := \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot r_3 \cdot h_3}$$

$$R_3 = 5.438 \times 10^{-4}$$

Resistencia por conducción del cobre (R_2)

$$R_2 := \frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2 \cdot \pi \cdot K_{\text{cobre}}}$$

$$R_2 = 1.213 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}$$

PROPIEDADES DEL AIRE A 37 °C

$$T_{\text{aire}} := 310 \text{ } ^\circ\text{K} \quad \text{Temperatura asumida}$$

$$\nu_{\text{aire}} := 16.89 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \quad \text{Viscosidad cinemática del aire}$$

$$Pr_{\text{aire}} := 0.705 \quad \text{Prandtl del aire}$$

$$\beta_{\text{aire}} := T_{\text{aire}}^{-1}$$

$$\beta_{\text{aire}} = 0.003 \text{ } ^\circ\text{K}^{-1}$$

$$K_{\text{aire}} := 27.04 \cdot 10^{-3} \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} \quad \text{Coeficiente de conductividad térmica del aire}$$

$$g_v := \frac{D_{i, \text{abs}}}{9.81 \text{ s}^2} := 0.088 \text{ m} \quad \text{Gravedad}$$

(4.12)

Cálculo del número de Grashof

$$Gr_L := \frac{g_v \cdot \beta_{\text{aire}} \cdot [T_2 - (T_{\text{aire}} - 273)] \cdot (D_{i, \text{abs}})^3}{\nu_{\text{aire}}^2}$$

Cálculo del número de Nusselt

$$Gr_L = 17988625.882$$

$$Nu := 0.683 \cdot Gr_L^{0.25} \cdot \left[\frac{Pr_{\text{aire}}}{(0.861 + Pr_{\text{aire}})} \right]^{0.25} \quad (4.13)$$

$$Nu = 36.435$$

$$h_i := \frac{Nu \cdot K_{\text{aire}}}{D_{i, \text{abs}}}$$

$$h_i = 14.488 \quad \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K}$$

El coeficiente de transferencia de calor por convección interno es de 14.488 W/m²°C

$$r_a := \frac{D_s}{2} - \left(\frac{D_t}{2} \right) \quad \text{Radio del absorbedor}$$

$$r_a = 0.042 \quad m$$

$$U_{c1} := \frac{1}{\frac{r_1}{r_4} \cdot \frac{1}{(h_o + h_{rad})} + \frac{r_1}{K_{cobre}} \cdot \ln\left(\frac{r_4}{r_3}\right) + \frac{r_1}{r_a} \cdot \frac{1}{h_3} + \frac{r_1}{K_{cobre}} \cdot \ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right) + \frac{1}{h_i} + 0.002} \quad (4.14)$$

$$U_{c1} = 11.227 \quad \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

El coeficiente global de transferencia de calor es de 11.227 W/m²°C

Calor perdido:

$$q_p := U_{c1} \cdot (T_c - T_a) \cdot A_r$$

$$q_p = 47.171 \quad W$$

Calor útil:

$$q_u := q_{abs} - q_p$$

$$q_u = 1040.224 \quad W$$

Calor útil por unidad de Longitud (qu1)

Longitud de la tubería

$$L_{tub} := \pi \cdot D_s \cdot 10$$

$$L_{tub} = 3.142 \quad m$$

$$q_{u1} := \frac{q_u}{L_{tub}}$$

$$q_{u1} = 331.114 \quad \frac{W}{m}$$

Eficiencia instantánea del absorbedor (η_c):

$$\eta_c := \frac{q_u}{G_d \cdot A_a} \quad (4.15)$$

$$\eta_c = 0.445$$

Temperatura del aire interno en el absorbedor:

$$T_{ai} := T_2 - \frac{q_u}{h_i \cdot (\pi \cdot D_t \cdot L_{tub})} \quad (4.16)$$

$$T_{ai} = 94.488 \quad ^\circ\text{C}$$

Temperatura del aceite térmico

$$T_{p1} := T_c - q_{u1} \cdot R_4$$

$$T_{p1} = 552.945 \quad ^\circ\text{C}$$

(4.17)

$$T_{ac} := T_{p1} - \frac{q_u}{h_3 \cdot (\pi \cdot D_i \cdot L_{tub})}$$

$$T_{ac} = 551.673 \quad ^\circ\text{C}$$

Cálculo de pérdidas en la tubería:

$$L_a := 9 \quad \text{m}$$

$$T_{per} := T_{ac} - \frac{q_u \cdot L_a}{m_{act} \cdot C_{p_{act}}} \quad (4.18)$$

$$T_{per} = 548.286 \quad ^\circ\text{C}$$

4.1.2 INTERCAMBIADOR DE CALOR

Para el intercambio de calor, se diseñó un serpentín de tubería de cobre de 5/8", la altura de este debe ocupar los 2/3 de la altura de la caldera, y su diámetro deberá ocupar la mayor cantidad de espacio interior libre posible, sin tener contacto con las paredes de la caldera, para que de esta forma el proceso sea más eficiente. Además dentro de esta sección de diseño se involucra en cierto modo ya, el diseño de la caldera.

Datos iniciales:

$T_{a_i} := 135$	$^{\circ}\text{C}$	Temperatura de ingreso del aceite
$T_{a_g} := 25$	$^{\circ}\text{C}$	Temperatura de ingreso del agua
$T_{a_o} := 100$	$^{\circ}\text{C}$	Temperatura de salida del agua

Cálculo del volumen de agua interior en la caldera:

$$\text{Volumen}_1 := \left(\frac{\pi \cdot 0.35^2}{4} \right) \cdot 0.43$$

$$\text{Volumen}_2 := \left(\frac{\pi \cdot 0.325^2}{4} \right) \cdot 0.43$$

$$\text{Volumen}_{\text{agua}} := \text{Volumen}_1 - \text{Volumen}_2$$

$$\text{Volumen}_{\text{agua}} = 5.699 \times 10^{-3} \quad \text{m}^3$$

Tiempo de funcionamiento:

$$\text{tiempo} := 240 \quad \text{min}$$

$$\text{tiempo} := \text{tiempo} \cdot 60$$

$$\text{tiempo} = 14400 \quad \text{s}$$

Propiedades del agua:

Propiedades del agua a 75 °C - Pág. 846 - Incropera

$$\delta_{\text{agua}} := \frac{1}{1.027 \cdot 10^{-3}} \quad \text{Densidad del agua}$$

$$\delta_{\text{agua}} = 973.71 \quad \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$C_{p\text{agua}} := 4.195 \quad \frac{\text{KJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \quad \text{Calor específico del agua}$$

$$m_{\text{agua}} := \frac{\delta_{\text{agua}} \cdot \text{Volumen}_{\text{agua}}}{\text{tiempo}} \quad \text{Flujo másico de agua} \quad (4.19)$$

$$m_{\text{agua}} = 3.854 \times 10^{-4} \quad \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

Propiedades del agua saturada a la temperatura de 100 °C:

$$h_{fg} := 2257 \quad \frac{\text{KJ}}{\text{kg}} \quad \text{Calor latente de evaporación}$$

Calor necesario para calentar el agua:

$$Q_{\text{agua}} := m_{\text{agua}} \cdot h_{fg} + m_{\text{agua}} \cdot C_{p\text{agua}} \cdot (T_{\text{agua}_o} - T_{\text{agua}_i}) \quad (4.20)$$

$$Q_{\text{agua}} = 0.991 \quad \text{kW}$$

$$Q_{\text{aceite}} := Q_{\text{agua}}$$

$$C_{p_{act}} := 2.764 \frac{\text{KJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \quad \text{Calor específico del aceite}$$

$$m_{aceite} := 0.07 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \quad \text{Flujo másico de aceite}$$

$$T_{act_o} := T_{act_i} - \frac{Q_{aceite}}{m_{aceite} \cdot C_{p_{act}}} \quad (4.21)$$

$$T_{act_o} = 129.878 \text{ } ^\circ\text{C} \quad \text{Temperatura final del aceite}$$

Propiedades del Aceite térmico a utilizar - TEXATHERM 46

$$K_{act} := 0.11682 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}$$

$$C_{p_{act}} := 2763.96 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{C}}$$

$$\mu_{act} := 6.12 \cdot 10^{-4} \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}}$$

$$Pr_{act} := 14.5$$

$$\delta_{act} := 558.3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad \text{Diámetro de la tubería}$$

$$D_{tubo} := \frac{5}{8} \cdot \left(\frac{2.54}{100} \right) \quad \text{Diámetro interno de la tubería}$$

$$D_i := D_{tubo} - \left[0.039 \cdot 2 \cdot \left(\frac{2.54}{100} \right) \right]$$

Reynolds para el aceite térmico (fluido interno).

$$Re_{act} := \frac{4 \cdot m_{aceite}}{\pi \cdot D_i \cdot \mu_{act}} \quad (4.22)$$

$$Re_{act} = 10481.796$$

$$\text{Número de Nusselt: } \frac{4}{5} \frac{W}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

$$h_1 := \frac{K_{act} \cdot Re_{act} \cdot Pr_{act}^{1/4}}{D_i}$$

Número de Nusselt por convección interna (h_1):

(4.23)

(4.24)

Cambio de fase:

Propiedades del agua saturada a 100 °C - Página 846 - INCROPERA

$$\mu_V := 13.79 \cdot 10^{-6} \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}} \quad \text{Viscosidad dinámica del agua}$$

$$\rho_l := \frac{1}{1.044 \cdot 10^{-3}} \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$
$$\rho_l = 957.854 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$h_{fg} := h_{fg} \cdot 10^3 \frac{\text{J}}{\text{kg}} \quad \text{Calor latente de evaporación del agua}$$

$$C_{pV} := 2291 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \quad \text{Calor específico del agua}$$

$$g := 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \quad \text{Gravedad}$$

$$\rho_V := \frac{1}{0.425} \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\rho_V = 2.353$$

$$K_V := 29.8 \cdot 10^{-3} \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}$$

Coeficiente de conductividad térmica del vapor

$$T_s := 120 \quad ^\circ\text{C} \quad \text{Temperatura de superficie}$$

$$T_{\text{sat}} := 100 \quad ^\circ\text{C} \quad \text{Temperatura de saturación del agua}$$

$$\Delta T_e := T_s - T_{\text{sat}} \quad (4.25)$$

$$\Delta T_e = 20 \quad ^\circ\text{C}$$

Coeficientes de transferencia de calor:

Coeficiente de transferencia de calor por convección externo:

$$h_{\text{agua}} := 0.62 \cdot \left[\frac{(K_V)^3 \cdot \rho_V \cdot (\rho_l - \rho_V) \cdot g \cdot (h_{fg} + 0.8 \cdot C_{pV} \cdot \Delta T_e)}{\mu_V \cdot D_{\text{tubo}} \cdot \Delta T_e} \right]^{\frac{1}{4}} \quad (4.26)$$

$$h_{\text{agua}} = 461.038 \quad \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

Coeficiente de transferencia de calor por radiación (h_{rad}):

$$\varepsilon_c := 0.015 \quad \text{Emisividad del aluminio}$$

$$\sigma := 5.67 \cdot 10^{-8} \quad \text{Constante de Stefan Boltzman}$$

$$h_{\text{rad}} := \frac{\varepsilon_c \cdot \sigma \cdot (T_s^4 - T_{\text{sat}}^4)}{T_s - T_{\text{sat}}} \quad (4.27)$$

$$h_{\text{rad}} = 4.565 \times 10^{-3}$$

Cálculo del coeficiente global de transferencia de calor:

$$Re_{\text{tubo}} := \frac{D_{\text{tubo}}}{2} \quad \text{Radio externo de la tubería}$$

$$Re_{\text{tubo}} = 0.008$$

$$Ri_{\text{tubo}} := \frac{Re_{\text{tubo}}}{0.001} = 0.008$$

Radio interno de la tubería

Factores de obstrucción:

$$Rd_i := 0.001 \quad (4.28)$$

$$Rd_o := 0.001 \quad \text{Diferencia media logarítmica de temperaturas:}$$

$$U_c := \frac{1}{\frac{1}{h_1} + \frac{Ri_{\text{tubo}}}{K_{\text{act}}} \cdot \ln\left(\frac{Re_{\text{tubo}}}{Ri_{\text{tubo}}}\right) + \frac{Ri_{\text{tubo}}}{Re_{\text{tubo}}} \cdot \frac{1}{(h_{\text{agua}} + h_{\text{rad}})} + Rd_i + Rd_o}$$

$$U_c = 75.181 \quad \frac{W}{m^2 K}$$

$$A_1 := Tact_i - Tagua_o$$

$$B_1 := Tact_o - Tagua_i$$

$$DMLT := \frac{A_1 - B_1}{\ln\left(\frac{A_1}{B_1}\right)} \quad (4.29)$$

$$DMLT = 63.673 \quad ^\circ C$$

Longitud del serpentín y número de espiras:

$$Q := Q_{\text{aceite}}$$

$$A_s := \frac{Q \cdot 1000}{U_c \cdot DMLT} \quad (4.30)$$

$$A_s = 0.207 \quad m^2$$

$$L_s := \frac{A_s}{\pi \cdot D_{\text{tubo}}} \quad (4.31)$$

$$L_s = 4.151 \quad m$$

4.1.3 CALDERO

En esta sección se realiza el análisis del espesor de aislamiento del caldero, para evitar pérdidas por transferencia de calor al ambiente.

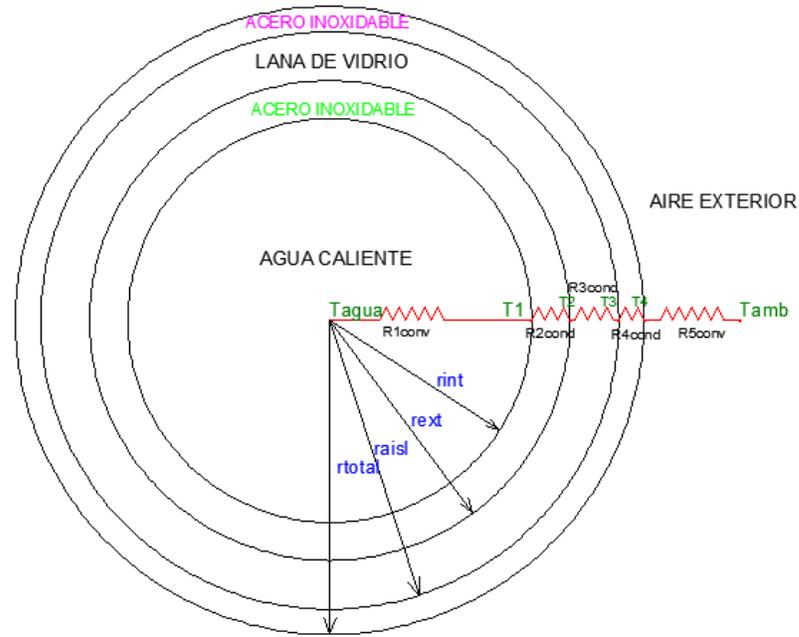


Figura 4.3 Análisis de resistencias en el caldero

Para analizar las resistencias que tenemos en el caldero, se debe conocer inicialmente lo siguiente:

Propiedades del aire externo:

$$\mu_{aire} := 179.1 \cdot 10^{-7} \cdot \frac{N \cdot s}{m^2} \quad \text{Viscosidad dinámica del fluido externo}$$

$$V_{aire} := 0.9 \cdot \frac{m}{s} \quad \text{Velocidad del aire}$$

$$\delta_{aire} := 1.2167 \cdot \frac{kg}{m^3} \quad \text{Densidad del aire}$$

Datos del caldero:

$$t_{com} := \frac{3}{1000} \cdot m \quad \text{Espesor del tanque}$$

$$t_{com} = 0.003m$$

$$D_e := 0.35 \cdot m \quad \text{Diámetro externo}$$

$$D_{in} := D_e - 2 \cdot t_{com} \quad \text{Diámetro interno}$$

Aislante:

Espesor del aislante

$$e_{\text{ais}} := 0.02 \cdot \text{m}$$

Espesor de la plancha de acero inoxidable con la que se va a recubrir el tanque

$$e_{\text{ai}} := 0.0015 \cdot \text{m}$$

Diámetro total con aislante

$$D_{\text{tot}} := D_e + 2 \cdot e_{\text{ais}} + 2 \cdot e_{\text{ai}}$$

$$D_{\text{tot}} = 0.393 \text{m}$$

Cálculo del coeficiente de convección del aire externo:

El aire externo, influye directamente en la pérdida de calor que tenga el caldero, por tanto es necesario conocer su coeficiente de transferencia de calor por convección, dado de la siguiente manera:

Numero de Reynolds del fluido externo (aire)

$$N_{\text{Re}} := \frac{\delta_{\text{aire}} \cdot V_{\text{aire}} \cdot D_{\text{tot}}}{\mu_{\text{aire}}} \quad (4.33)$$

Constantes de correlación empírica debida a Hilpert para el aire

$$N_{\text{Re}} = 2.403 \times 10^4$$

$$C_1 := 0.027$$

$$m_1 := 0.805$$

Número de Prandtl del fluido externo para el aire

$$P_r := 0.71$$

Numero de Nusselt del fluido externo aire

$$h_e := \frac{K_e}{D_{\text{tot}}} \cdot \frac{1}{\text{Pr}^{0.425}} \cdot \frac{N_{\text{Re}}^{0.725}}{C_1} \cdot \frac{W}{W} \quad (4.34)$$

Coefficient de convection de l'air externe (aire)

$$N_u := C_1 \cdot N_{Re}^{m_1} \cdot Pr^{\frac{1}{3}} \quad (4.34)$$

(4.35)

Por tanto se obtiene un coeficiente de convección externo de $5,223 \text{ W/m}^2\text{°C}$

Cálculo del radio crítico de aislamiento:

El flujo de calor alcanza un valor máximo cuando su radio es igual al radio crítico, mientras que a partir del incremento del radio crítico, el flujo de calor empieza a disminuir respecto del medio exterior.³

$$K_{\text{ais}} := 0.062 \frac{\text{W}}{\text{K} \cdot \text{m}} \quad \text{Conductividad del aislante (Lana de vidrio)}$$

Radio Crítico del aislamiento

$$r_{\text{ca}} := \frac{K_{\text{ais}}}{h_e} \quad (4.36)$$

$$r_{\text{ca}} = 0.012\text{m}$$

Cálculo del coeficiente de convección interno (agua):

$$\mu_{\text{agua}} := 722.38 \cdot 10^{-6} \frac{\text{N} \cdot \text{s}}{\text{m}^2} \quad \text{Viscosidad del fluido interno agua}$$

³ www.mipagina.cantv.net
 $m_{\text{agua}} := 0.0015 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$ Caudal másico del fluido interno

Cambio de fase en el agua:

Propiedades del agua saturada a 100 °C - Página 846 - INCROPERA

$$\mu_V := 13.79 \cdot 10^{-6} \quad \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}} \quad \begin{array}{l} \text{Viscosidad dinámica} \\ \text{Densidad del agua en estado líquido} \end{array}$$

$$\rho_l := \frac{1}{1.044 \cdot 10^{-3}} \quad \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\rho_l = 957.854 \quad \text{Calor latente de evaporación del agua}$$

$$h_{fg} := h_{fg} \cdot 10^3 \quad \frac{\text{J}}{\text{kg}} \quad \text{Calor específico del agua}$$

$$C_{pV} := 2291 \quad \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \quad \text{Gravedad}$$

$$g := \frac{9.81}{0.425} \quad \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad \text{Densidad del agua en estado gaseoso}$$

$$\rho_V = 2.353$$

$$K_V := 29.8 \cdot 10^{-3} \quad \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} \quad \text{Conductividad térmica del vapor}$$

$$T_s := 225 \quad ^\circ\text{C} \quad \begin{array}{l} \text{Temperatura de superficie} \\ \text{Temperatura de saturación} \end{array}$$

$$T_{\text{sat}} := 100 \quad ^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_e := T_s - T_{\text{sat}}$$

$$D_{\text{tubo}} := 0.016 \quad \text{m}$$

$$\Delta T_e = 125 \quad ^\circ\text{C}$$

Coefficiente de transferencia de calor por convección interno:

$$h_{\text{agua}} := 0.62 \cdot \left[\frac{(K_V)^3 \cdot \rho_V \cdot (\rho_l - \rho_V) \cdot g \cdot (h_{fg} + 0.8 \cdot C_{pV} \cdot \Delta T_e)}{\mu_V \cdot D_{\text{tubo}} \cdot \Delta T_e} \right]^{\frac{1}{4}} \quad (4.37)$$

$$h_{\text{agua}} = 163.602$$

$$h_{\text{agua}} := 163.602 \cdot \left(\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \right)$$

El coeficiente de convección interno del agua es de $163.602 \text{ W/m}^2\text{°C}$

Cálculo de los radios:

$$r_{\text{ext}} := \frac{D_e}{2} \quad \text{Radio externo del caldero}$$

$$r_{\text{ext}} = 0.175 \text{ m}$$
$$r_{\text{int}} := r_{\text{ext}} - t_{\text{com}} \quad \text{Radio interno del caldero}$$

$$r_{\text{int}} = 0.172 \text{ m}$$

$$r_{\text{tot}} := \frac{D_{\text{tot}}}{2} \quad \text{Radio total con aislante}$$

$$r_{\text{tot}} = 0.196 \text{ m}$$

$$r_a := r_{\text{ext}} + e_{\text{ais}} \quad \text{Radio hasta el recubrimiento exterior}$$

$$r_a = 0.195 \text{ m}$$

$$K_{\text{acero}} := 60.5 \frac{\text{W}}{\text{m}\cdot\text{K}} \quad \text{Conductividad del acero}$$

Cálculo de la resistencia térmica total:

La analogía eléctrica es muy utilizada cuando existen paredes compuestas, estas incluyen cualquier número de resistencias térmicas en serie y en paralelo debido a capas de diferentes materiales⁴. El cálculo de la resistencia térmica total, se realiza en base a la figura 4.3 expuesta anteriormente, y tiene como fórmula la siguiente:

⁴ Fundamentos de Transferencia de Calor, Frank P. Incropera, Cuarta Edición, pág.79

$$R_{\text{tot}} := \frac{1}{\pi \cdot D_{\text{in}} \cdot h_{\text{agua}}} + \frac{\ln\left(\frac{r_{\text{ext}}}{r_{\text{int}}}\right)}{2 \cdot \pi \cdot K_{\text{acero}}} + \frac{\ln\left(\frac{r_a}{r_{\text{ext}}}\right)}{2 \cdot \pi \cdot K_{\text{ais}}} + \frac{\ln\left(\frac{r_{\text{tot}}}{r_a}\right)}{2 \cdot \pi \cdot K_{\text{acero}}} + \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot r_{\text{tot}} \cdot h_e}$$

(4.38)

$$R_{\text{tot}} = 0.439 \text{m} \cdot \text{K} \cdot \frac{1}{\text{W}}$$

Cálculo del calor obtenido entre el fluido interno y externo:

$$T_{\text{agua}} := 373\text{K} \quad \text{Temperatura del agua}$$

$$T_{\text{amb}} := 290\text{K} \quad \text{Temperatura ambiente}$$

$$Q := \frac{T_{\text{agua}} - T_{\text{amb}}}{R_{\text{tot}}}$$

(4.39)

$$Q = 189.241 \frac{1}{\text{m}} \cdot \text{W}$$

Temperatura interna del fluido:

$$C_p := 4181 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \quad \text{Calor específico del agua}$$

$$L := 0.65\text{m} \quad \text{Longitud del tanque}$$

$$T_{\text{fint}} := T_{\text{agua}} - \frac{Q \cdot L}{m_{\text{agua}} \cdot C_p}$$

(4.40)

$$T_{\text{fint}} = 353.386\text{K}$$

Temperatura perdida en °C

$$T_{\text{agua2}} := 100\text{C}$$

$$T_{\text{fint2}} := 98.91\text{C}$$

$$T_{\text{perd}} := T_{\text{agua2}} - T_{\text{fint2}}$$

$$T_{\text{perd}} = 1.09C$$

4.1.4 CÁMARA DE VAPORIZACIÓN

En la cámara de vaporización se realiza el análisis térmico del calor necesario que debe tener el vapor, con el fin de obtener los resultados terapéuticos esperados, y crear un ambiente agradable y de confort a la persona que se encuentre tomando los baños de cajón.

Dimensiones establecidas:

$a := 1.2$	m	Altura
$b := 0.8$	m	Largo
$c := 0.9$	m	Ancho

Temperaturas:

$T_{\text{vapor}} := 105$	°C	Temperatura de ingreso del vapor
$T_{\text{pared}} := 55$	°C	Temperatura de las paredes de la cámara Temperatura media
$T_{\text{interior}} := 40$	°C	Temperatura en el interior de la cámara
$T_b := \frac{T_{\text{vapor}} + T_{\text{interior}}}{2}$		
$T_p := \frac{T_b + T_{\text{pared}}}{2}$	°C	Temperatura de película
$T_f = 63.75$	°C	

Calor específico del cuerpo humano

$$C_{p_h} := 1.725 + 0.025 \cdot \frac{CH}{100} \quad (4.41)$$

$$C_{p_h} = 1.743$$

$$Q_h := m_h \cdot C_{p_h} \cdot (T_2 - T_1)$$

Área de la cámara de vaporización:

$$Q_h = 486.025 \quad \text{W} \quad (4.42)$$

$$A_{rc} := 2 \cdot a \cdot b + 2 \cdot b \cdot c + 2 \cdot c \cdot a \quad (4.43)$$

$$A_{rc} = 5.52 \quad \text{m}^2$$

Cálculo del calor perdido por convección del aire externo:

	°C	Temperatura ambiente
$V_{\text{viento}} := 0.9$	$\frac{\text{m}}{\text{s}}$	Velocidad del viento en la ESPE
		Coefficiente de convección externo

$$h_{\text{ext}} = 5.52 \quad \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

Resistencia térmica externa (4.44)

$$R_{c_{\text{ext}}} := \frac{1}{h_{\text{ext}} \cdot A_{rc}}$$

Calor perdido por convección externa

$$R_{c_{\text{ext}}} = 0.033 \quad \frac{\text{K}}{\text{W}} \quad (4.45)$$

$$Q_{p_{\text{ext}}} := \frac{T_{\text{interior}} - T_{\text{amb}}}{R_{c_{\text{ext}}}}$$

$$Q_{p_{\text{ext}}} = 484.85 \quad \text{W}$$

Cálculo del coeficiente de convección por radiación (hr)

$\sigma := 5.67 \cdot 10^{-8}$	$\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}^4}$	Constante de Stefan Boltzman
--------------------------------	--	------------------------------

$\epsilon_c := 0.91$		Emisividad de la madera
----------------------	--	-------------------------

$$h_{\text{rad}} := 0.034 \cdot T_{\text{pared}}^3$$

Resistencia térmica por radiación

$$R_{\text{rad}} := \frac{1}{h_{\text{rad}} \cdot A_{\text{rc}}}$$

$$R_{\text{rad}} = 5.276 \quad \frac{\text{K}}{\text{W}}$$

Calor perdido por radiación

(4.46)

$$Q_{\text{Prad}} := \frac{T_f - T_{\text{amb}}}{R_{\text{rad}}}$$

Cálculo del calor perdido por convección en el agujero del cuello:

$$Q_{\text{Prad}} = 8.67 \quad \text{W}$$

$$A_{\text{cu}} := \pi \cdot 0.0125^2$$

Área del agujero del cuello

$$V_{\text{aire}} := 0.32 \quad \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Velocidad del aire que sale por el agujero del cuello

$h_o := 2.8 + 3V_o$ Coeficiente de convección

$$h_{\text{cu}} = 3.896 \quad \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

Resistencia térmica

$$R_{\text{cu}} := \frac{1}{h_{\text{cu}} \cdot A_{\text{cu}}}$$

$$R_{\text{cu}} = 522.891 \quad \frac{\text{K}}{\text{W}}$$

Calor perdido por convección en el cuello de la persona

$$Q_{p_{cu}} := \frac{T_f - T_{amb}}{R_{cu}} \quad (4.47)$$

$$Q_{p_{cu}} = 0.09 \quad W$$

Cálculo del calor neto necesario en la cámara de vaporización:

$$Q_N := Q_h + Q_{p_{ext}} + Q_{p_{rad}} + Q_{p_{cu}} \quad (4.48)$$

$$Q_N = 979.635 \quad W$$

4.1.5 DUCTOS DE CONDUCCIÓN DEL CALOR

A continuación se realiza el análisis de pérdidas de temperatura a lo largo de los ductos de conducción de calor, de acuerdo a las distancias de tubería establecidas en el montaje del sistema y el aislamiento seleccionado. Para lo cual, es necesario conocer:

Datos de temperaturas:

$$T_{\text{act}} := 150 \quad ^\circ\text{C} \quad \text{Temperatura del aceite térmico}$$

$$T_{\text{amb}} := 18 \quad ^\circ\text{C} \quad \text{Temperatura ambiente}$$

Propiedades del Aceite térmico a utilizar - Therm G.L 450 Esso

$$K_{\text{act}} := 0.11682 \quad \frac{\text{W}}{\text{m}\cdot\text{K}} \quad \text{Conductividad térmica del aceite}$$

$$C_{p_{\text{act}}} := 2763.96 \quad \frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot\text{C}} \quad \text{Calor específico del aceite}$$

$$\mu_{\text{act}} := 6.12 \cdot 10^{-4} \quad \frac{\text{kg}}{\text{m}\cdot\text{s}} \quad \text{Viscosidad dinámica}$$

$$Pr_{\text{act}} := 14.5 \quad \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad \text{Número de Prandtl}$$

$$\delta_{\text{act}} := 558.3 \quad \text{Densidad}$$

$$m_{\text{act}} := 0.07 \quad \frac{\text{kg}}{\text{s}} \quad \text{Flujo másico de aceite}$$

Datos de la tubería para la conducción de calor:

$$De := \left(\frac{5}{8} \cdot \frac{2.54}{100} \right) \quad \text{Diámetro exterior de la tubería}$$

$$De = 0.016 \quad \text{m}$$

$$D_i := D_e - \left[0.039 \cdot 2 \cdot \left(\frac{2.54}{100} \right) \right] \quad \text{Diámetro interior de la tubería}$$

$$D_i = 0.014 \quad \text{m}$$

Análisis de resistencias térmicas en la tubería:

Se realiza un análisis de resistencias térmicas para conocer las pérdidas que se obtendrán hacia el medio exterior, como se muestra en la figura 4.4.

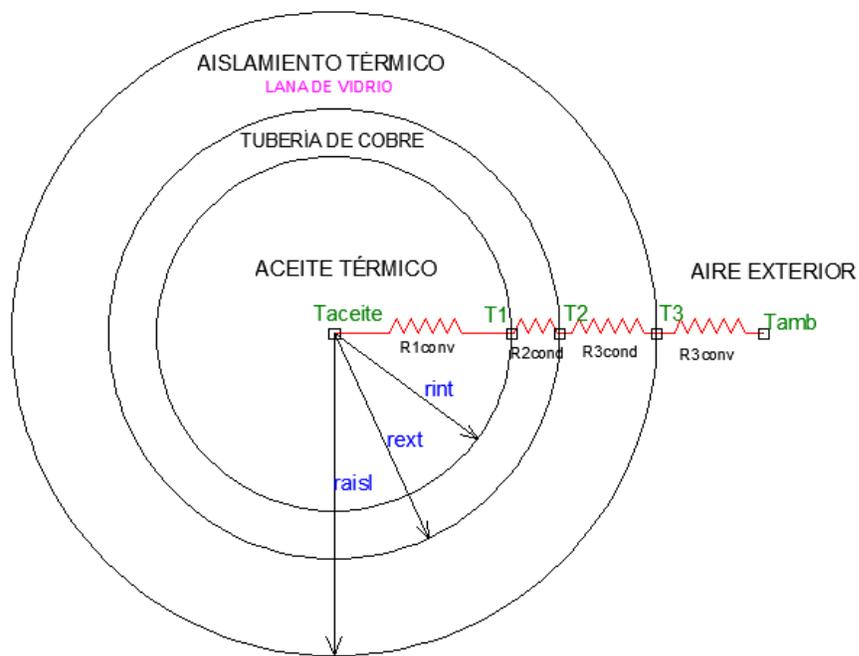


Figura 4.4 Análisis de resistencias térmicas en la tubería

Cálculo de la resistencia interna por convección del aceite térmico (R₁):

Reynolds para el aceite térmico (fluido interno).

$$Re_{act} := \frac{4 \cdot m_{act}}{\pi \cdot D_i \cdot \mu_{act}}$$

$$Re_{act} = 10481.796$$

Número de Nusselt:

$$n := 0.3 \quad \text{Para enfriamiento}$$

$$\text{Nu} := 0.023 \cdot \text{Re}_{\text{act}}^{\frac{4}{5}} \cdot \text{Pr}_{\text{act}}^n$$

$$\text{Nu} = 84.428$$

Coefficiente de transferencia de calor por convección interno:

$$h_1 := K_{\text{act}} \cdot \frac{\text{Nu}}{D_i}$$

$$h_1 = 709.877 \quad \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

Resistencia térmica por convección - fluido interno (aceite térmico):

$$R_1 := \frac{1}{\pi \cdot D_i \cdot h_1} \quad \frac{\text{m} \cdot \text{K}}{\text{W}}$$

$$R_1 = 0.032$$

Cálculo de la resistencia por conducción del cobre (R_2):

$$K_{\text{cobre}} := 379 \quad \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} \quad \text{a } 600 \text{ }^\circ\text{K} \quad \text{Conductividad térmica}$$

$$r_e := \frac{D_e}{2} \quad \text{Radio exterior de la tubería}$$

$$r_i := \frac{D_i}{2} \quad \text{Radio interior de la tubería}$$

$$R_2 := \frac{\ln\left(\frac{r_e}{r_i}\right)}{2 \cdot \pi \cdot K_{\text{cobre}}} \quad (4.49)$$

$$R_2 = 5.598 \times 10^{-5} \quad \frac{\text{m} \cdot \text{K}}{\text{W}}$$

Cálculo de la resistencia por conducción del aislante (R₃):

$$e_a := 0.0254 \quad \text{m} \quad \text{Espesor de la lana de vidrio}$$

$$r_t := r_e + 2 \cdot e_a \quad \text{Radio total con aislante}$$

$$r_t = 0.059$$

$$K_{\text{aislante}} := 0.020 \quad \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} \quad \text{Conductividad térmica}$$

$$R_3 := \frac{\ln\left(\frac{r_t}{r_e}\right)}{2 \cdot \pi \cdot K_{\text{aislante}}}$$

$$R_3 = 15.927 \quad \frac{\text{m} \cdot \text{K}}{\text{W}}$$

Cálculo de la resistencia por convección del fluido externo (R₄):

Coeficiente de transferencia de calor por convección externo:

$$h_o := 2.8 + 3V_o$$

$$h_2 = 5.52 \quad \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

Resistencia térmica por convección - fluido externo (aire):

$$R_4 := \frac{1}{\pi \cdot (r_t \cdot 2) \cdot h_2} \quad (4.50)$$

$$R_4 = 0.491 \quad \frac{\text{m} \cdot \text{K}}{\text{W}}$$

Suma de resistencias térmicas:

$$R_{\text{total}} := R_1 + R_2 + R_3 + R_4$$

$$R_{\text{total}} = 16.45 \quad \frac{\text{m} \cdot \text{K}}{\text{W}}$$

Calor obtenido por unidad de longitud:

$$Q_t := \frac{T_{\text{act}} - T_{\text{amb}}}{R_{\text{total}}}$$

$$Q_t = 8.024 \quad \frac{\text{W}}{\text{m}}$$

Cálculo de pérdidas en la tubería:

$$L := 10 \quad \text{m}$$

Longitud total de la tubería

$$T_1 := T_{\text{act}}$$

$$T_2 := T_1 - \frac{Q_t \cdot L}{m_{\text{act}} \cdot C_{p_{\text{act}}}} \quad (4.51)$$

$$T_2 = 149.585 \quad ^\circ\text{C}$$

$$T_{\text{per}} := T_{\text{act}} - T_2$$

$$T_{\text{per}} = 0.415 \quad ^\circ\text{C}$$

4.2 DISEÑO MECÁNICO

4.2.1 RECIPIENTE ABSORBEDOR

Para el recipiente absorbedor, se ha seleccionado tubería de cobre debido a que este material posee una alta conductividad térmica, y ayudará a que la transferencia de calor se realice de una forma más efectiva. Además, consta de un recubrimiento de color negro mate en la superficie exterior, con lo que se permitirá captar con mayor eficiencia la radiación térmica. En esta sección, se realiza el análisis sobre el espesor mínimo requerido por la tubería de cobre para las condiciones propuestas de funcionamiento.

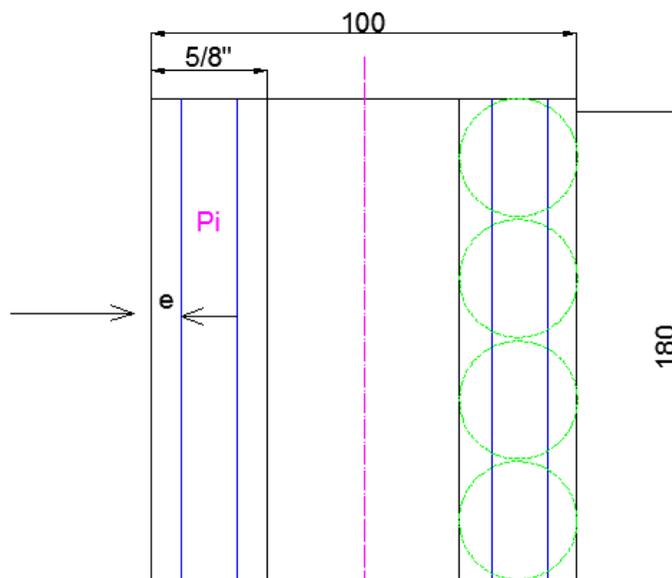


Figura 4.5 Recipiente absorbedor – Vista frontal

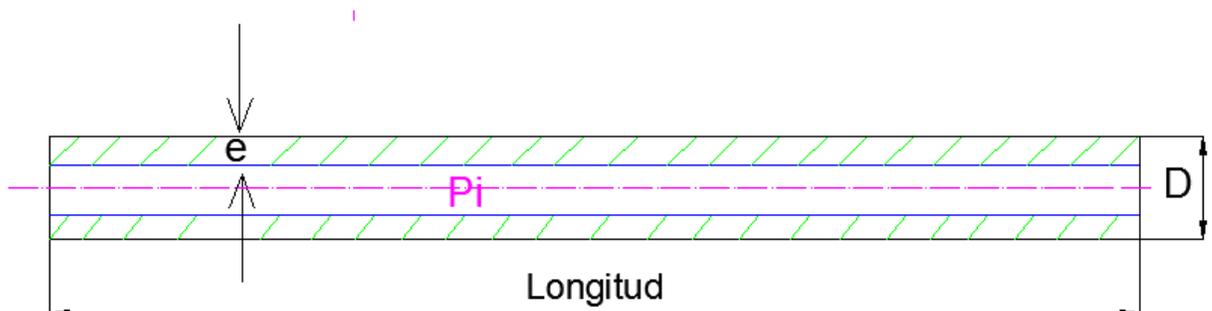


Figura 4.6 Tubería del absorbedor expandida

La presión interna que soporta la tubería está dada por la temperatura del fluido que recorrerá internamente por esta, y alcanza un valor de 2.5 a 4.5 Kg/cm². De acuerdo a esta, se realiza el análisis mecánico correspondiente:

Presión interna:

$$P_i := 3.5 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$P_i := (P_i \cdot 6.4516) \cdot 2.205$$

$$P_i = 49.78 \text{ psi}$$

Datos de la tubería:

$$D := \frac{5}{8} \text{ plg}$$

Diámetro de la tubería

$$L_t := 3.142 \text{ m}$$

Longitud de la tubería en metros

$$L_t := \frac{L_t \cdot 100}{2.54} \text{ plg}$$

Eficiencia de la junta:

$$E := \frac{0.7}{L_t} = 123.701$$

Longitud de la tubería en pulgadas

Factor de seguridad:

$$F_s := 1.5$$

Cálculo de la presión de diseño:

$$P_d := P_i + 0.1 \cdot P_i$$

(4.52)

$$P_d = 54.758 \text{ psi}$$

Radio exterior:

$$R_e := \frac{D}{2}$$

$$R_e = 0.313 \text{ plg}$$

Corrosión admisible:

$$CA := \frac{1}{25} \text{ plg}$$

Esfuerzo admisible del cobre⁵:

$$\sigma_{adm} := 280 \quad \text{MPa}$$

$$\sigma_{adm} := \sigma_{adm} \cdot 1000 \cdot 1000$$

$$\sigma_{adm} := \sigma_{adm} \cdot 1.4504 \cdot 10^{-4}$$

$$\sigma_{adm} = 40611.2 \quad \text{psi}$$

(4.53)

$$S := \frac{\sigma_{adm}}{F_s}$$

$$S = 27074.133 \quad \text{psi}$$

Cálculo del espesor requerido de la tubería:

$$t := \frac{P_d \cdot R_e}{S \cdot E + 0.4 \cdot P_d} + CA \quad (4.54)$$

$$t = 0.04 \quad \text{plg}$$

De este cálculo se obtiene que el espesor comercial para la tubería debe ser de:

$$t_{com} := t \cdot 25.4$$

$$t_{com} = 1 \quad \text{mm}$$

Cálculo de la presión máxima admisible:

$$P_{max} := \frac{S \cdot E \cdot t}{R_e - 0.4 \cdot t} \quad (4.55)$$

$$P_{max} = 2.55 \times 10^3 \quad \text{psi}$$

⁵ www.scielo.org.ve/Propiedades_de_materiales

Cálculo de la presión de prueba hidrostática:

$$P_h := 1.3 \cdot P_d \cdot 1 \quad (4.56)$$

$$P_h = 71.22 \quad \text{psi}$$

4.2.2 RECIPIENTE GENERADOR DE VAPOR

El caldero, se ha diseñado de tal forma que su espesor soporte la presión interna causada por el cambio de fase del agua, y generación de vapor. Donde se obtuvo:

CUERPO CILÍNDRICO:

Diámetro externo:

$$D_e := 0.35 \quad \text{m}$$

Longitud:

$$L := 0.65 \quad \text{m}$$

Eficiencia de la junta:

$$E := 0.7$$

Factor de seguridad:

$$F_s := 1.5$$

$$V_C := \text{Volumen del caldero: } \frac{\pi \cdot D_e^2 \cdot L}{4}$$

$$V_C = 0.063 \quad \text{m}^3$$

Presión de operación:

$$P_o := 80 \quad \text{psi}$$

Presión de diseño:

$$P_d := P_o + 0.1 \cdot P_o$$

$$P_d = 88 \quad \text{psi}$$

La presión a la que va a realizarse el diseño del caldero es de 88 psi.

$$t := \frac{P_d \cdot D_e}{2 \cdot S \cdot E}$$

El espesor posible:

Esfuerzo admisible para el acero inoxidable SA 240 GRADO 304⁶

$$\sigma_{adm} := 15900 \text{ psi}$$

psi

Cálculo del espesor del cuerpo para el caldero:

Un aspecto importante dentro del cálculo del espesor del caldero, es la corrosión admisible, la misma que de acuerdo con normativas puede variar entre 1 a 3mm, y dependerá del fluido interno de trabajo, y el medio al que se encuentra expuesto el recipiente.

$$t := \frac{P_d \cdot R_e}{S \cdot E + 0.4 \cdot P_d} + CA$$

$$t = 0.113 \text{ in}$$

$$t_{com} = \frac{t_{com} := t \cdot 25.4}{2.859} \text{ mm}$$

Espesor comercial 3 mm

⁶Eugene F. Megyesy - Manual de Recipientes a Presión - Tabla pág. 160

Cálculo de la presión máxima admisible:

$$P_{\max} := \frac{S \cdot E \cdot t}{R_e - 0.4 \cdot t}$$

$$P_{\max} = 122.037 \text{ psi}$$

El caldero puede soportar una presión máxima interna de 122.037 psi

Cálculo de la presión de prueba hidrostática:

$$P_h := 1.3 \cdot P_d \cdot 1$$

$$P_h = 114.4 \text{ psi}$$

La prueba hidrostática para el caldero, se debe realizar a una presión de 114.4 psi.

CABEZAS HEMISFÉRICAS:

Son comúnmente utilizadas, y además son menos complicadas de construir, tienen la forma hemisférica, para soportar la presión interna que va a generarse en el caldero.

Cálculo del espesor de las cabezas:

$$t_c := \frac{P_d \cdot R_e}{2 \cdot S \cdot E + 0.8 \cdot P_d} + CA$$

$$t_c = 0.072 \text{ in}$$

$$t_{\text{com}} := t_c \cdot 25.4$$

$$t_{\text{com}} = 1.827 \text{ mm}$$

Espesor comercial 2 mm

El espesor que deben tener las cabezas es de 2mm,

sin embargo se construye con un espesor de 3mm debido a que existe la posibilidad de utilizar parte de la plancha de acero inoxidable utilizada para el cuerpo del caldero.

Cálculo de la presión máxima:

$$P_C := \frac{2 \cdot S \cdot E \cdot t_C}{R_e - 0.8 \cdot t_C}$$

$$P_C = 156.199 \quad \text{psi}$$

Las cabezas pueden soportar hasta una presión de 156.199 psi.

4.2.3 CÁMARA DE TERMOTERAPIA

La cámara de Termoterapia está diseñada, de tal forma que permita concentrar el calor dentro de esta, y para que el vapor suministrado sea expandido en su interior.

La estructura del cajón está elaborada en pino. Esta estructura, consiste en piezas de pino sólido en que se eliminan los nudos para dejar tablas homogéneas, unidas entre sí con unión *finger joint* en la cara o en el canto, pudiendo tener un acabado rústico o cepillado. Su apariencia es de un color que varía desde el blanco amarillento y el duramen es marrón-rojizo o marrón claro. Los anillos de crecimiento se distinguen fácilmente. Tiene una fibra recta y un grano bastante grueso. Permanece un fuerte olor a resina aunque la madera este seca.

Dentro de sus propiedades mecánicas⁷ se tiene:

- *Densidad media:* 580 kg/m³
- *Resistencia a la flexión estática:* 970 kg/Cm²
- *Resistencia a la compresión:* 490 kg/Cm²
- *Módulo de elasticidad:* 125 000 kg/Cm²

La duración de la madera varía mucho con la clase y medio. A la intemperie, y sin impregnar depende de las alternativas de sequedad y humedad: el roble dura 100 años; álamo, sesenta a noventa años; pino, alerce, cuarenta a ochenta años; sauce dura treinta años.

En el interior de la cámara se pueden colocar plantas medicinales como: menta, eucalipto, hierbaluisa, hierbabuena, manzanilla entre otras para causar confort a la persona, y sin duda alguna alejarlo del estrés que comúnmente nos agobia, generando de esta manera efectos de termoterapia sobre el cuerpo.

RESULTADOS:

A continuación, se muestra el resultado del análisis térmico y mecánico de cada uno de los componentes del sistema de termoterapia:

Tabla 4.1 Resultados obtenidos en el diseño térmico del sistema

ABSORBEDOR		
Altura del serpentín:	0,150	M
Eficiencia óptica:	0,465	
Calor del absorbedor:	1087,395	W

⁷ www.castor.es/pino_amarillo

Temperatura del absorbedor:	552,948	°C
Calor perdido:	47,171	W
Calor útil:	1040,224	W
Eficiencia instantánea:	0,445	
Temperatura con pérdidas:	548,286	°C
INTERCAMBIADOR DE CALOR		
Calor necesario para calentar el agua:	991	W
Coefficiente global de transferencia de calor:	75,181	W / m ² K
DMLT:	63,673	°C
Longitud del serpentín:	5	m
CALDERO		
Radio crítico de aislamiento:	0,012	m
Temperatura perdida con aislamiento:	1,090	°C
CÁMARA DE VAPORIZACIÓN		
Calor necesario que una persona sude:	486,025	W
Calor perdido por convección del aire externo:	484,85	W
Calor perdido por convección en el agujero del cuello:	0,090	W
Calor perdido por radiación:	8,670	W
Calor neto:	979,635	W
DUCTOS DE CONDUCCIÓN DEL CALOR		
Espesor de aislamiento:	0,025	m
Temperatura perdida con aislamiento:	0,415	°C

Tabla 4.2 Resultados obtenidos en el diseño mecánico del sistema

RECIPIENTE ABSORBEDOR		
Presión interna:	3,500	kgf / cm ²
Presión de diseño:	54,76	psi
Espesor para la tubería:	0,040	plg
RECIPIENTE GENERADOR DE VAPOR		
<i>CUERPO CILINDRICO</i>		
Presión de operación:	80,000	psi
Presión de diseño:	88,000	psi
Corrosión Admisible:	0,031	plg
Espesor:	0,113	plg

Espesor comercial:	2,859	mm
Presión máxima admisible:	122,037	psi
Presión de prueba hidrostática:	114,400	psi
CABEZAS HEMISFÉRICAS		
Espesor:	0,072	plg
Espesor comercial:	1,827	mm
Presión máxima admisible:	156,199	psi
CÁMARA DE VAPORIZACIÓN		
Material:	Madera	
Ancho:	0,900	m
Largo:	0,800	m
Altura:	1,200	m

CAPITULO 5

CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE

5.1 DIAGRAMAS DE PROCESOS

La secuencia de trabajo y las actividades de conformado mecánico se pueden interpretar con facilidad al utilizar los diagramas de operaciones tecnológicas, más conocidos como diagramas de proceso. Los símbolos para cada actividad se muestran a continuación:



Figura 5.1 Símbolos para procesos de fabricación

Para construir los elementos del sistema de termoterapia, y posterior montaje de componentes, se realizan los diagramas de procesos que se describen a continuación.

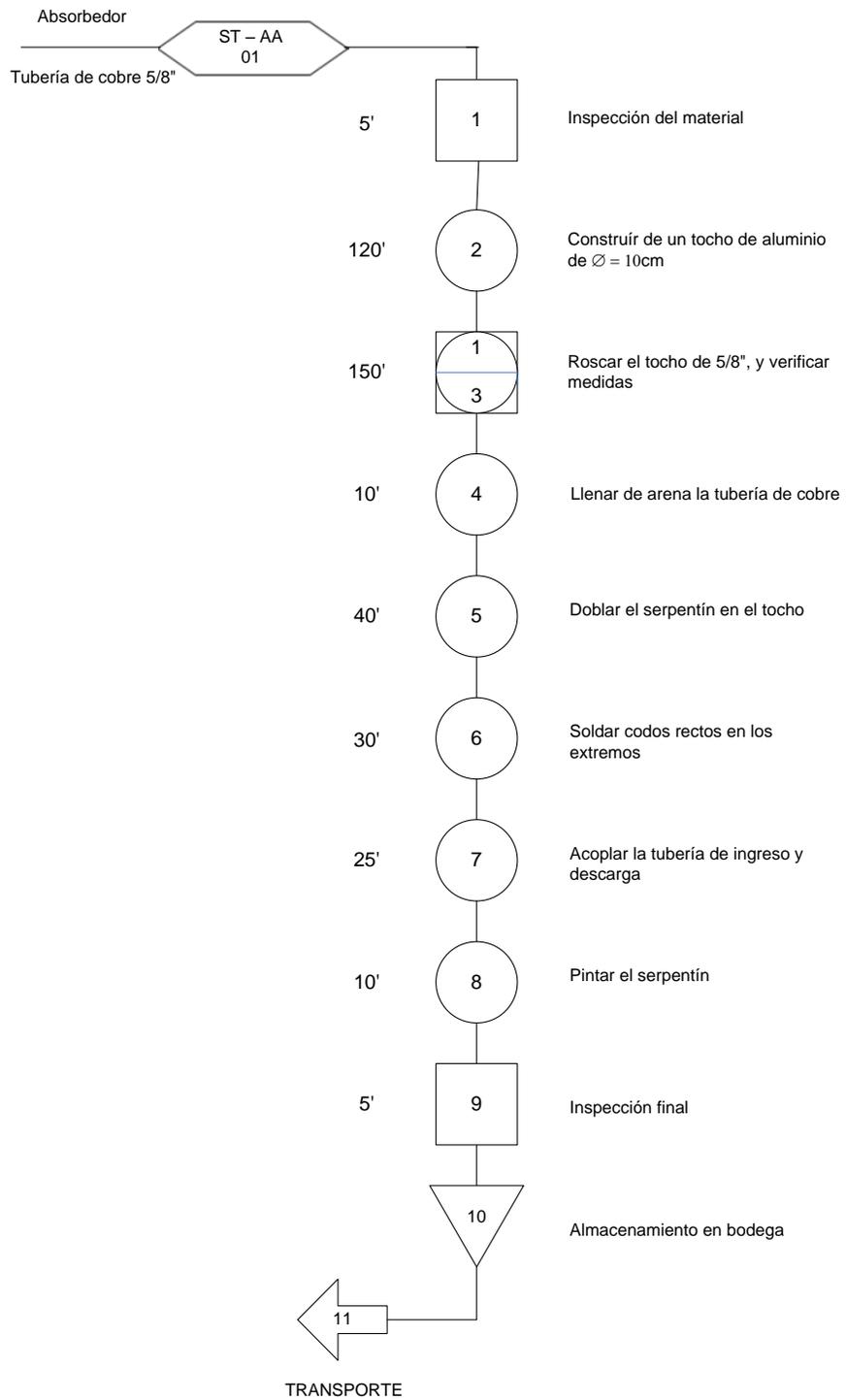


Figura 5.2 Proceso de fabricación del recipiente absorbedor

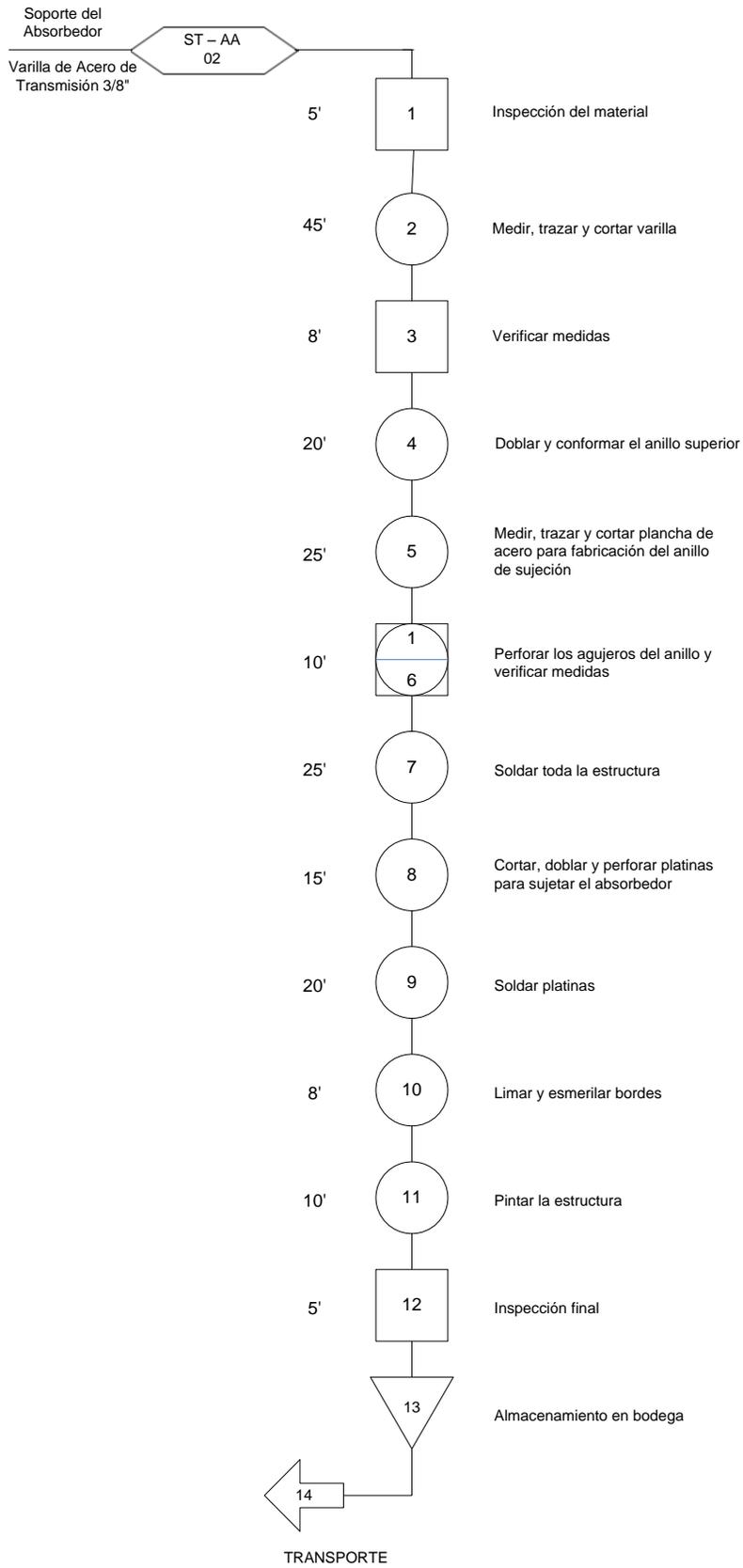
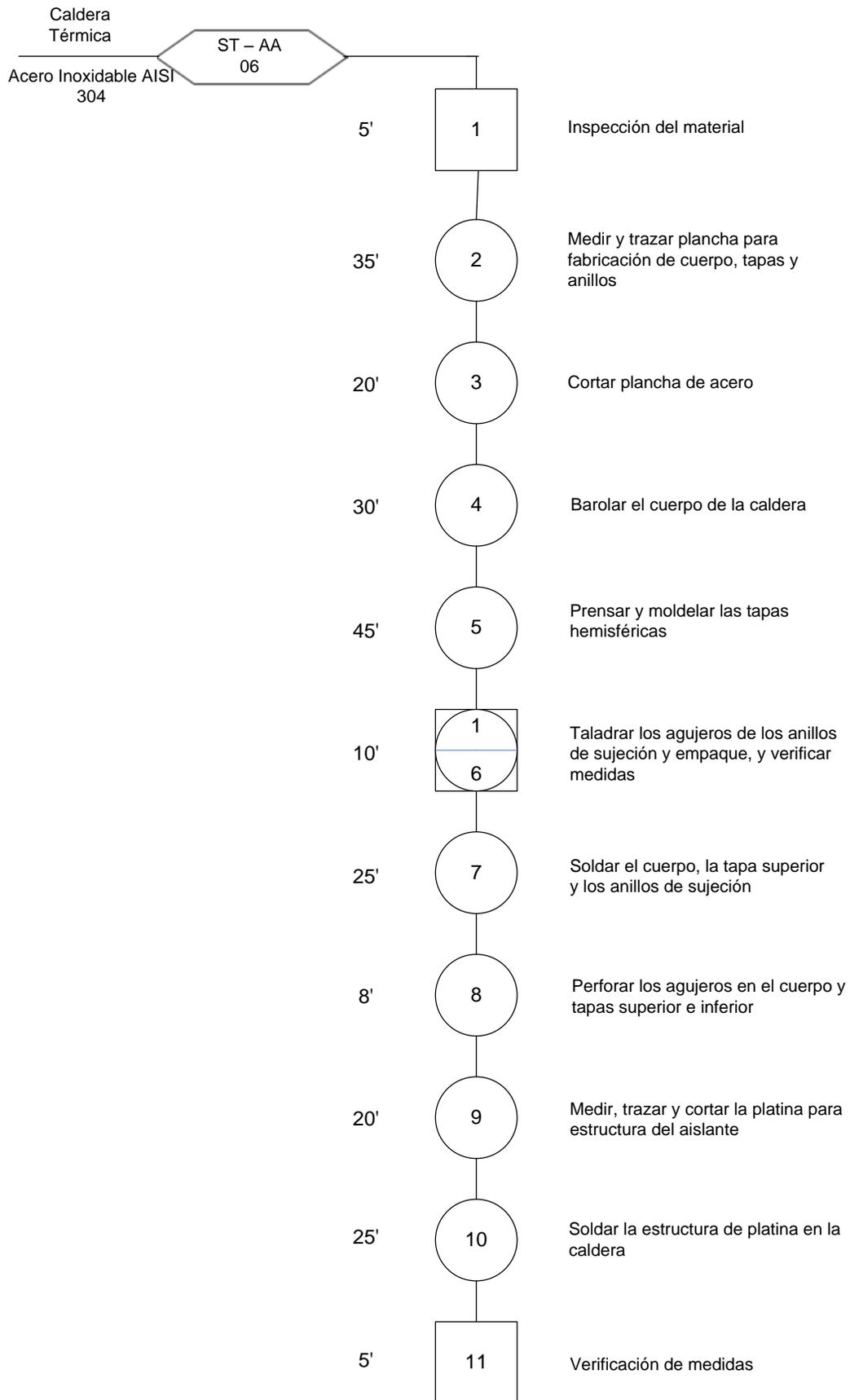


Figura 5.3 Proceso de fabricación del soporte del absorbedor



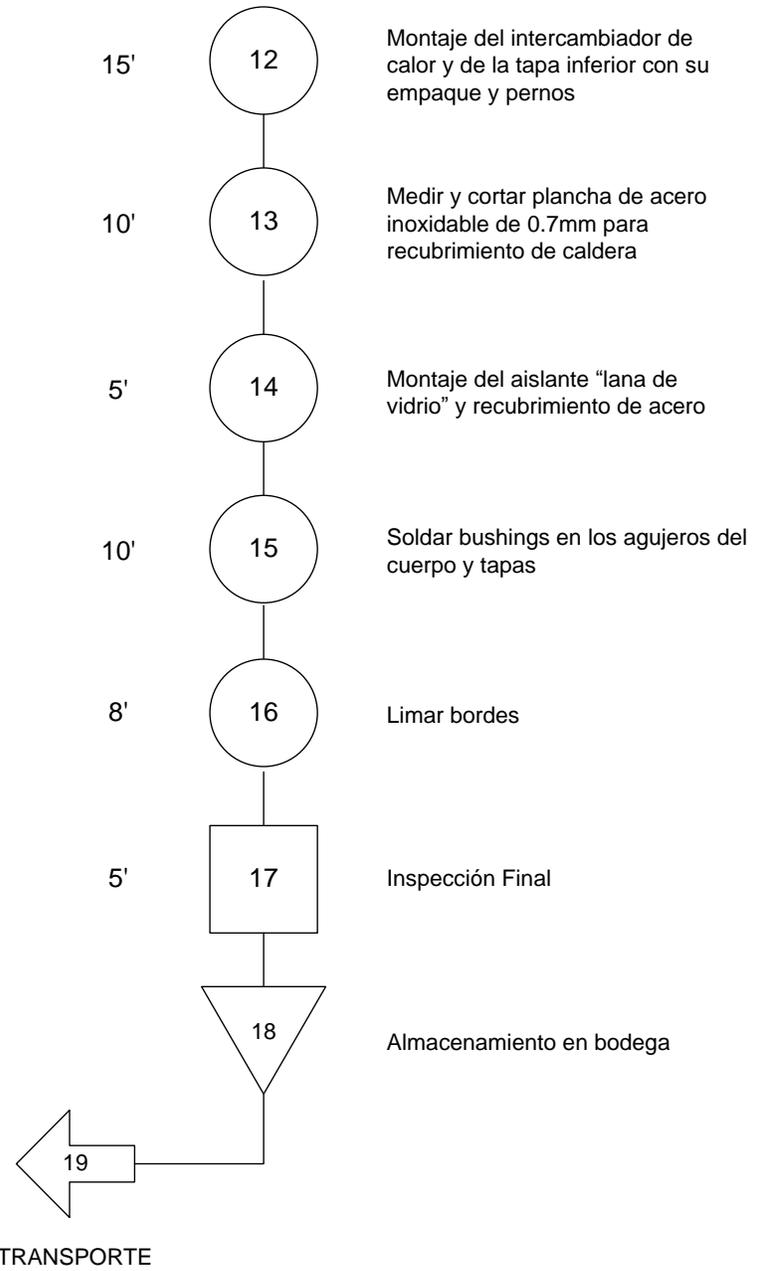


Figura 5.4 Proceso de fabricación de la caldera térmica

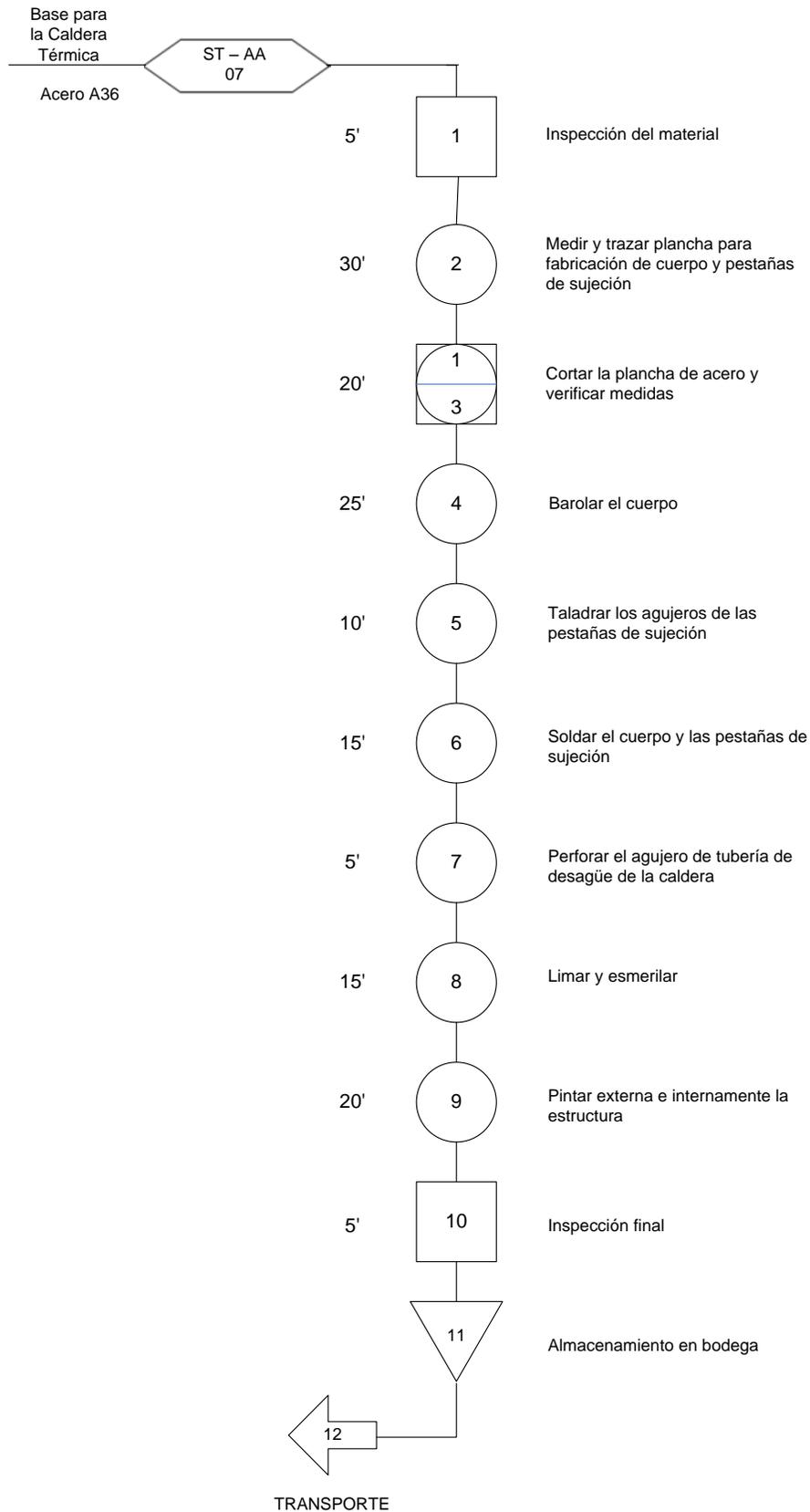


Figura 5.5 Proceso de fabricación de la base para la caldera térmica

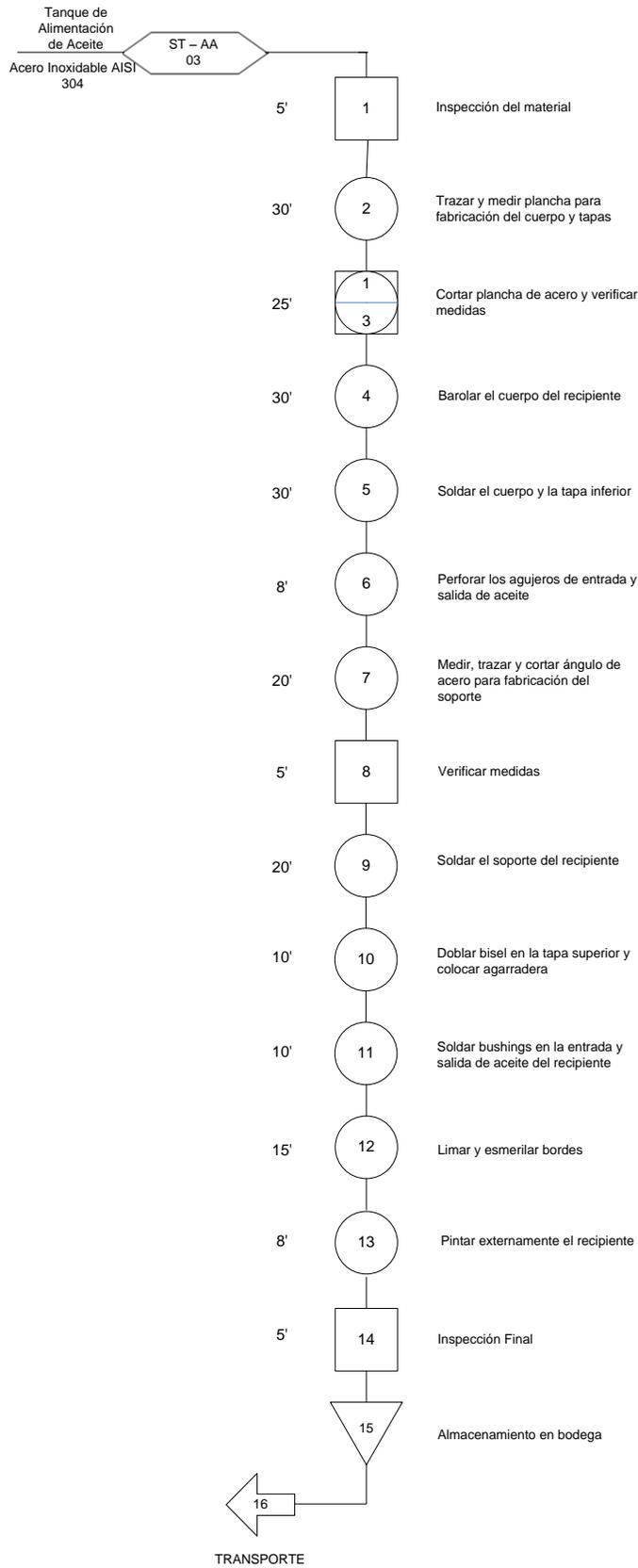


Figura 5.6 Proceso de fabricación del tanque de alimentación de aceite

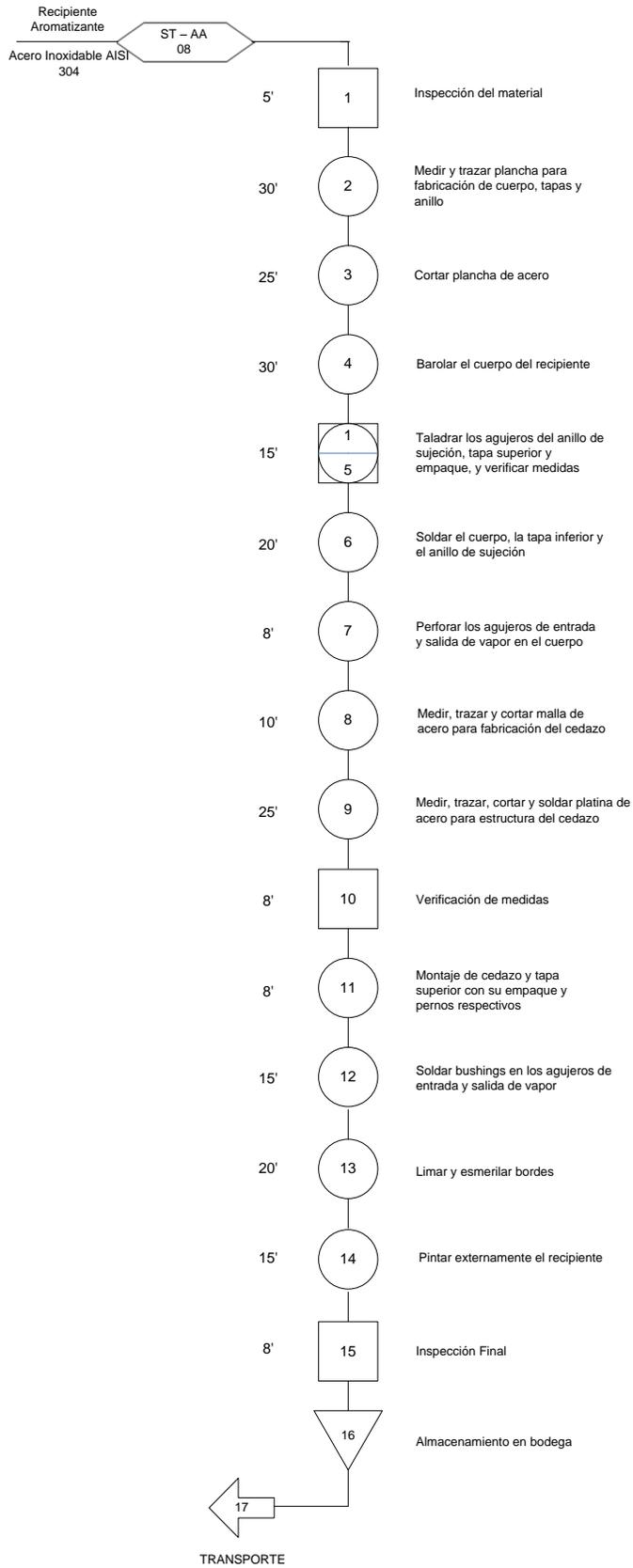


Figura 5.7 Proceso de fabricación del recipiente aromatizante

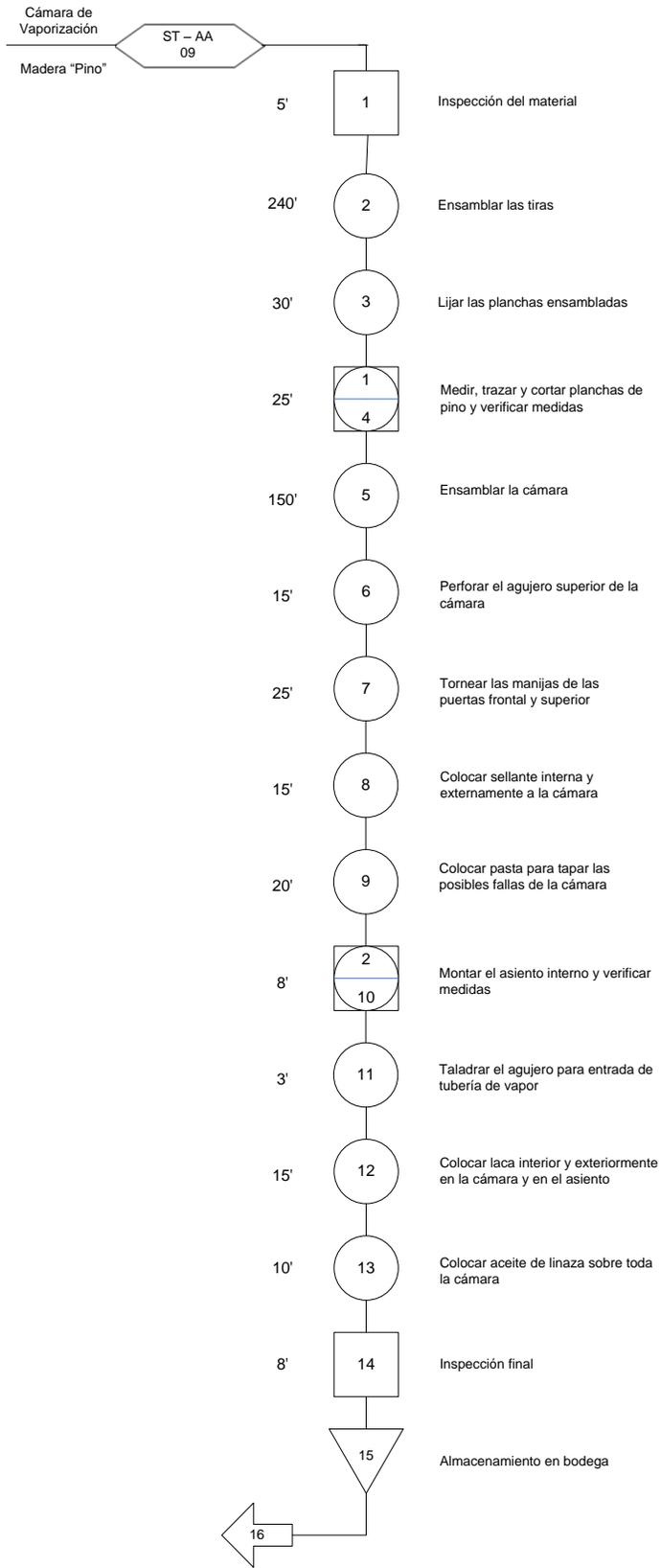


Figura 5.8 Proceso de fabricación de la cámara de vaporización

5.2 CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

En el cronograma de actividades **Anexo C.1**, se detalla, paso a paso la construcción de todo el sistema con sus respectivas fechas de fabricación. Así mismo se puede observar, una vez concluida la construcción, el proceso seguido para el montaje de este en el Laboratorio de Energías Renovables de la Escuela Politécnica del Ejército (ESPE), con sus respectivas partes y accesorios.

5.3 RECURSOS DE FABRICACIÓN

Los recursos de fabricación son una parte esencial para el desarrollo del proyecto, el realizar una correcta selección de los materiales, mano de obra, equipos y herramientas, da la seguridad que el proyecto alcance resultados satisfactorios, en tiempo, velocidad de proceso, calidad y seguridad.

5.3.1 MATERIALES

Hoy en día en el mercado existe una extensa gama de materiales que pueden ser utilizados para la fabricación de los componentes de este proyecto. Sin embargo, es indispensable que al momento de seleccionar aquellos sean compatibles con la realidad socioeconómica de los potenciales usuarios, así como también, se debe tomar en cuenta los costos de adquisición y transporte, conformado mecánico y las propiedades termo físicas. A continuación se realiza la descripción de la materia prima utilizada en la fabricación de los diversos componentes de este proyecto.

a) Absorbedor

Para el absorbedor se ha seleccionado tubería de cobre de 5/8", debido a que el cobre es un material que posee una alta conductividad térmica, esto ayudará a que la transferencia de calor en este se dé, de una forma mas rápida y efectiva, lo cual permitirá que el aceite térmico en la longitud seleccionada del absorbedor, llegue a la temperatura requerida. Por otra parte, se puede pensar en un recubrimiento de color negro mate en la superficie exterior, esta opción permitirá captar con mayor eficiencia la radiación térmica, ayudando a mejorar la transferencia de calor entre el absorbedor y el aceite térmico.

b) Soporte del absorbedor

Se utiliza varilla de acero de transmisión de 3/8". Para fabricar el soporte en forma de cono y el cual llevará en un extremo un ángulo de acero, que servirá para la sujeción del absorbedor, y en el otro extremo estará soldado un anillo de retención que se sujeta mediante pernos de 3/8" al concentrador.

c) Tubería de circulación del aceite térmico

Para los ductos de circulación del aceite térmico se ha seleccionado dos materiales, en la primera parte a la salida del absorbedor por facilidad de montaje se utilizará manguera de 1/2" resistente a altas temperaturas, en el segundo tramo se pondrá tubería de acero galvanizado de 1/2", esta tubería estará con su respectiva aislación térmica para evitar en lo posible las pérdidas de calor del aceite térmico, esto se lo logrará gracias a un recubrimiento de lana de vidrio sobre la tubería, y de esta manera se permitirá que el aceite llegue con la temperatura adecuada a la caldera.

d) Caldera

Las tapas y el cuerpo cilíndrico serán construidas a partir de una plancha de acero inoxidable AISI 304 de 3 mm de espesor, ya que este acero posee un bajo nivel de oxidación y además será utilizado para aplicaciones medicinales. Para su aislación se utilizará lana de vidrio de 2,5 cm de espesor, para al final ser cubierto con plancha de acero inoxidable de 0,7 mm de espesor. Si se desea bajar el costo de producción, la caldera se la puede elaborar con planchas de hierro negro, pero ya que será utilizado para aplicaciones medicinales no es aconsejable por su grado de oxidación.

e) Intercambiador de calor

Al igual que el absorbedor este se fabricará con tubos de cobre de 5/8". Este es el encargado de permitir que el aceite térmico entregue el suficiente calor al agua, para que dentro de la caldera se genere vapor. Al inicio y al final del intercambiador serán colocadas reducciones igualmente de cobre de 5/8" a 1/2", que servirá para conectar las tuberías respectivas.

f) Soporte para la caldera

Para fabricar el soporte de la caldera se utiliza pedazos de plancha de acero de transmisión de 3 mm de espesor, este será de forma circular y llevará soldadas en ambos extremos pestañas de sujeción para ser fijado al piso y a la caldera respectivamente con pernos de 5/16”.

g) Tubería de circulación de vapor

Estas serán de tubería pvc de 1/2”, la cual llevará su respectiva aislación térmica para evitar las pérdidas de calor.

h) Recipiente aromatizante

Este es fabricado a partir de una plancha de acero inoxidable AISI 304 de 3 mm y será de forma circular, en la parte superior estará soldado un anillo de sujeción con sus respectivos agujeros para los pernos, que servirá para cambiar los aromatizantes y realizar el respectivo mantenimiento, en la parte inferior estará soldada una tapa plana de la misma forma de acero inoxidable.

i) Cámara de vaporización

Se fabricará con tiras de madera de pino de 65 * 10 cm aproximadamente, el cual gracias a su dureza y baja porosidad ayuda a la funcionalidad de la cámara. Estas tiras deberán ser ensambladas de la mejor manera para evitar que el vapor escape al exterior y sea retenido en la mayor cantidad posible dentro de ella.

Además una vez ensamblada la cámara se procederá a lacarla y a colocar sobre esta, aceite de linaza el cual ayuda a repeler la humedad.

5.3.2 MANO DE OBRA

Es el esfuerzo físico o mental empleados en la fabricación de un producto. Los costos de mano de obra pueden dividirse en mano de obra directa e indirecta.

- a) **Mano de obra directa:** Es un elemento directamente involucrado en la fabricación de un producto terminado que puede asociarse con éste con facilidad. La mano de obra representa además, un importante costo en la elaboración del producto.

- b) **Mano de obra indirecta:** Es aquella involucrada en la fabricación de un producto que no se considera mano de obra directa. La mano de obra indirecta se incluye como parte de los costos indirectos de fabricación.

Después de haber realizado este breve análisis, se puede indicar que para la fabricación de los componentes del sistema de termoterapia, ha sido necesario obtener los servicios de un soldador calificado, debido a que se utilizó acero inoxidable para la caldera, y su soldadura requiere de mucha exactitud y experiencia.

Además se obtuvo los servicios de un carpintero para la fabricación de la cámara de vaporización.

Sin duda alguna, el aporte técnico brindado para la elaboración de este proyecto por parte de las personas antes nombradas, fue fundamental, pero a la vez nos involucra un determinado costo, el mismo que se verá reflejado posteriormente en el análisis económico que se presentará.

5.3.3 EQUIPOS Y HERRAMIENTAS

Los equipos y herramientas que serán utilizados en el desarrollo de este proyecto se detallan a continuación.

- a) **Equipos**

El correcto funcionamiento y manipulación de los equipos en este proyecto permitirán ahorro de tiempo, y a su vez brindará la debida protección y seguridad a los operarios y trabajadores.

Es por ello que a continuación se detalla cada equipo utilizado junto a sus respectivas características.

Prensa Hidráulica



Figura 5.9 Prensa Hidráulica

Una prensa hidráulica es un mecanismo conformado por [vasos comunicantes](#) impulsados por [pistones](#) de diferente área que, mediante pequeñas fuerzas, permite obtener otras mayores. El rendimiento de la prensa hidráulica guarda similitudes con el de la [palanca](#), pues se obtienen presiones mayores que las ejercidas pero se aminora la velocidad y la longitud de desplazamiento, en similar proporción³². En este proyecto la prensa fue utilizada para el conformado de las tapas semiesféricas, las características de esta se muestran a continuación:

Estructura: En “H”.

Capacidad: 40 toneladas.

Gato hidráulico a acción: manual o neumática.

Amplitud del gato: 160mm.

Altura ajustable: 6 posiciones.

Amplitud del espacio de trabajo: (0-1050mm), ancho (510mm).

Peso neto: 232 kg.

³² http://es.wikipedia.org/wiki/Prensa_hid%C3%A1ulica

Baroladora



Figura 5.10 Baroladora

La función de la baroladora es doblar las planchas planas de cualquier material y darles la forma cilíndrica, este es uno de los equipos de mayor importancia en este proyecto, gracias a este se pudo dar forma a la caldera, a la base de la caldera, al recipiente aromatizante, y al recipiente de aceite³³. La estructura de la máquina esta construida en perfil de acero soldado, y los rodillos están fabricados en Acero Forjado EN-8, el proceso de conformado se muestra en la figura 5.11.

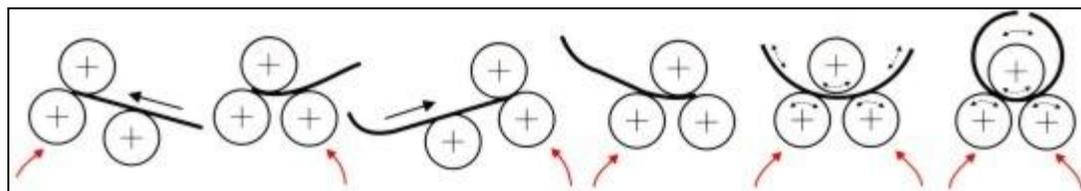


Figura 5.11 Proceso de conformado de la baroladora

³³ <http://www.maneklalexporsts.com/Espanol/McTools/BendingRoll.htm>
Soldadora Eléctrica CC



Figura 5.12 Soldadora Eléctrica DC

Este equipo es fundamental en el desarrollo del proyecto, sirve para realizar las uniones entre piezas, además ayuda a realizar los cordones para juntar los elementos del sistema como la caldera, tapas, soportes, bases, etc. Sus características generales son:

Marca: Airco

Serie: HF867080

Stock No: [34]-0269

Descripción: Soldadora Airco, Modelo: 3A/DDR-224HPA/B-D de 250 amperes AC/DC Bumblebee.

Compresor



Figura 5.13 Compresor

Un compresor es una máquina capaz de elevar la presión del gas que maneja³⁴. En este proyecto se utilizó para realizar las pruebas necesarias a la caldera, es decir para ver si posee fugas.

Las características generales del compresor utilizado son:

Modelo: MS – 2,6 / 20

Cilindrada: 90 cm³

Velocidad: 850 rpm

Desplazamiento de aire: 75 lt/min

Potencia HP: 1/3

Presión máxima: 130 lb

Capacidad: 140 lb

Peso: 90 Kg

³⁴ www.mavainsa.com/documentos/7_compresores.pdf



Figura 5.14 Torno

El torno es una maquina herramienta en la cual la pieza que se ha de mecanizar tiene un movimiento de rotación alrededor del eje. Así pues, en el torno la pieza verifica el movimiento de corte, en tanto que la herramienta produce el avance³⁵.

Las características generales de este equipo son las siguientes:

Model: MD – 30 A

Drilling Cap: 30 mm

Full Back Cutter Cap: 76 mm

Endmill Cap: 19 mm

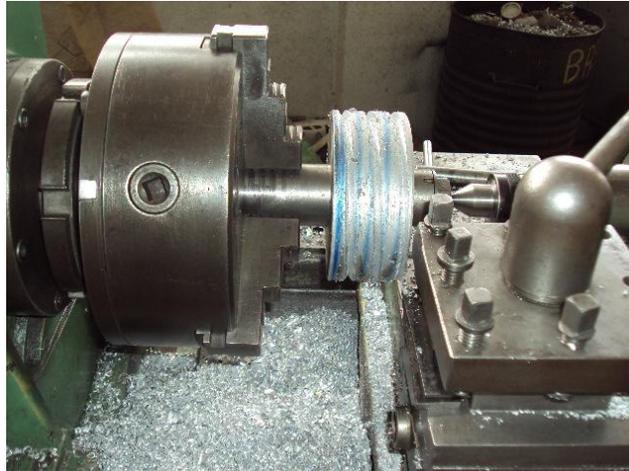
Spindle Stroke: 140 mm

Working Table: (240 * 600) mm

En este proyecto se utilizo exclusivamente para realizar un tocho de aluminio con

³⁵ <http://html.rincondelvago.com/el-torno>

sus respectivos canales, para con este poder doblar el intercambiador de calor y el absorbedor, como se muestra en la fotografía 5.1.



Fotografía 5.1 Cilindro de Aluminio Canalizado

Taladro de Pedestal



Figura 5.15 Taladro de Pedestal

El taladro de tipo pedestal se utiliza para hacer perforaciones en diferentes materiales, mediante el arranque de viruta. Es una variedad de máquinas taladradoras, que se denomina así por que está solidario a una base o pié, y dependiendo de su robustez, su capacidad de perforación (largo y diámetro de la broca ó mecha), y sus accesorios (mecanismo de avance automático, mesa de avance milimétrico, etc.), es su ámbito de aplicación (un taller o una industria)³⁶. En este proyecto como se observa en la figura 5.15 el mecanismo de avance es manual, las características de este se muestran a continuación:

Modelo: GT-1013

Max capacidad de taladrado: 14 mm

Recorrido del husillo: 50 mm

Capacidad de roscado: MT 2

Diámetro de columna: 48 mm

Max. Distan Husillo a mesa: 320 mm

Características motor: 230 v. 50 Hz / 250 W

Esmeril



Figura 5.16 Esmeril

³⁶ <http://ar.answers.yahoo.com/question/index?qid=20081031093920AAjwGHg>

Se utiliza para afilar las herramientas de taller y también para desbarbar piezas pequeñas. Generalmente lleva fijadas en cada extremidad del eje motor dos muelas o dos herramientas abrasivas. Para amolar la pieza, ésta se sujeta con la mano apoyando sobre el soporte de pieza³⁷.

b) Herramientas

Las herramientas al igual que los equipos utilizados en el proyecto, son indispensables para la fabricación de los elementos, piezas y ensamblaje del sistema. En toda la fabricación existe diferentes tipos de herramientas utilizadas, entre ellas están las mostradas en el siguiente gráfico.



Figura 5.17 Herramientas

³⁷ www.maquinas.prevencion-laboral.com

5.4 FABRICACIÓN DE COMPONENTES

Para realizar de fabricación de los componentes que conforma este proyecto se tiene que cumplir una serie de pasos, a continuación se detalla la secuencia de fabricación de cada uno de estos componentes.

a) Absorbedor



Figura 5.18 Absorbedor

Se construye a partir de tubería de cobre de diámetro $5/8''$, la altura de este elemento es 18 cm, y la base es de 10 cm de diámetro. Este tiene la función de absorber toda la radiación solar posible del concentrador parabólico y realizar la transferencia de calor con el aceite térmico. Para su fabricación primeramente se tiene que moldar un tocho de aluminio, y en el torno realizar los canales que servirán como guías para doblar la tubería, a la cual se tiene que rellenar de arena para evitar que esta se hunda, luego de esto se procede a soldar codos de cobre de 90 con aleación de plata al inicio y final del serpentín respectivamente, para posteriormente ser soldado un pedazo de tubería del mismo material en donde será la entrada y salida del aceite.



Fotografía 5.2 Serpentín de Cobre (Absorbedor)

b) Soporte del absorbedor

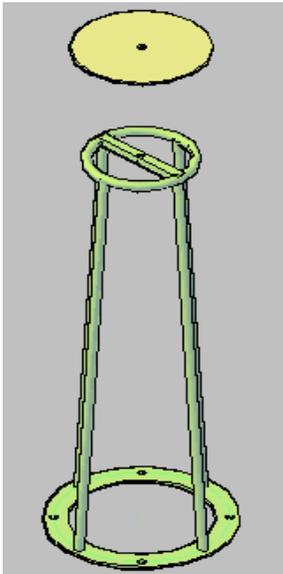


Figura 5.19 Soporte del absorbedor

Como su nombre lo indica, tiene como función soportar al cilindro absorbedor y al mismo tiempo permite que este se encuentre ubicado en el punto focal del concentrador. Se lo construye partiendo de varilla de acero de transmisión 3/8" de diámetro, mediante el procedimiento de trazado y corte se obtienen los pedazos, con una dobladora de tubos se procede a conformar el anillo que ira en la parte superior del soporte y donde estará asentado el absorbedor, posteriormente son soldadas todas las piezas con electrodo E 6011, para dar la forma que se observa en la Figura 5.10. Luego de esto se procede a perforar los agujeros en el anillo de la base del soporte, que permitirán la sujeción de este al concentrador.



Fotografía 5.3 Base del Absorbedor

c) **Intercambiador de calor**

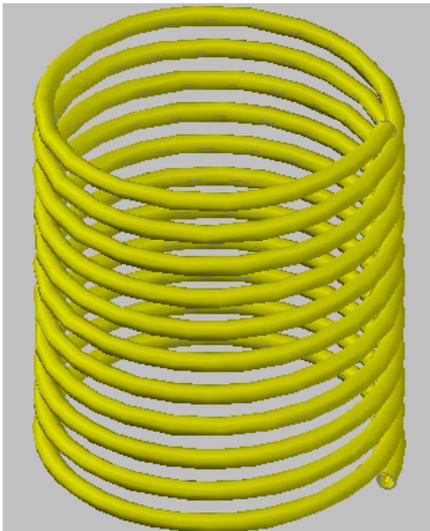


Figura 5.20 Intercambiador de Calor

Se lo construye con tubería de cobre de diámetro $5/8''$, la altura de este elemento deberá ser un poco menos que los $2/3$ de la altura del cuerpo de la caldera, y el diámetro será de 27 cm.

Este tiene la función de intercambiar el calor del aceite térmico con el agua para producir el vapor necesario en el interior de la caldera.

Para su fabricación primeramente se tiene que hacer un molde preferiblemente en aluminio, por su facilidad de maquinado, una vez realizado el molde y los canales, se procede a doblar la tubería, a la cual se tendrá que rellenar de arena para evitar que esta se deforme en su diámetro, y se tendrá que tener muy en cuenta la separación entre espiras la cual va a ser de 2 cm, para evitar que por el exceso de calor y el rozamiento entre estas se lleguen a fundir y pegarse unas con otras.



Fotografía 5.4 Serpentina de Cobre (Intercambiador de calor)

d) Caldera

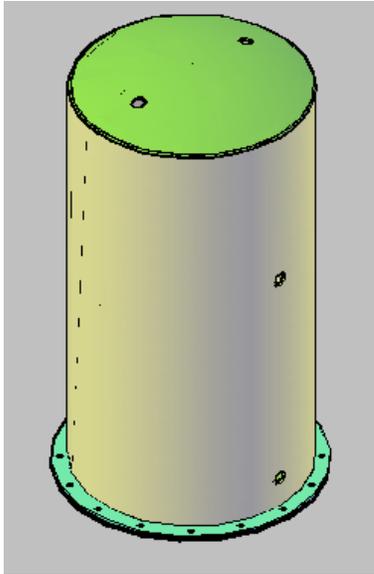


Figura 5.21 Caldera

Las tapas y el cuerpo cilíndrico de la caldera serán construidas a partir de una plancha de acero inoxidable de 3 mm de espesor. Primeramente se cortara la medida del cuerpo de la plancha, que tendrá una altura de 65 cm y 35 cm de diámetro. Mediante el proceso de barolado, se irá construyendo el tanque cilíndrico, para luego mediante electrodos E 318L – 17 soldarlo, luego de esto se realizan las tomas de entrada y salida del intercambiador de calor, asimismo las tomas de entrada de agua, salida de vapor, medidor de nivel y desagüe.

A continuación por el procedimiento de trazado y corte se obtendrán los pedazos de las tapas, que irán tomando la forma hemisférica según se las moldee primeramente con la prensa hidráulica y al final con un martillo. A continuación en un extremo del tanque y en una de las tapas se soldará un anillo de retención que permitirá mediante pernos de $(5/16 * 3/4)$ cerrar un extremo del cuerpo de la caldera, este servirá para aplicaciones de mantenimiento dentro de esta. Como siguiente paso se acopla el intercambiador de calor dentro del cuerpo de la caldera y se procede a soldar la tapa en el otro extremo. Una vez acabado estos pasos se procede a soldar una estructura de platina de $(1 * 1/8)$ ” alrededor del cuerpo de la caldera con una separación de 2,5 cm, para colocar mediante remaches de $3/16$ ” un pedazo de plancha de acero inoxidable de 0,7 mm de espesor que en su interior poseerá lana de vidrio para efectos de aislamiento.



Fotografía 5.5 Etapas de Fabricación de la Caldera

e) **Soporte para la caldera**

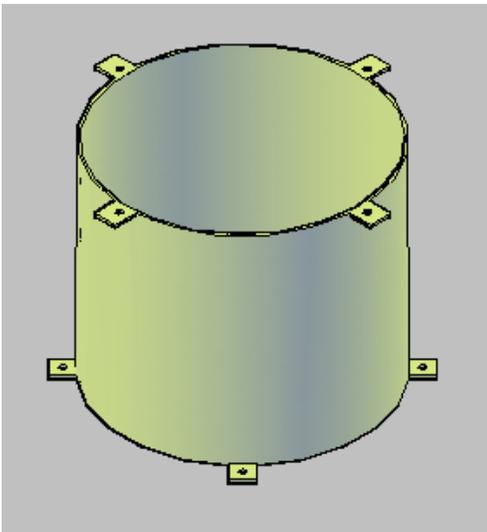


Figura 5.22 Soporte de la caldera

Tiene como función dar estabilidad a la caldera. Se lo construye partiendo de una plancha de acero de transmisión de 3 mm de espesor, la altura de este será de 30 cm y su diámetro de 35 cm.

Primeramente se procede a cortar el pedazo de plancha requerido, para luego mediante el proceso de barolado dar la forma cilíndrica y obtener el diámetro deseado, posteriormente se cortará pequeños pedazos de plancha que serán soldadas a los extremos del soporte en forma de cejas, y en su centro se perforaran agujeros de 5/16” que mediante sus respectivos pernos permitirán la sujeción de este a la caldera y al suelo respectivamente.

El electrodo utilizado para las uniones mediante soldadura es el AWS E6011 ϕ 3mm.



Fotografía 5.6 Construcción de la Base del Absorbedor

e) **Recipiente aromatizante**

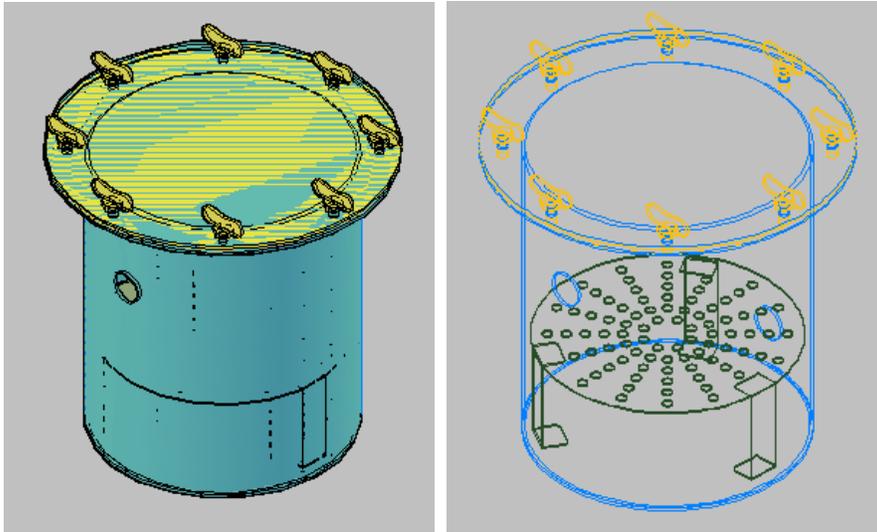


Figura 5.23 Recipiente Aromatizante

Este recipiente permite que el vapor sea combinado con sus debidos aromatizantes antes de ingresar a la cámara de vaporización.

Este será construido a partir de una plancha de acero inoxidable de 3 mm de espesor, mediante el procedimiento de trazado y cortado se obtiene los pedazos requeridos para las tapas y el cuerpo de la caldera, en la baroladora se procede a dar la forma cilíndrica del cuerpo, por otro lado se fabricará la tapas y el anillo de fijación con sus respectivos agujeros de 5/16".

Una vez obtenidas estas partes se proceder a soldar, mediante electrodo E 318L – 17, primeramente el cuerpo, y luego el anillo alrededor de un extremo del este, mientras que la una tapa plana estará soldada en el otro extremo del cuerpo.



Fotografía 5.7 Construcción del Recipiente Aromatizante

f) Cámara de vaporización

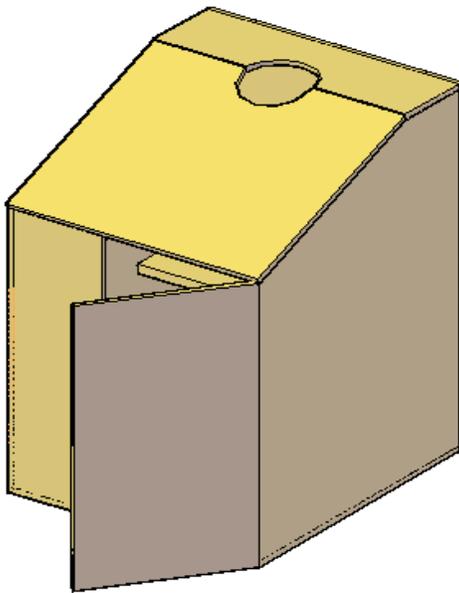


Figura 5.24 Cámara de Vaporización

Esta se la construye partiendo de tiras de madera “Pino” de (9,5 * 1,5 * 65) cm. Primeramente se debe realizar el ensamblaje de todas las tiras, para ello se debe machihembrar a cada una, posteriormente se las une con ayuda de goma blanca y clavos de vidrio.

Luego de esto se deberá proceder a cortar los pedazos del tamaño deseado en este caso la cámara será de (80 * 90 * 115) cm, a continuación se deberá colocar las respectivas bisagras y cortar el hueco en la parte superior, se procede a colocar pasta para corregir posibles fallas, para al final proceder a lacar y untar aceite de linaza sobre la cámara para repeler la humedad y evitar daños posteriores.

El producto terminado se lo puede observar en la fotografía 5.8.



Fotografía 5.8 Construcción de la Cámara de Vaporización

5.5 MONTAJE

El sistema de Termoterapia consta de varios elementos, cada uno de estos como se indico en el literal anterior cumplen con una función específica.

Para que todo el sistema quede completamente montado se debe realizar conexiones entre los elementos mediante tubería de acero para la parte de circulación de aceite térmico, y mediante tubería pvc, para la parte de circulación del vapor, estos elementos se muestran en el gráfico que se presenta a continuación:

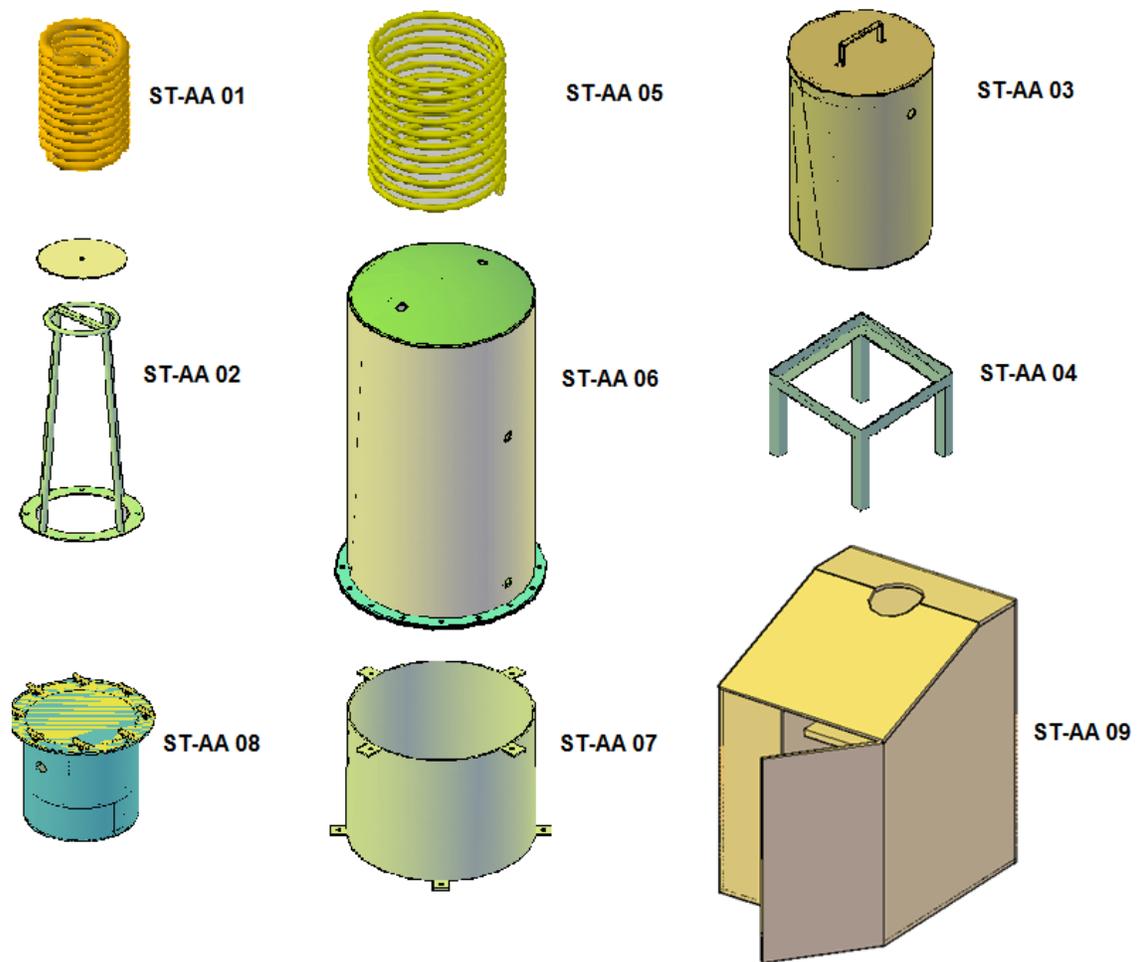


Figura 5.25 Elementos del sistema de Termoterapia

Los códigos establecidos en el dibujo anterior definen los siguientes elementos:

ST-AA 01: Absorbedor

ST-AA 02: Soporte del absorbedor

ST-AA 03: Tanque de Alimentación de Aceite

ST-AA 04: Soporte del Tanque de Alimentación de Aceite

ST-AA 05: Intercambiador de Calor

ST-AA 06: Caldera Térmica

ST-AA 07: Base para la Caldera Térmica

ST-AA 08: Recipiente Aromatizante

ST-AA 09: Cámara de Vaporización

El producto obtenido una vez conectadas las respectivas tuberías es el sistema de Termoterapia que se muestra a continuación:



Figura 5.26 Sistema de Termoterapia

CAPITULO 6

PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

1.7 PARÁMETROS DE FUNCIONAMIENTO

Los parámetros que rigen el funcionamiento de este sistema de generación de vapor, constituyen una parte esencial para la evaluación del mismo, debido a que nos presentarán los resultados de su funcionamiento, dentro de estos tenemos:

a) Temperatura del agua de alimentación:

Con ayuda de una termocupla, se observó que la temperatura de ingreso del agua es de 22°C, como mínimo y que después de cierto tiempo de encendida la caldera, esta va incrementando paulatinamente.

b) Nivel de agua de la caldera:

A medida que el gasto de agua (igual al consumo de vapor), va disminuyendo, es necesario realizar el ingreso de una cantidad de agua para mantenerlo estable.

c) Temperatura del absorbedor:

Esta depende directamente de la irradiación del sol que tengamos en un momento determinado, varía además de acuerdo a la ubicación de la parábola y si se encuentra circulando el aceite por el absorbedor. Este parámetro es de mucha importancia dentro del proyecto, ya que de este depende estrictamente el intercambio de calor del aceite con el agua y por ende la generación de vapor.

d) Temperatura de salida del aceite:

Después de calentar el agua, el aceite pierde ciertos grados de temperatura, por lo cual es fundamental conocer esta temperatura final a la que ha llegado el aceite térmico, y que a la vez será la temperatura con la cual ingresará al absorbedor nuevamente para seguir el proceso. Esta temperatura depende directamente del intercambio de calor que exista entre el aceite y el agua, además de la longitud que tenga el serpentín y de la cantidad de agua que se tenga en la caldera.

e) Temperatura ambiente:

Es la [temperatura](#) que se puede medir con un termómetro y que se toma del ambiente actual, de esta también dependerá mucho la eficiencia del sistema de generación de vapor, ya que afecta directamente en el proceso.

1.8 INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN

Para evaluar el funcionamiento de todo el sistema alternativo de generación de vapor, tomando en cuenta los parámetros de funcionamiento antes mencionados, se utiliza los siguientes instrumentos:

a) Termómetro laser

El termómetro es un [instrumento de medición](#) de [temperatura](#). Para este proyecto se utilizó un termómetro digital por infrarrojos con puntero láser que mide temperaturas sin tocar los productos. Su rango de medición va de 20 a 800°C.



Figura 6.1 Termómetro laser

Características y utilidades:

- Este termómetro está diseñado para medir la temperatura de objetos sin necesidad de tocarlos ni esperar.
- El termómetro funciona con una pila y lleva incorporado un puntero láser para localizar con más precisión el punto donde se desea tomar la temperatura.
- Medición de temperatura a distancia de cualquier objeto. Ideal para medición de temperatura en motores, instalaciones, aparatos, alimentación, aires acondicionados.

Operación y funcionamiento

A medida que la distancia al objeto aumenta, el tamaño del área medida por el termómetro se hace más grande. En la mayoría de lecturas la temperatura es exacta, el objetivo debe ser aproximadamente dos veces tan grande como el sensor del termómetro.

El termómetro se utiliza mejor a una distancia de 3 a 12 pulgadas (75 a 300 mm) del objeto.

1. Pulse el botón de encendido y a continuación el del laser.
2. Pulse el botón de medición. La lectura de la temperatura aparece por 7 segundos.
3. Pulse Cambiar la luz de fondo si la operación medio ambiente es demasiado oscuro.
4. Presione "C/F" para cambiar la unidad de temperatura.
5. El termómetro se auto-apaga, después de 3 segundos para ahorrar batería.

b) Termocupla Tipo K⁸

La termocupla Tipo K se la conoce también como termocupla Chromel-Alumel. El Chromel es una aleación de aproximadamente 90% de níquel y 10% de cromo, el Alumel es una aleación de 95% de níquel, más aluminio, silicio y manganeso, razón por la que la norma IEC la especifica NiCr-Ni. La Tipo K es la termocupla que más se utiliza en la industria, debido a su capacidad de resistir mayores temperaturas que la termocupla Tipo J.

Las termocuplas Tipo K pueden utilizarse en forma continua en atmósferas oxidantes e inertes hasta 1260°C.

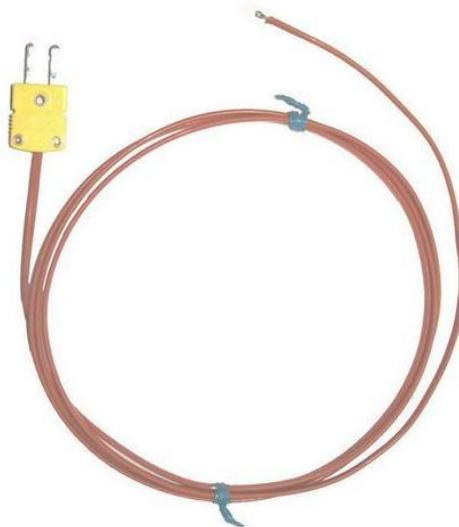


Figura 6.2 Termocupla Tipo K

⁸ www.sapiensman.com/medicion_de_temperatura/termocuplas.htm

c) Multímetro digital⁹

El multímetro [digital](#) es un instrumento electrónico de medición que generalmente calcula voltaje, [resistencia](#) y [corriente](#), aunque dependiendo del modelo de multímetro puede [medir](#) otras magnitudes como capacitancia y [temperatura](#).

Gracias al multímetro [podemos](#) comprobar el correcto funcionamiento de los componentes y circuitos electrónicos.



Figura 6.3 Multímetro digital

d) Manómetro

Un manómetro es un [instrumento de medida](#) que sirve para medir la [presión](#) de fluidos contenidos en recipientes cerrados. Generalmente determinando la diferencia de la presión entre el fluido y la presión local. Existen, básicamente, dos tipos: los de líquidos y los de gases.

⁹ www.electronicacorpostar.com/el-multmetro-digital_10.html



Figura 6.4 Manómetro

e) Nivel de Agua

Nos indica el nivel de líquido que existe en el interior de la caldera, su funcionamiento se basa en el principio de los vasos comunicantes, gracias a este se puede tener una referencia al momento del ingreso de agua, controlando así el nivel de esta de forma gradual. Soporta una presión máxima interna de 120 psi.



Figura 6.5 Nivel de Agua

1.9 PROCEDIMIENTO

Para poner en funcionamiento el sistema, es necesario seguir cierto procedimiento para evitar posibles fallas, o daños. Este procedimiento se lo detalla en los siguientes pasos.

- 1.- Conectar el cable de corriente eléctrica del sistema de giro de la parábola, a la toma de corriente más cercana.
- 2.- Accionar el botón lateral izquierdo para encender el sistema eléctrico de la parábola.
- 3.- Con ayuda de los botones verdes que se encuentran en el tablero, ubicar la parábola, de forma que el sol irradie de forma directa en esta.
- 4.- Alinear el eje de la parábola con la manija que se encuentra debajo de esta, para así ubicar el foco real que reflejará sobre el absorbedor.
- 5.- Abrir la llave de agua, para llenar el caldero. Para esto será de utilidad el indicador de nivel de agua.
- 6.- Conectar el cable de corriente eléctrica de la bomba, a la toma de corriente más cercana.
- 7.- Verificar que todas las conexiones estén realizadas correctamente, y que todas las válvulas y llaves estén totalmente cerradas para evitar fugas.
- 8.- Encender la bomba para que empiece a circular el aceite
- 9.- Tomar los datos iniciales de presión, temperatura, y caudal de aceite térmico.
- 10.- Con intervalos de 10 minutos, tomar y tabular los datos en una tabla, los mismos que permitirán realizar las graficas y el análisis correspondiente.

1.10 LEVANTAMIENTO DE DATOS

Se han tomado un cierto número de datos del funcionamiento del sistema de generación de vapor, estos, han sido tomados en circunstancias variables, por lo cual podremos observar la variación de los resultados.

Tabla 6.1 Parámetros Termofísicos del Sistema

ORDEN	HORA	TIEMPO	T _{amb}	V _{viento}	I	Rad	T _{absorbedor}	T _{aceite}	T _{agua}
		min	°C	m / s	W / m ²		°C	°C	°C
1	10:10	0	21,6	0,24	1038	D	98	42	25
2	10:20	10	22,5	0,54	1035	D	105	44	27
3	10:30	10	22,4	0,12	1005	D	81	45	30
4	10:40	10	23,0	0,96	1014	D	112	46	31
5	10:50	10	23,6	0,55	1014	D	108	50	32
6	11:00	10	24,1	0,03	1046	D	87	51	33
7	11:10	10	24,5	0,46	1026	D	110	57	33
8	11:20	10	25,1	1,08	1030	D	126	58	40
9	11:30	10	24,9	1,34	1055	D	112	60	44

10	11:40	10	25,8	0,22	1050	D	109	61	43
11	11:50	10	27,3	0,35	1080	d	85	62	43
12	12:00	10	27,8	0,66	580	d	140	61	41
13	12:10	10	29,0	0,85	1024	d	85	61	43
14	12:20	10	28,8	1,43	517	d	75	60	42
15	12:30	10	28,5	1,06	252	d	42	57	45
16	12:40	10	27,4	0,45	198	d	35	53	46

Fecha: Octubre 17, 2009

D: Radiación Solar Directa

d: Radiación Solar Difusa

De acuerdo con los datos establecidos en la tabla 6.1 se puede observar que la temperatura promedio del absorbedor con circulación constante de aceite térmico es de 94 °C, esta temperatura se debe primeramente a los altos vientos que se tiene, con un promedio de 0,7 m/s, además a la radiación inestable, ya que como se puede observar en la tabla, pasada las 12 pm esta comienza a descender considerablemente debido a la alta presencia de nubosidad, lo cual no permite tener una radiación directa. Sin embargo con todos estos inconvenientes, se tiene que el aceite térmico alcanza una temperatura de 62 °C a los 100 minutos de funcionamiento del sistema y luego comienza a descender, debido a la pérdida de radiación directa, y el agua alcanza los 46 °C en un tiempo de 150 minutos. De lo cual se puede deducir que en un día donde exista radiación constante y directa en un lapso mayor de tiempo, el sistema va a incrementar su temperatura llegando a cumplir con los requerimientos esperados.

Con el fin de que el lector pueda visualizar y entender de mejor manera el comportamiento de los diferentes parámetros de funcionamiento del sistema, se precede a realizar las gráficas de la tabla 6.1.

a) Gráfica de la Irradiancia en función de las Horas

Tabla 6.2 Datos de Irradiancia tomados a diferentes Horas

HORA	I
	W / m²
10:10	1038
10:20	1035
10:30	1005
10:40	1014
10:50	1014
11:00	1046

11:10	1026
11:20	1030
11:30	1055
11:40	1050
11:50	1080
12:00	580
12:10	1024
12:20	517
12:30	252
12:40	198

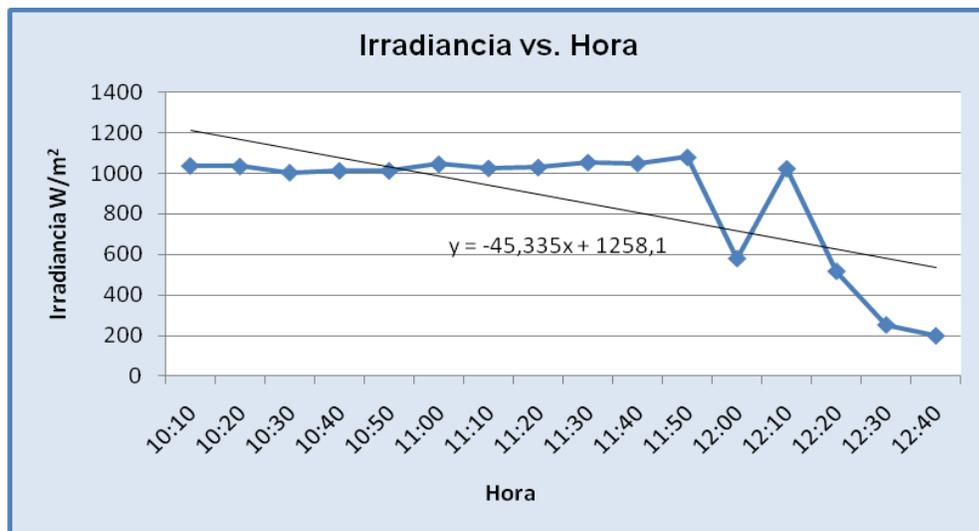


Figura 6.6 Gráfica de la Irradiancia en función de las Horas

De acuerdo con la figura 6.6, se puede ver que a partir de las 10:10 existe una irradiancia que bordea los 1000 W/m², esta ayuda a que el sistema se mantenga funcionando de una forma optima y se mantiene por aproximadamente dos horas, luego comienza a descender considerablemente debido a la alta nubosidad presentada, por lo cual se procede a terminar la toma de datos.

b) Gráfica de la Temperatura del Absorbedor en función de la Irradiancia

Tabla 6.3 Datos de Temperatura absorbedor tomados a diferente Irradiancia

I	T _{absorbedor}
W / m ²	°C
1038	98
1035	105
1005	81
1014	112
1014	108
1046	87
1026	110

1030	126
1055	112
1050	109
1080	85
580	140
1024	85
517	75
252	42
198	35

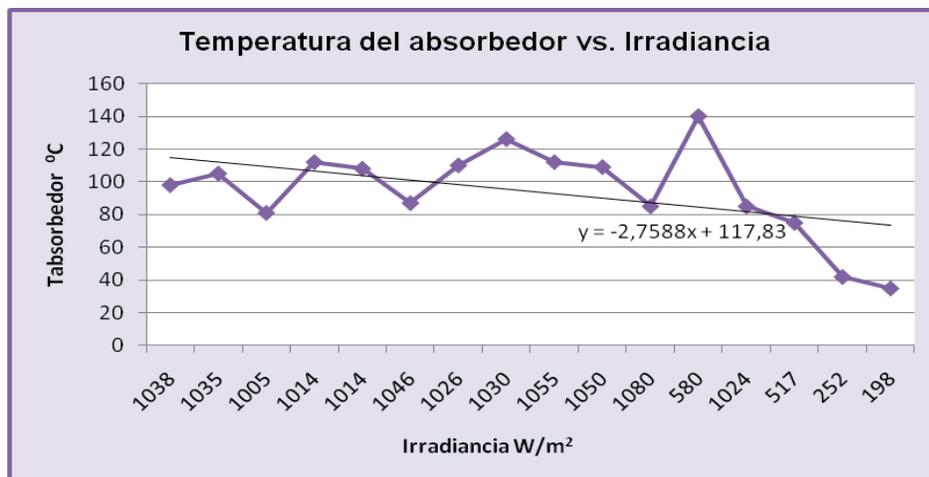


Figura 6.7 Gráfica de la Temperatura del absorbedor en función de la Irradiancia

De acuerdo con la figura 6.7, se observa que mientras la irradiancia permanece constante o sin un cambio brusco en su valor existe un equilibrio en la temperatura del absorbedor, la cual oscila entre los 80 y 130 °C, y ayuda a que el sistema este funcionando eficientemente.

c) Gráfica de la Temperatura del Aceite en función de la Irradiancia

Tabla 6.4 Datos de la Temperatura del aceite tomados a diferente Irradiancia

I	T _{aceite}
W / m ²	°C
1038	42
1035	44
1005	45
1014	46
1014	50
1046	51
1026	57
1030	58
1055	60
1050	61
1080	62

580	61
1024	61
517	60
252	57
198	53

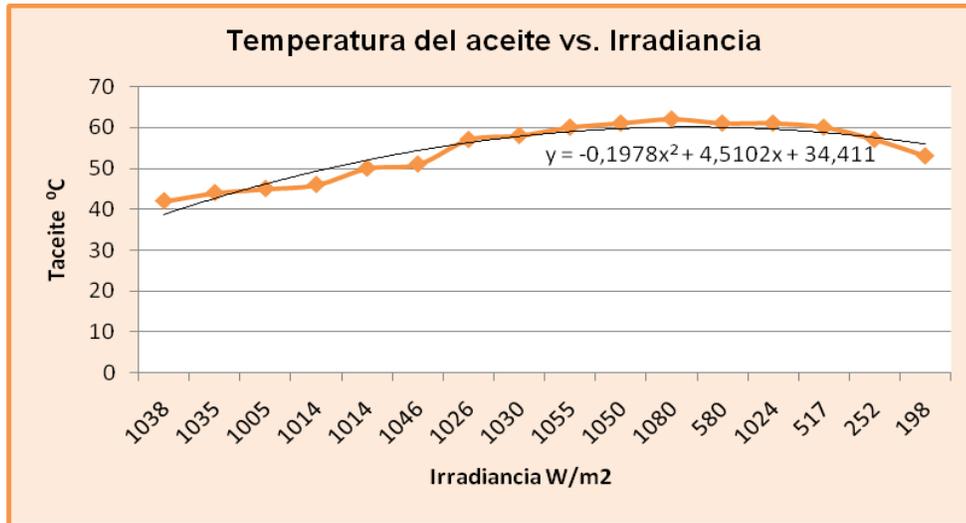


Figura 6.8 Gráfica de la Temperatura del aceite en función de la Irradiancia

En la figura 6.8, se puede ver claramente como incrementa la temperatura del aceite a una irradiancia casi constante, sin cambios bruscos en sus valores, llegando a un máximo de 62 °C, y una vez alcanzada esta temperatura debido a la disminución de la irradiación esta comienza a descender lentamente.

d) Gráfica de la Temperatura del Absorbedor en función de la Velocidad del Viento

Tabla 6.5 Datos de Temperatura del absorbedor a diferente Velocidad del Viento

V _{viento} m / s	T _{absorbedor} °C
0,24	98
0,54	105
0,12	81
0,96	112
0,55	108
0,03	87
0,46	110
1,08	126
1,34	112
0,22	109
0,35	85
0,66	140
0,85	85

1,43	75
1,06	42
0,45	35

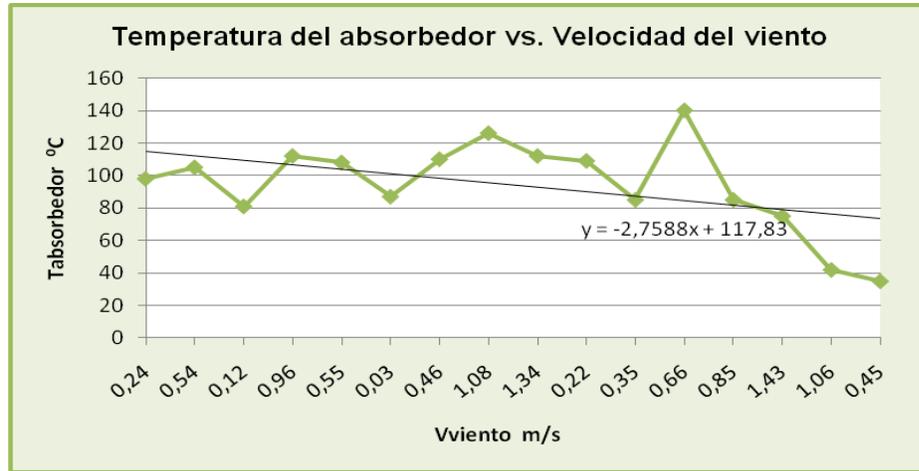


Figura 6.9 Gráfica de la Temperatura de absorbedor en función de la Velocidad Viento

En la figura 6.9, vemos que la temperatura del absorbedor alcanza los 140 °C, a una velocidad del viento de 0,66 m/s, lo cual nos demuestra que a velocidades de viento mas bajas la temperatura del absorbedor incrementa, excepto en ciertos casos que por acción de algún otro factor esta recae considerablemente.

e) Gráfica de la Temperatura Ambiente en función de la Irradiancia

Tabla 6.6 Datos de la Temperatura Ambiente tomados a diferente Irradiancia

I	T _{amb}
W / m ²	°C
1038	21,6
1035	22,5
1005	22,4
1014	23,0
1014	23,6
1046	24,1
1026	24,5
1030	25,1
1055	24,9
1050	25,8
1080	27,3
580	27,8
1024	29,0
517	28,8
252	28,5
198	27,4

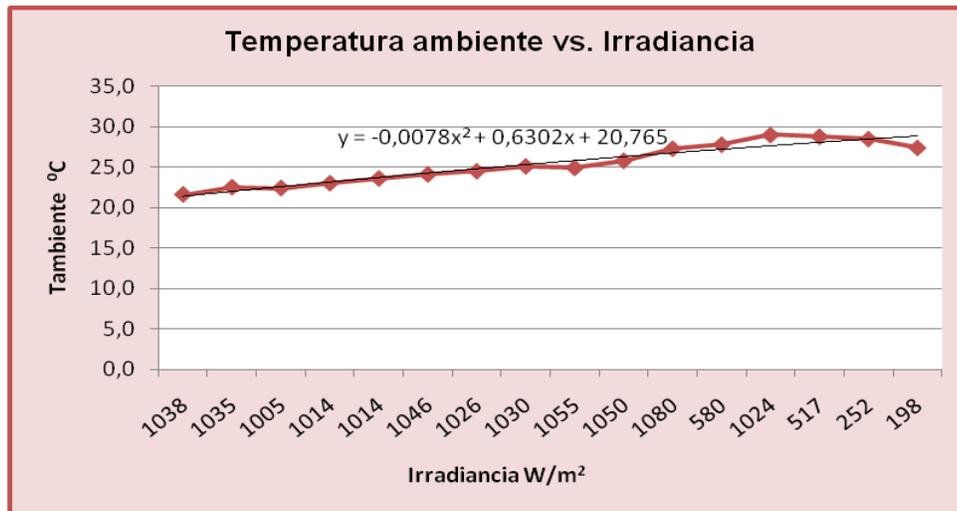


Figura 6.10 Gráfica de la Temperatura Ambiente en función de Irradiancia

En la figura 6.10 se puede ver claramente como la temperatura ambiente es directamente proporcional a la irradiancia, lo cual indica que a mayor irradiación, mayor va a ser la temperatura ambiente y viceversa, sin embargo se puede también observar que la irradiancia cambia bruscamente mientras que en la temperatura ambiente su cambio de valor es moderado.

f) Gráfica de la Temperatura del Agua en función de Temperatura Aceite

Tabla 6.7 Datos de Temperatura del Agua a diferentes Temperaturas del Aceite

T_{aceite}	T_{agua}
$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$
42	25
44	27
45	30
46	31
50	32
51	33
57	33
58	40
60	44
61	43
62	43
61	41
61	43
60	42
57	45
53	46

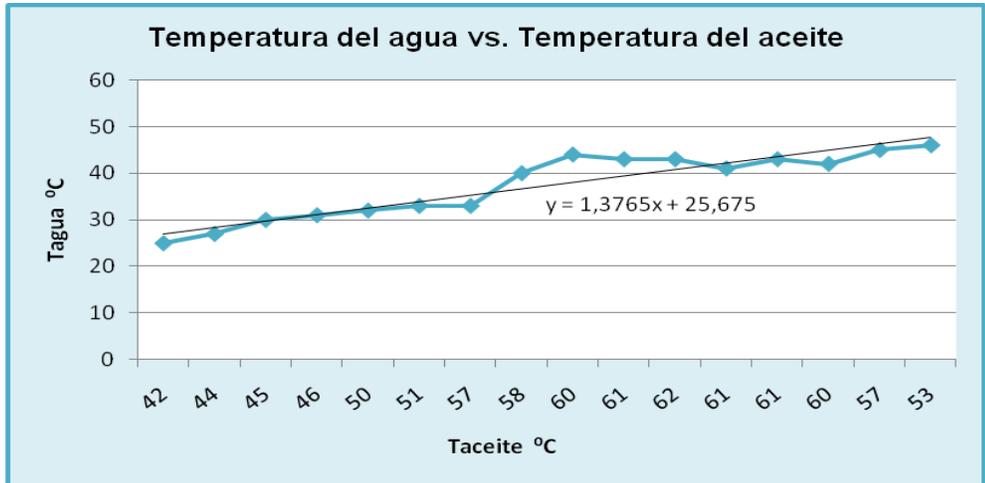


Figura 6.11 Gráfica de la temperatura del agua función de la Temperatura del aceite

La temperatura del agua depende exclusivamente de la temperatura que alcance el aceite, ya que es por este que se realiza la transferencia de calor, siendo así, se puede observar que mientras la temperatura del aceite térmico aumenta la del agua también aumenta, llegando a un máximo de 46 °C, ya que posteriormente la temperatura del aceite comienza a descender debido a otros factores.

g) Gráfica de la Temperatura del Aceite en función de la Temperatura del Absorbedor

Tabla 6.8 Datos de la Temperatura del Aceite a diferente Temperatura del Absorbedor.

$T_{\text{absorbedor}}$	T_{aceite}
°C	°C
98	42
105	44
81	45
112	46
108	50
87	51
110	57
126	58
112	60
109	61
85	62
140	61
85	61
75	60
42	57
35	53

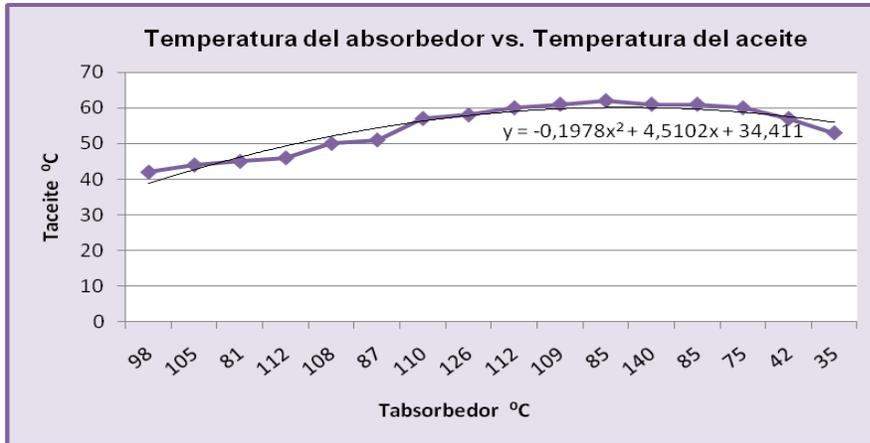


Figura 6.12 Gráfica Temperatura del Aceite en función de la Temperatura del Absorbedor

Debido a la cantidad de energía que el absorbedor retenga, la temperatura del aceite aumenta o disminuye, como se puede observar en la figura 6.12, esta temperatura debido a que al absorbedor solo alcanza un promedio de 94 °C, llega hasta los 62 °C.

h) Gráfica de la Eficiencia Instantánea en función de la Irradiancia

Tabla 6.9 Datos de la eficiencia Instantánea tomados con diferente Irradiancia

I	η_{inst}
W / m ²	
1038	0,357
1035	0,358
1005	0,369
1014	0,366
1014	0,366
1046	0,354
1026	0,361
1030	0,360
1055	0,351
1050	0,353
1080	0,343
1024	0,362

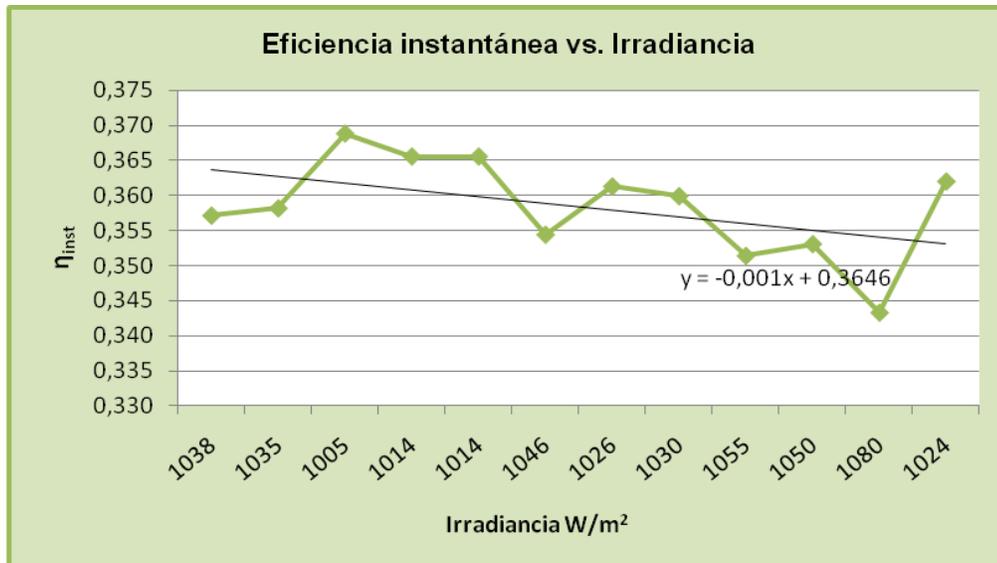


Figura 6.13 Gráfica Eficiencia Instantánea del concentrador en función de la Irradiancia
 En el caso de la eficiencia instantánea del concentrador se puede observar en la figura 6.13 que a medida que la irradiancia disminuye esta aumenta su valor considerable, lo cual nos lleva a deducir que la eficiencia instantánea del concentrador es directamente proporcional al inverso de la irradiancia.

i) Gráfica de la Eficiencia Instantánea en función de la Temperatura del Absorbedor

Tabla 6.10 Datos de la Eficiencia Instantánea del concentrador tomados a diferentes Temperaturas

$T_{absorbedor}$ °C	η_{inst}
98	0,357
105	0,358
81	0,369
112	0,366
108	0,366
87	0,354
110	0,361
126	0,360
112	0,351
109	0,353
85	0,362

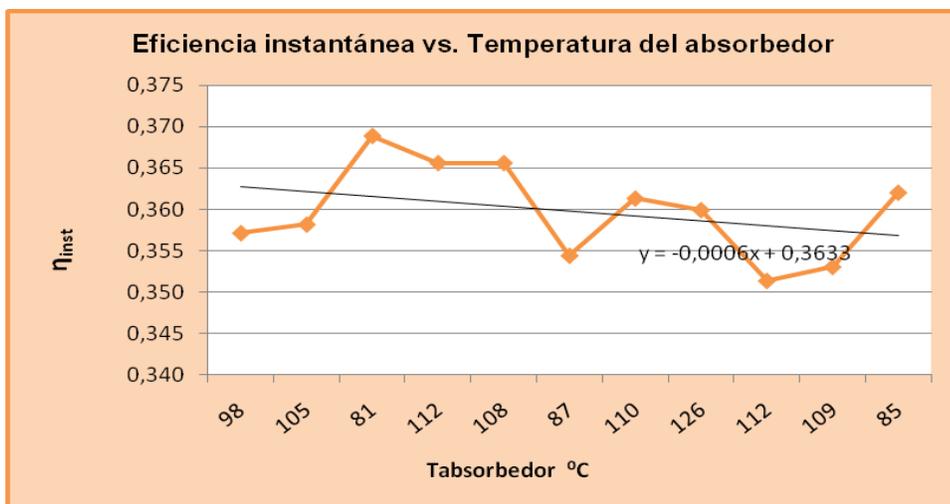


Figura 6.14 Gráfica Eficiencia Instantánea en función de la Temperatura del Absorbedor
 Al revisar la figura 6.14 se deduce que la eficiencia instantánea del concentrador es directamente proporcional a la inversa de la temperatura del absorbedor, siendo de esta forma que al tener 35 °C en el absorbedor, el concentrador alcanza su mayor eficiencia instantánea de 1,87.

Tabla 6.11 Temperaturas Obtenidas del Sistema

HORA	T _{amb}	T _{absorbedor}	T _{aceite}	T _{agua}
	°C	°C	°C	°C
9:50	22	150	21	24
10:02	22	69	33	28
10:08	22	86	45	34
10:17	22	82	53	36
10:32	22	88	59	37
10:52	22	85,7	61	39
11:05	22	112	63	40
11:30	23	85	64	41
11:45	23	81	68	48
12:00	22	45	67	54
12:26	21	89,6	62	49
12:38	21	85	66	50

Fecha: Octubre 11, 2009

De acuerdo con los datos establecidos en la tabla 6.11 se puede observar un equilibrio en la temperatura del absorbedor, esta se debe a que la bomba presenta continuidad en el flujo de aceite.

La temperatura promedio del absorbedor con circulación constante de aceite térmico es de 82 °C, esta es una temperatura realmente baja para los fines requeridos, debido a la presencia de vientos que sobrepasan los 9 m/s y a la nubosidad variable, la cual no permite tener una radiación directa sobre el concentrador, aun así se tiene que el aceite térmico alcanza una temperatura de 66 °C y el agua los 50 °C en un tiempo de 168 minutos, posteriormente existe un cambio brusco de temperatura en el ambiente presentándose nubosidad extrema y se suspende la toma de datos.

Tabla 6.12 Datos de Temperaturas del Sistema

HORA	T _{amb}	T _{absorbedor}	T _{aceite}	T _{agua}
	°C	°C	°C	°C
11:45	22	237	-	43
11:50	22	279	-	43
11:55	21	-	-	43
12:00	22	200	59	44
12:05	23	-	63	45
12:08	23	215	-	45
12:10	23	295	-	45
12:15	23	165	64	46
12:20	23	150	61	48
12:25	22	210	-	47
12:30	22	145	61	47
12:35	22	121	64	48
12:40	22	180	-	48
12:45	22	179	-	48
12:50	23	222	60	47
12:55	22	125	64	48
13:00	22	143	-	48

Fecha: Septiembre 20, 2009

Con los datos indicados en la tabla 6.12, se observa una variación considerable en la temperatura del absorbedor, esta se debe a que la bomba de circulación tiene una protección térmica la cual al alcanzar temperaturas mayores a los 60 °C se detiene, esto no permite tener una continuidad en la circulación de aceite, por ello el absorbedor al no poseer un flujo de trabajo constante alcanza mayores temperaturas, sin embargo se puede ver que mientras existe continuidad en el flujo la temperatura promedio del absorbedor es de 145 °C, esta es una temperatura adecuada para los fines consiguientes. Debido al problema antes mencionado de la bomba se ve que la máxima temperatura que alcanza el aceite es de 64 °C, y por consiguiente el agua solo llega a los 48 °C, es por ello que se deduce que el sistema necesita una bomba que soporte mayores temperaturas para que su funcionamiento sea óptimo.

Tabla 6.13 Temperaturas del Sistema

HORA	T _{amb}	T _{absorbedor}	T _{aceite}	T _{agua}
	°C	°C	°C	°C
10:10	21	-	41	38
10:28	21	-	46	39
10:36	22	-	52	41
10:46	22	-	55	43
10:53	22	-	60	43
10:57	22	250	61	44

Fecha: Septiembre 19, 2009

Con los datos indicados en la tabla 6.13, se tiene que la temperatura del aceite alcanza los 61 °C y la del agua 44 °C, como se observa no se pudo obtener los datos del absorbedor sino hasta el ultimo debido a no poseer el termómetro laser, se puede ver que existe mismo problema que el caso anterior con la bomba de circulación, y esto no permite tener una continuidad con el proceso.

Tabla 6.14 Primeros Datos de Obtenidos del Sistema en Conjunto

HORA	T _{amb}	T _{absorbedor}	T _{aceite}	T _{agua}
	°C	°C	°C	°C
11:00	20	-	37	28
11:25	20	-	45	33
11:45	21	-	49	35
12:00	22	-	51	37
12:15	22	-	52	38
12:30	22	-	50	42
12:45	23	-	56	44
13:00	22	-	63	44

Fecha: Septiembre 12, 2009

A los 120 minutos el agua alcanza los 44 °C, mientras que el aceite llega hasta 63 °C, para posteriormente tener una interrupción en el flujo de aceite debido al problema ya antes mencionado de la bomba de circulación.

1.11 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Para tener mas claro el funcionamiento del sistema y realizar un análisis de resultados mas detallado, se procede a obtener una tabla con los valores más representativos tomados de todos los parámetros del sistema.

Tabla 6.15 Datos Máximos, Mínimos y Promedios, Obtenidos en el Funcionamiento del Sistema de Termoterapia

Parámetros	Unidades	V. Máximo	V. Mínimo	V. Promedio
T_{amb}	[°C]	29	21,6	22,6
V_{viento}	[m / s]	1,43	0,03	0,65
I	[W / m ²]	1080	198	872,75
$T_{absorbedor}$	[°C]	165	45	124,6
T_{aceite}	[°C]	68	21	54,8
T_{agua}	[°C]	54	24	40,5

Con los datos indicados en la tabla 6.15, se puede tener una idea mas clara de todo el funcionamiento del sistema y de los parámetros que rigen en este, siendo así, se puede observar primeramente que la temperatura ambiente tiene a un mínimo de 21.6 °C y un máximo de 29 °C, promediando de todos los datos obtenidos los 22,6 °C, esta temperatura influencia directamente en la eficiencia del proceso, siendo así.

Como segundo punto se observa la velocidad del viento, con un máximo de 1,43 m/s, un mínimo de 0,03 m/s y un promedio de 0,65, estos datos están de acuerdo a lo esperado ya que para Sangolquí se a considerado un valor del viento promedio de 0,7 m/s, esta velocidad es directamente proporcional a la temperatura del absorbedor, ya que al tener velocidades del viento altas, se tiene mayores perdidas por convección, siendo de esta forma podemos observar que la máxima temperatura del absorbedor es de 165 °C, y su mínima es de 45 °C, esta se debe a lo antes mencionado, pero además incide la irradiación que se tenga al momento de la toma de datos, en general el promedio obtenido de la temperatura del absorbedor es considerable y de mucha importancia para los fines consiguientes.

Por ultimo podemos observar la temperatura del aceite y la temperatura del agua las cuales están dentro de un rango considerable, ya que inicialmente en los cálculos realizados se tiene que el sistema producirá vapor en aproximadamente 4 horas de sol pico, pero debido a que el clima en la ciudad de Sangolquí a sido variable en estos últimos días, como se podrá ver en la mayoría de las tablas solo se ha tenido un promedio de 2 horas de sol pico, siendo de esta forma que a la mitad del proceso cuando se comienza a tener un considerable aumento en estos parámetros, se ha tenido que suspender la toma de datos llegando la temperatura del agua a un

máximo de 54 °C, y la del aceite a 68 °C, de aquí se deduce que al tener un día, con 4 horas de sol pico como mínimo, y con una irradiación directa alta, el sistema será funcional y eficiente.

1.12 CRITERIOS DE SEGURIDAD INDUSTRIAL

La seguridad industrial evalúa estadísticamente los riesgos de accidentes. La importancia de esta, radica en que, año con año las cifras de accidentes relacionadas con el trabajo se incrementen. Estos accidentes provocan pérdidas económicas y sociales de suma importancia. Así que se hace necesario, para las empresas establecer normas de seguridad y programas de seguridad, a fin de evitar los accidentes. La seguridad industrial tiene como objeto proteger a los elementos de la producción (recursos humanos, maquinaria, herramientas, equipo y materia prima), y para esto se vale de la planificación, el control, la dirección y la administración de programas.

Dentro de lo que involucra el sistema de generación de vapor, se ha considerado que es necesario tomar en cuenta principalmente, el uso de protección personal al momento de utilizar el equipo, y además mantenerse atentos con los cambios de temperatura y presión que vamos a tener paulatinamente, sin duda alguna estos deben ser controlados, y en caso de encontrar alguna anomalía en estos, se debe apagar la bomba, y a la vez desenfocar la parábola del sol, para interrumpir la circulación de aceite, y así evitar que el aceite siga incrementando su temperatura y genere posibles daños.

USO DE PROTECCIÓN PERSONAL:

Para que la seguridad de la persona o personas que van a utilizar el equipo se mantenga, es necesario controlar de manera muy estricta el uso adecuado del Equipo de Seguridad Personal. Es obligatorio que las personas que se encuentren manipulando el equipo utilicen los siguientes implementos de protección personal, para de esta manera evitar posibles accidentes.

Ropa de trabajo

Nunca debe llevarse ropa suelta, deshilachada ni con tiras que cuelgan. Se debe llevar ropa protectora adecuada a la actividad a realizarse.



Fotografía 6.1 Ropa de Trabajo

Guantes

Estos deberán utilizarse siempre, durante las actividades que impliquen algún tipo de riesgo a las manos y cuando se utilicen elementos de carácter peligroso, irritante o tóxico. Para el manejo de sustancias calientes se deberá utilizar guantes de cuero.



Fotografía 6.2 Guantes manga larga

Protección ocular

Se deberá utilizar lentes de seguridad especialmente cuando exista presencia de radiación, gases químicos, partículas sólidas, fluidos o polvo que puedan afectar a los ojos.



Fotografía 6.3 Protector visual

Botas de seguridad

Todas las personas deberán utilizar protección en los pies que consiste en botas con puntas de acero.



Fotografía 6.4 Botas de seguridad

Protección Auditiva

El ruido es un fenómeno que además de afectar negativamente al sistema auditivo, puede alterar a un individuo, haciéndolo sentir cansado y nervioso.

El Departamento de Salud y Seguridad Ocupacional (OSHA) tiene normas acerca del tiempo que un individuo puede estar expuesto a un nivel de ruido antes de que deba utilizar protección en los oídos de acuerdo a la siguiente tabla:

Tabla 6.16 Tiempo de exposición al ruido según los decibeles¹⁰

NÚMERO DE HORAS	DECIBELES (dB)
8	90
4	95
1	105

Como una medida de protección hacia quienes operen el equipo, se ha determinado que se deben utilizar protectores auditivos sencillos, en forma de tapones.



Fotografía 6.5 Protección auditiva

1.13 GUÍAS DE PRÁCTICA

Este proyecto entre algunas cosas busca dotar al laboratorio de Energías Renovables de una guía de práctica para el estudiante, con la cual se pueda observar y aclarar los principales parámetros de funcionamiento y las características de un sistema de termoterapia con energía solar concentrada, para así determinar el desempeño de este. La guía para realizar la práctica se encuentra en el **Anexo D**.

1.14 MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

¹⁰ Normas OSHA

En el **Anexo E** podemos observar el manual de operación y mantenimiento, en este se hace una breve introducción a los sistemas energéticos, seguido de respuestas a las preguntas mas frecuentes como: ¿Qué es la termoterapia?, ¿Qué es un sistema de termoterapia?, ¿Cómo funciona el sistema?, etc. Se muestra además las especificaciones del sistema, el procedimiento que se debe seguir, las recomendaciones y además los mantenimientos preventivos y correctivos que se deben efectuar, con el fin de aumentar la vida útil del sistema.

CAPITULO 7

ANALISIS ECONÓMICO Y FINANCIERO

7.1 ANÁLISIS ECONÓMICO

El análisis económico determina los costos totales en que incurrirá el proyecto categorizando los costos directos e indirectos. Por tanto nos da una guía de los ingresos y egresos que tiene el proyecto, así como una proyección de los costos y gastos del proyecto, teniendo en cuenta su fase preconstructiva y a lo largo de su vida útil, una vez terminado el proyecto; dando así alternativas para determinar si el proyecto es factible y rentable.

Se empieza categorizando los costos totales, así como los gastos del proyecto, explicados detalladamente a continuación:

7.1.1 COSTOS DIRECTOS

Los costos directos son los que se pueden identificar específicamente en la unidad, es decir, aquellos que se relacionan directamente con la producción. Por lo general se asimilan a los costos variables¹¹.

7.1.1.1 Construcción y Ensamblaje

Para la construcción y ensamblaje del proyecto fue necesaria la contratación de agentes externos para los cuales se les pago por sus servicios prestados.

Tabla 7.1 Construcción y ensamblaje

Descripción	Valor
Construcción Caldero	470.00
Construcción del Serpentín Pequeño y Base	113.00
Construcción del Reservorio de Aceite Térmico	50.00
SubTotal 1	633.00
Remuneraciones Profesionales	50.00
SubTotal 2	50.00
TOTAL ETAPA CONSTRUCCION Y ENSAMBLAJE	\$ 683.00

7.1.1.2 Mantenimiento y Reparación

Tabla 7.2 Mantenimiento y Reparación¹²

N	Medida	Descripción	Unidades	Valor unitario	Valor total
1	Gal.	Aceite Térmico Texatherm 46	4	12.50	50.00
2	Pulg.	Codos de cobre 1/2"	5	0.40	2.00
3	M	Empaque	1	8.00	8.00
4	Pulg.	Neplos	2	0.45	0.90
5	Pulg.	Pernos 5/16" - (Caldera y Absorbedor)	4	0.81	3.25
6	Pulg.	Tapón	1	1.25	1.25
7	Pulg.	Tirafondos 1/4" - 1/2"	2	0.13	0.25
8	Pulg.	Tirafondos 5/16" - 2"	2	0.19	0.38
9	Pulg.	Uniones de cobre 5/8"	2	4.00	8.00
10	Pulg.	Universales	4	1.00	4.00

¹¹ Son aquellos costos que varían en forma proporcional, de acuerdo al nivel de producción o actividad.

¹² Para resolver cualquier circunstancia externa al buen funcionamiento del proyecto se recomiendan los suministros.

TOTAL SUMINISTROS MANTENIMIENTO			\$ 78.03
MANO DE OBRA DE MANTENIMIENTO			
11		Andrea C. García Erazo	50.00
12		Andrés J. Troya Rodríguez	50.00
TOTAL MANO DE OBRA MANTENIMIENTO			\$ 100.00
TOTAL MANTENIMIENTO Y REPARACION			\$ 178.03

7.1.1.3 Materiales y Equipos

Tabla 7.3 Materiales y Equipos de construcción

N.	Medida	Descripción	Valor
1		Accesorios para caldero	7.00
2	Gal.	Aceite Térmico Texatherm 46	87.57
3	m.	Alambre No. 16	24.54
4		Bomba	87.68
5		Cámara de Vaporización	140.00
6	m.	Codos Neplos Cierra	41.40
7	m.	Empaque	8.00
8	m.	Lana de vidrio para aislamiento de tubería	18.00
9	Pulg.	Llaves esféricas y B3 (1/2" - 1/2")	8.00
10	Pulg.	Llave de paso, válvula check y Neplos	32.16
11	m.	Madera de pino	105.00
12	m.	Manguera negra - entrada del Absorbedor	24.08
13	Pulg.	Nivel de agua para caldero	60.83
14	Pulg.	Pernos 5/16" Tuercas	16.55
15	m.	Plancha de acero inoxidable A304 - 3mm	350.00
16	Pulg.	Tapón	1.23
17	Pulg.	Tirafondos 1/4" - 1/2"; 5/16" - 2"	1.25
18	m.	Tubería de cobre 5/8 "	89.00
19	m.	Tubo estructura metálica - mangueras	10.00
20	Pulg.	Tubo de hierro de 1/2"	22.00
21	m.	Tubo PVC rojo	11.10
22	Pulg.	Uniones de cobre 5/8"	7.99
23	Pulg.	Universales	19.94
TOTAL COSTOS DIRECTOS			\$ 1,173.32

Cuando se utiliza el término material o materiales, se está haciendo [referencia](#) por lo general al [conjunto](#) de elementos que son necesarios para actividades o tareas específicas. La noción de materiales puede aplicarse a diferentes situaciones y espacios, pero siempre girará en torno a

varios elementos que son importantes y útiles para desempeñar determinada acción, además de que son también objetos que deben ser utilizados de manera conjunta¹³. Los materiales y equipos de construcción son aquellos que, luego de haber realizado el diseño e ingeniería de un proyecto, nos sirven para la constitución del proyecto en su forma física. Por tanto, los materiales y equipos de construcción son herramientas que el hombre utiliza para diferentes utilidades, en diferentes áreas de un sistema.¹⁴

7.1.2. COSTOS INDIRECTOS

Los costos indirectos son el contrario de los costos directos, estos no se pueden identificar en la unidad de producción, es decir son aquellos que no se pueden asignar directamente a un producto o servicio, sino que se distribuyen entre las diversas unidades productivas mediante un criterio de reparto. Por lo general son costos fijos¹⁵.

Tabla 7.4 Costos indirectos

N.	Descripción	Valor
1	Batería para termocupla – multímetro	2.87
2	Carpa 2 x 2m	80.00
3	Cinta ploma y soportes para fijar tubería	12.20
4	Copias	2.50
5	Gasolina – Transporte	44.50
6	Impresiones	8.25
7	Pintura en Spray	7.53
8	Transporte de Caldero	5.00
9	Transporte de Carpa	10.00
10	Transporte de Tubos	3.50
TOTAL COSTOS INDIRECTOS		\$ 176.35

7.1.2.1. Suministros y Servicios

Tabla 7.5 Servicios y Suministros

Nombre	Valor
Agua	40.00
Luz	40.00
TOTAL SERVICIOS Y SUMINISTROS	\$ 80.00

¹³ Definiciones ABC. www.definicionabc.com/materiales

¹⁴ RODRIGUEZ, Silvia. "Materiales de Construcción". Besa 3 ESO-A. Power Point.

¹⁵ Son aquellos costos cuyo importe permanece constante, independiente al nivel de actividad.

7.1.2.2. Capacitación y Asesoramiento

Tabla 7.6 Capacitación y Asesoramiento

N.	Descripción	Valor
1	Copias	2.50
2	Gasolina Transporte	44.50
3	Impresiones	8.25
4	Transporte de Caldero	5.00
5	Transporte de Carpa	10.00
6	Transporte de Tubos	3.50

TOTAL CAPACITACION Y ASESORAMIENTO	\$ 73.75
---	-----------------

7.1.3 SERVICIOS ESPECIALIZADOS

7.1.3.1. DISEÑO E INGENIERIA

El diseño y la ingeniería del proyecto del desarrollo de un sistema alternativo de termoterapia con energía solar concentrada para aplicaciones de extensión y académicas, estuvo a cargo de dos estudiantes, para los cuales se les interpreto a manera de trabajadores, por lo tanto se les dará un valor relativo a un salario.

Tabla 7.7 Diseño e Ingeniería

Nombre	Valor
Andrea C. García Erazo	200.00
Andrés J. Troya Rodríguez	200.00

TOTAL DISEÑO E INGENIERIA	\$ 400.00
----------------------------------	------------------

7.1.4 COSTOS TOTALES

Tabla 7.8 Resumen de Costos

1.1.	COSTOS DIRECTOS	2,034.35
1.1.1.	Construcción y Ensamblaje	683.00
1.1.2.	Mantenimiento y Reparación	178.03
1.1.3.	Materiales y Equipo	1,173.32
1.2.	COSTOS INDIRECTOS	256.35
1.2.1.	Servicios y Suministros	80.00
1.2.2.	Capacitación y Asesoramiento	73.74
	Varios	102.61
1.3.	COSTOS ESPECIALIZADOS	400.00
1.3.1.	Diseño e Ingeniería	400.00
COSTOS D+I+E		2,690.70
Imprevistos 5%		134.54
COSTO TOTAL		\$2,825.24

Por definición, los costos totales son aquellos costos incurridos en la operación de un proyecto durante un periodo dado, se cuantifican sumando sus costos Indirectos (fijos) y sus costos directos (variables)

$$\text{Costos Totales} = \text{Costos Directos} + \text{Costos Indirectos} + \text{Costos Especializados (7.1)}$$

7.1.5 FINANCIAMIENTO

El financiamiento, es el conjunto de recursos monetarios financieros para llevar a cabo una actividad económica, con la característica de que generalmente se trata de sumas tomadas a préstamo que complementan los recursos propios. El financiamiento se contrata dentro o fuera del país a través de créditos, empréstitos y otras obligaciones derivadas de la suscripción o emisión de títulos de crédito o cualquier otro documento pagadero a plazo¹⁶.

Para realizar la construcción del sistema alternativo de termoterapia, se buscó la forma de financiar los gastos que está trae consigo, la entidad que financió la mayor cantidad de gastos fue el Instituto Ecuatoriano de Crédito Educativo (IECE), el mismo que facilitó el préstamo y en el que los intereses no son muy altos. A continuación se detalla esta información:

Tabla 7.9 Crédito IECE

¹⁶ www.definicion.org/financiamiento

Monto	3,000.00			
Interés				
	6.51%	anual	P. 1er Año	
	8.34%	anual	P. 2do Año	
	10.18%	anual	P. 3er en adelante	
Plazo	36	meses		
Gracia	5	meses		
CUOTA	SALDO CAPITAL	INTERES	AMORTIZACION	FLUJO
1	3,000.00	16.28	0.00	16.28
2	2,983.73	16.19	0.00	16.19
3	2,967.54	16.10	0.00	16.10
4	2,951.44	16.01	0.00	16.01
5	2,935.43	15.92	0.00	15.92
6	2,919.50	15.84	96.77	112.61
7	2,903.66	15.75	96.77	112.53
8	2,887.91	15.67	96.77	112.44
9	2,872.25	15.58	96.77	112.36
10	2,856.66	15.50	96.77	112.27
11	2,841.17	15.41	96.77	112.19
12	2,825.75	15.33	96.77	112.10
13	2,810.42	19.53	96.77	116.31
14	2,790.89	19.40	96.77	116.17
15	2,771.49	19.26	96.77	116.04
16	2,752.23	19.13	96.77	115.90
17	2,733.10	19.00	96.77	115.77
18	2,714.11	18.86	96.77	115.64
19	2,695.25	18.73	96.77	115.51
20	2,676.51	18.60	96.77	115.38
21	2,657.91	18.47	96.77	115.25
22	2,639.44	18.34	96.77	115.12
23	2,621.10	18.22	96.77	114.99
24	2,602.88	18.09	96.77	114.86

25	2,584.79	21.93	96.77	118.70
26	2,562.86	21.74	96.77	118.52
27	2,541.12	21.56	96.77	118.33
28	2,519.56	21.37	96.77	118.15
29	2,498.19	21.19	96.77	117.97
30	2,477.00	21.01	96.77	117.79
31	2,455.98	20.83	96.77	117.61
32	2,435.15	20.66	96.77	117.43
33	2,414.49	20.48	96.77	117.26
34	2,394.01	20.31	96.77	117.08
35	2,373.70	20.14	96.77	116.91
36	2,353.56	19.97	96.77	116.74
			3,000.00	

7.2 ANALISIS FINANCIERO

7.2.1. CALCULO DEL VAN Y DEL TIR

Para el Análisis Financiero del presente proyecto, se utilizara dos de las principales herramientas para la Evaluación Financiera de Proyectos, que son el Valor Actual Neto (VAN) y de la Tasa Interna de Retorno, los cuales nos ayudaran a tomar decisiones de aceptación o rechazo y perspectiva del proyecto en términos financieros.

7.2.1.1. Valor actual neto

El Valor Actual Neto¹⁷ (VAN), es un procedimiento por el cual nos permite calcular el valor presente de un determinado número de flujos de caja futuros, originados por una inversión previa. La metodología del cálculo consiste en descontar al momento actual los flujos de caja futuros del proyecto; a este valor se le resta el monto de la inversión inicial, de tal modo que el valor obtenido como resultado es el valor actual neto del proyecto.

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{V_t}{(1+k)^t} - I_0 \quad (7.2)$$

- V_t representa los flujos de caja en cada periodo t .
- I_0 es el valor del desembolso inicial de la inversión.
- n es el número de períodos considerado.
- El tipo de interés es k

El valor actual neto es muy importante para la valoración de inversiones en activos fijos, a pesar de sus limitaciones en considerar circunstancias imprevistas o excepcionales de mercado. Si su valor es mayor a cero, el proyecto es rentable, considerándose el valor mínimo de rendimiento para la inversión.

$VAN < 0$ La inversión producirá pérdidas por debajo de la rentabilidad exigida

$VAN > 0$ La inversión producirá ganancias por encima de la rentabilidad exigida

¹⁷ Valor Actual Neto: Valor puesto al día de todos los flujos de caja esperados de un proyecto de inversión.

VAN = 0 La inversión no producirá ni pérdidas ni ganancias.

Después de procesar los datos para sacar los resultados del VAN, es necesario la elección de criterios según el resultado. Si la inversión no producirá ni pérdidas ni ganancias, la decisión debería basarse en diferentes criterios, así, como la obtención de un mejor posicionamiento de un mejor posicionamiento en el mercado u otros factores.

Si la inversión nos muestra una pérdida por debajo de la inversión esperada, el proyecto debería rechazarse, pues los flujos de caja futuros no muestran un recuperamiento de la inversión en un plazo determinado. Si la inversión muestra ganancias por encima de la esperada, el proyecto puede aceptarse.

7.2.1.1.1. Cálculo del VAN

Para el cálculo del VAN se ha tomado como referencia a periodos trimestrales, para comodidad del cálculo en sí, y poder ver en que nos puede afectar si tomamos un tiempo determinado, dentro de un periodo de tres meses o trimestre.

Además se ha dividido los costos tanto directos como indirectos en el periodo de duración del crédito, pues así es más factible realizar los cálculos del flujo de caja, así como del VAN, además que es una herramienta útil para tomar decisiones a futuro.

Tabla 7.10 Cálculo del VAN

N.	Nombre	Valor
1	INVERSION	3,000.00
2	FLUJO OPERACIONAL 1	375.78
3	FLUJO OPERACIONAL 2	375.78
4	FLUJO OPERACIONAL 3	375.78
5	FLUJO OPERACIONAL 4	375.78
6	FLUJO OPERACIONAL 5	475.78
7	FLUJO OPERACIONAL 6	475.78
8	FLUJO OPERACIONAL 7	475.78
9	FLUJO OPERACIONAL 8	475.78

10	FLUJO OPERACIONAL 9	575.78
11	FLUJO OPERACIONAL 10	575.78
12	FLUJO OPERACIONAL 11	575.78
13	FLUJO OPERACIONAL 12	575.78

VAN	137.46
------------	---------------

VAN 1	324.02
--------------	---------------

El Valor actual Neto nos da un valor positivo > a cero por tanto es aceptable la inversión. Sin embargo, debemos aclarar que el VAN fue calculado en base a la tasa más alta del crédito; y El VAN 1 fue calculado con las diferentes tasas al que el crédito de inversión está sujeto. No cabe duda que se debe aceptar el proyecto.

7.2.1.2. Tasa interna de retorno

La Tasa Interna de Retorno (TIR), es la tasa¹⁸ que iguala el valor presente neto a cero, esta tasa también es conocida como la tasa de rentabilidad producto de la reinversión de los flujos netos de efectivo dentro de la operación propia del negocio y esta a su vez se expresa en porcentajes. Así mismo se maneja como una tasa crítica de rentabilidad cuando se compara con la tasa mínima de rendimiento requerida (tasa de descuento)¹⁹ para un proyecto de inversión específico.

La tasa interna de retorno se utiliza para decidir sobre la aceptación o rechazo de un proyecto de inversión, para ello, la TIR se compara con una tasa mínima o tasa de corte, el "coste de oportunidad"²⁰ de la inversión, si esta no tiene riesgo, el coste de oportunidad utilizado para comparar la TIR será la tasa de rentabilidad libre de riesgo. Si la tasa de rendimiento del proyecto, expresada por la TIR, supera la tasa de corte, se acepta la inversión, en caso contrario se rechaza.

$$r = \frac{-I + \sum_{i=1}^n Q_i}{\sum_{i=1}^n i * Q_i} \quad (7.3)$$

¹⁸ Tasa: Es la contraprestación en dinero que pagan los particulares, el estado u otros entes de derecho publico. También se conoce a la tasa como el precio del dinero en el mercado financiero cuando se habla de tasa de interés.

¹⁹ Tasa de Descuento: Es una medida financiera que se aplica para determinar el valor actual de un pago futuro. Es la diferencia de la tasa de interés.

²⁰ Designa el coste de la inversión de los recursos disponibles, en una oportunidad económica, a costa de las inversiones. Se refiere a aquello de lo que un agente se priva o renuncia cuando hace una elección o toma de una decisión.

Si $TIR \geq r \rightarrow$ Se aceptará el proyecto. La razón es que el proyecto da una rentabilidad mayor que la rentabilidad mínima requerida (el coste de oportunidad).

Si $TIR < r \rightarrow$ Se rechazará el proyecto. La razón es que el proyecto da una rentabilidad menor que la rentabilidad mínima requerida r representa es el coste de oportunidad.

7.2.1.2.1. Cálculo de la tasa interna de retorno

Para el cálculo de la tasa interna de retorno, se tomo como referencia de rendimiento del proyecto a las tasas de interés para los cuales, la inversión está sujeta, por tanto al medir con la tasa interna de retorno, y así calcularlo, se dará una importancia a las tasas de interés las cuales nos darán un equivalente al flujo que se debería aprovechar para los flujos de ingresos operacionales una vez puesto en ejecución el proyecto.

Tabla 7.11 Tasa interna de retorno

TIR 2 años	2.76%
-------------------	--------------

TIR 3 años	10.45%
-------------------	---------------

TIR - TASAS DE INTERÉS

Tasa Interés 1	6.51%	10.45%
Tasa Interés 2	8.34%	10.45%
Tasa Interés 3	10.18%	10.45%

Tabla 7.12 Indicadores

INFLACION	3,33%
------------------	-------

VAN	324
------------	-----

TIR	10.45%
------------	--------

Como vemos en los resultados en las tablas 7.11 y 7.12, podemos dar las siguientes interpretaciones.

- El Valor Actual Neto, luego de haber establecido parámetros con los cuales se procedió al cálculo, no da un VAN mayor a cero lo que nos da una buena perspectiva inicial para aceptar el proyecto y ponerlo en ejecución.
- La Tasa Interna de Retorno, al ser una herramienta para medir el rendimiento relativo por periodo de un proyecto en el cual se incurre en una inversión, nos da una interpretación que fortalece a la aceptación del cálculo del VAN, dando así una TIR mayor al rendimiento (en nuestro caso al costo del dinero invertido) por tanto se da un mayor grado de aceptación del proyecto.
- La inflación es un indicador de la economía muy importante, pues este es el termómetro principal, para calcular los beneficios y toma de decisiones por parte de los inversionistas, al estar la economía ecuatoriana en una inflación situada en el 3,33%²¹; nos da un claro panorama del rendimiento del proyecto, el cual está superior de la Inflación y Tasas de Interés.

7.2.2. DEPRECIACIÓN

Dentro del ámbito de la [economía](#), el término depreciación es una reducción anual del valor de una propiedad, planta o equipo. La depreciación puede venir motivada por tres motivos:

- El uso,
- El tiempo, y,
- La obsolescencia.

La depreciación, se utiliza para dar a entender que las inversiones permanentes del proyecto disminuido en potencial de servicio.

De tal manera en términos contables, la depreciación es una manera de asignar el [coste](#) de las inversiones a los diferentes ejercicios en los que se produce su uso en la actividad. Los [activos](#) se deprecian basándose en criterios económicos, considerando el plazo de tiempo en que se hace uso en la actividad productiva, y su utilización efectiva en dicha actividad. Una deducción anual de

²¹ www.ecuadorencifras.com/Inflación

una porción del valor de la propiedad y/o equipamiento. También se puede definir como un método que indica el monto del costo imputable al gasto, que corresponda a cada periodo de tiempo²².

Tabla 7.13 Activos fijos

	Valor	Vida Útil	Valor Depreciación
CARPA	80	3	27
CAJON PINO	150	5	30
CALDERO	580	5	116
HERRAMIENTA	50	5	10
	\$ 860		\$ 183

Para el cálculo de la depreciación de los activos fijos, que tiene el proyecto se utilizó el Método de Depreciación por línea recta el cual nos dice que el activo se desgasta por igual durante cada periodo contable. Este método se usa con frecuencia por ser sencillo y fácil de calcular. EL método de la línea recta se basa en el número de años de vida útil del activo²³.

Se tomo como activos representativos para el cálculo de la depreciación (fijos) aquellos que pueden y tienen un desgaste conforme a su utilización, paso del tiempo y demás elemento que se toman en cuenta para el cálculo de la depreciación.

7.2.3. FACTIBILIDAD DEL PROYECTO

7.2.3.1 Criterios de factibilidad técnico.

Tabla 7.14 Factibilidad técnica

<i>Puntaje Máximo</i>	10			
<i>Criterio Factible</i>	8			
Criterios Factibilidad	Calificación 1	Calificación 2	Total 1	Total 2
Efecto Medio Ambiente	9	8	72	80
Duración Proyecto	8	8	64	80

²² www.wikipedia.org/Depreciación

²³ www.monografias.com/Metodo

Probabilidad Éxito	9	8	72	80
Propiedad Industrial	8	8	64	80
Propiedad Medica	10	8	80	80
TOTAL			352	400
IMR			0.88	

El resultado nos da que los criterios de factibilidad técnica, tienen un índice de merito relativo del 0.88 o 88% para el proyecto según sus especificaciones técnicas.

7.2.3.2. CRITERIOS DE FACTIBILIDAD FINANCIERA

Tabla 7.15 Factibilidad financiera

Puntaje Máximo	10			
Criterio Factible	8			
Criterios Factibilidad	Calificación 1	Calificación 2	Total 1	Total 2
Costos	8	8	64	80
Inversión	9	8	72	80
Rendimiento	9	8	72	80
Riesgo	7	8	56	80
TOTAL			264	320
IMR			0.83	

El resultado nos da que los criterios de factibilidad financiera, tienen un índice de merito relativo del 0.83 o 83% para el proyecto según sus costos e inversión.

7.2.3.3. Criterios de factibilidad institucional

Tabla 7.16 Factibilidad institucional

Puntaje Máximo	10			
Criterio Factible	8			
Criterios Factibilidad	Calificación 1	Calificación 2	Total 1	Total 2
Laboratorios	9	8	72	80
Infraestructura	9	8	72	80
Innovación	9	8	72	80
Clima Laboral	8	8	64	80
TOTAL			280	320

IMR	0.88
------------	-------------

El resultado nos da que los criterios de factibilidad institucional, tienen un índice de merito relativo del 0.88 o 88% para el proyecto según sus parámetros necesarios para el medio ambiente en el cual este se desarrolla.

El IMR reflejará el por ciento de aceptación del criterio de factibilidad analizado²⁴.

Mientras más alto sea el IMR mejores condiciones existen para que el equipo de trabajo tome una decisión correcta²⁵.

Como resultado de un largo análisis, tanto económico como financiero, el cual se ha aplicado en el largo de la realización del proyecto, podemos obtener información importante para la toma de decisiones en la cual el primer resultado es la aceptación financiera del proyecto, el cual nos da una rentabilidad esperada factible para poner en marcha el proyecto, pues con la rentabilidad podemos cubrir costos de inversión, dando una oportunidad de ganancia del proyecto bastante interesante la cual daría una luz de equilibrio entre ingresos y gastos.

Tomando como referencia económica, a un índice macroeconómico tan importante como lo es la inflación, podemos dar como resultado que nuestro nivel de rentabilidad también supera los niveles inflacionarios de la economía ecuatoriana (cifra medida a Agosto 2009). Por último el índice de merito relativo nos da una información importante la cual su resultado es cercano al 100%, lo que nos diría que nuestro proyecto es factible.

CAPITULO 8

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

²⁴ www.monografias.com/Evaluación

²⁵ www.monografias.com/Guía de evaluación

9.1 CONCLUSIONES

- La energía solar es una de las fuentes renovables que posee mayor porcentaje de energía en el mundo, por ello llegamos a concluir que esta nos ayuda a la generación de sistemas nuevos e innovadores debido a que permiten aprovecharla en un porcentaje elevado teniendo una eficiencia superior al 50%.
- Este tipo de sistemas basan su funcionamiento en un intercambiador que transforma la energía radiante en calor; este flujo de energía es variable con el tiempo y depende mucho de las condiciones climáticas de la zona donde esté instalado.
- El diseño de este sistema permite alcanzar temperaturas mayores a los 600 grados en el absorbedor, por lo que se concluye que se puede aprovechar al máximo la energía que nos brinda el sol, pudiendo de esta manera brindar beneficios terapéuticos a quienes lo necesiten.
- El concentrador solar parabólico es un instrumento muy eficaz en procesos de generación de vapor, llegando a tener una relación de concentración de 357.21; esta permite que las pérdidas de calor se reduzcan logrando alcanzar altas temperaturas.
- Para que el colector solar parabólico permita una alta concentración además de su geometría es necesario dispositivos especiales, precisos de enfoque y seguimiento del sol para lograr así una alta densidad de energía en el absorbedor.
- Como resultado de un largo análisis tanto económico como financiero podemos concluir que el proyecto es factible debido a que nos da una rentabilidad positiva, esta es del 2.76% en 2 años y del 10.45% en 3 años; con ello podemos cubrir los costos de inversión.
- Tomando como referencia económica a un índice macroeconómico tan importante como es la inflación, se llega a la conclusión de que nuestro nivel de rentabilidad supera los niveles inflacionarios de la economía ecuatoriana, lo cual nos indica que el proyecto es factible en su totalidad

9.2 RECOMENDACIONES

- Como se pudo observar este tipo de sistemas, funcionan de forma eficiente con energía solar directa, por lo que no es recomendable instalarlos en lugares donde exista poca nubosidad.
- Se recomienda instalar un sistema alternativo para la generación de vapor, el cual sirva para épocas de invierno donde no exista radiación directa, para de esta forma aumentar la funcionalidad de todo el sistema.
- Estos sistemas se encuentran a la intemperie por ello es necesario tener un debido control de limpieza sobretodo en la superficie refractora del concentrador debido a que por polvo, y otras impurezas, hacen que no refleje la radiación en toda su capacidad.
- Se recomienda profundizar más a los estudiantes sobre estos temas, siendo que en un futuro no muy lejano la energía renovable serán la principal fuente de energía del planeta.
- Para un mayor tiempo de vida del sistema y por ende de todos los elementos de este, se recomienda seguir el manual de operación y mantenimiento presentado en los anexos del proyecto.
- Para obtener una mayor eficiencia de estos sistemas se recomienda que antes de su instalación se realice un estudio completo de las condiciones climáticas de la zona donde se desea ubicar, midiéndose como principales parámetros las horas de sol pico, y la Irradiación Solar.
- Al cubrir con pintura oscura de preferencia negro mate permite reflejar los rayos solares y absorbe la mayor cantidad de energía, por lo que aumenta la eficiencia del sistema.