



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO

TEMA: “DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y EVALUACIÓN ENERGÉTICA DE UN SISTEMA HÍBRIDO SOLAR/BIOMASA PARA CALENTAMIENTO DE 300 LITROS DE AGUA DE USO DOMÉSTICO.”

**AUTORES: HERRERA VILLARREAL DAVID ALEXANDER
TENEMAZA ANCHAPAXI FRANCISCO XAVIER**

**DIRECTOR: ING. JOSÉ GUASUMBA, MSc.
SECRETARIO ACADEMICO: DR. MARCELO MEJÍA MENA**



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

OBJETIVOS

Objetivo general:

Desarrollar un sistema híbrido solar/biomasa para calentar 300 litros de agua de uso doméstico, como una solución alternativa al calefón convencional de gas que en la actualidad presenta dificultades por ser un combustible subsidiado y el país no dispone de este recurso.



Objetivos específicos:

- Elaborar una investigación de la demanda energética para calentar agua de uso domestico utilizando energía no convencional.
- Desarrollar el análisis energético y modelación térmica de los componentes de la instalación.
- Fabricar un prototipo experimental de un sistema hibrido y realizar las pruebas requeridas.



ALCANCE

Diseño y construcción de los componentes de un sistema de combustión de biomasa para calentar 300 litros de agua de uso doméstico.

El sistema puede ser calentado con energía solar mediante el uso de seis colectores planos del laboratorio de Energías Renovables.

Caracterizar las variables energéticas de acuerdo con los modelos matemáticos que rigen los procesos de conversión y aprovechamiento de la energía solar.

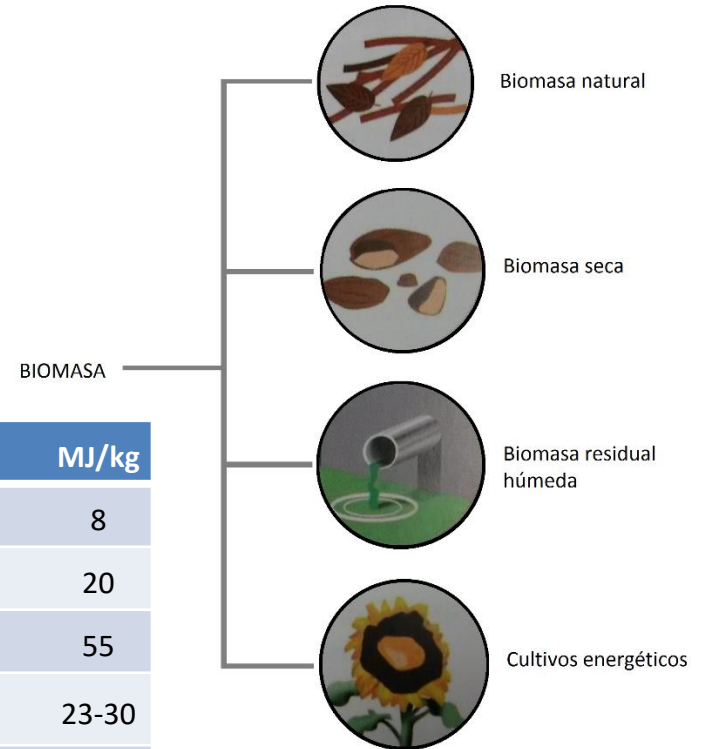
Realizar las pruebas de validación del funcionamiento del sistema.



Análisis energético de la biomasa

- Procesos para el aprovechamiento energético
- Aplicaciones térmicas
- Ventajas

Biomasa	MJ/kg
Madera verde (por combustión directa)	8
Madera seca (por combustión directa)	20
Metano (por fermentación de biomasa)	55
Carbón vegetal (por combustión anaeróbica de masas vegetales)	23-30
Etanol (por combustión aeróbica de biomasa con alto contenido)	28



Procesos para el aprovechamiento energético

➤ Procesos primarios

- Combustión en calderas.
- Combustión en motores de explosión.

➤ Procesos secundarios

- Calentamiento de agua, aceites térmicos y otros fluidos.
- Generación de vapor para procesos industriales y generación de electricidad en turbinas de vapor.



Aplicaciones térmicas de la biomasa

➤ Aplicaciones térmicas domésticas

- Calefacción, cocción de alimentos, calentamiento de agua sanitaria (ACS).

➤ Aplicaciones térmicas industriales

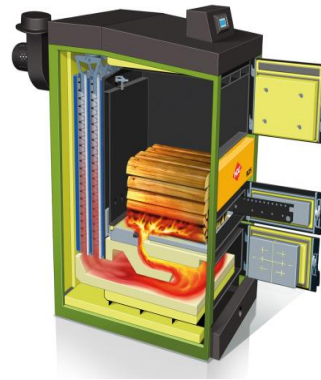
- Secado de productos agrícolas.
- Generación de electricidad.



Cámaras de combustión de biomasa

Es donde ingresa el biocombustible y se produce el proceso de combustión en la caldera, y se pueden distinguir 3 partes.

La primera es donde el combustible se mezcla con el aire primario y, por medio de una combustión parcial, se gasifica la biomasa

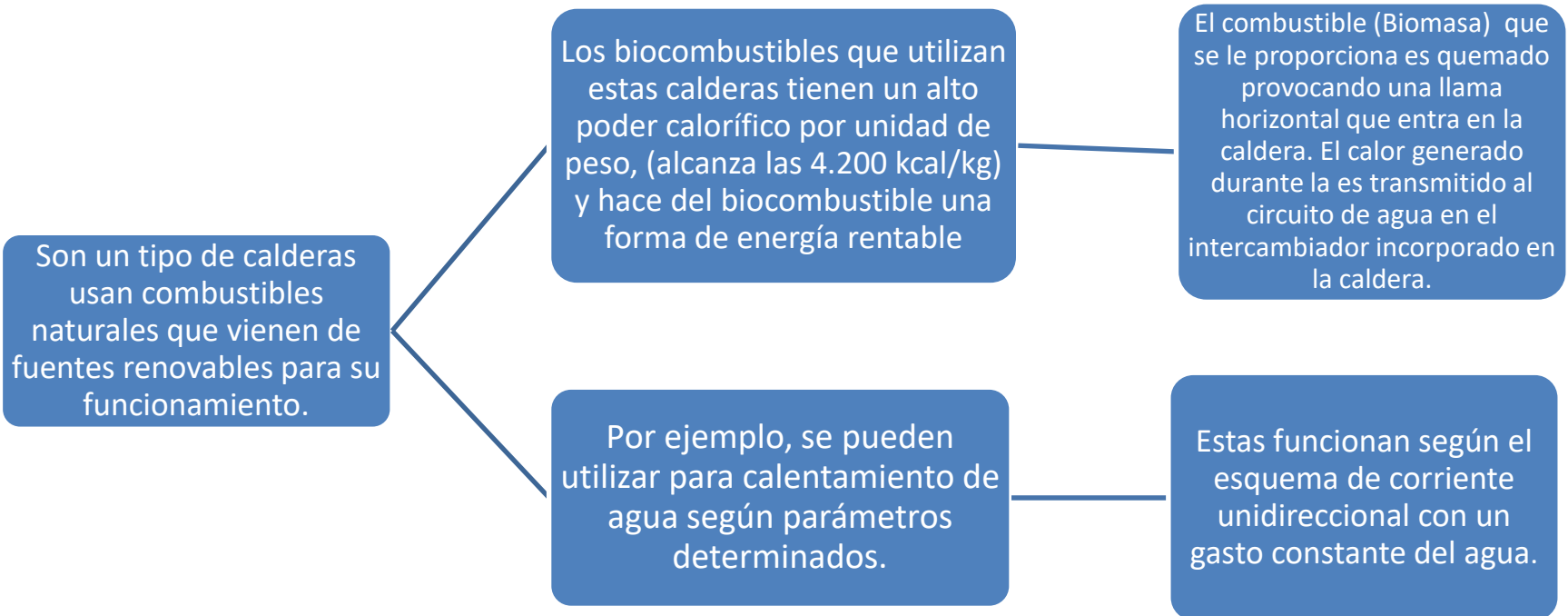


La segunda, es donde se puede observar claramente una llama y donde suele entrar el aire secundario

La tercera está compuesta por el resto de cámara donde no hay llama visible, debido a que la concentración de oxidaciones es baja



Calderas de Biomasa



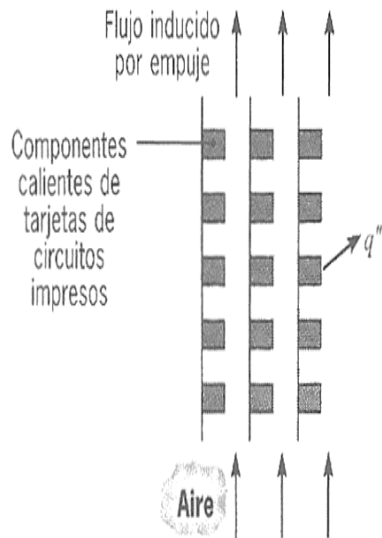
Tipos de calderas de Biomasa

Según el tipo de Combustible

- **Calderas e Pellets:** Únicamente se alimentan de combustibles uniformes, como pellets o huesos de aceituna, que se absorben a la caldera por medio de succión o tornillo sin fin.
- **Calderas Policombustible:** Son calderas muy versátiles porque pueden alimentarse con todo tipo de biocombustible triturado, también existe la posibilidad de adaptarlas para la combustión de Leña.
- **Estufas de leña:** Son calderas que se alimentan únicamente de leña y su combustión es por gasificación. Este tipo de Calderas de Leña ofrecen un mejor rendimiento y una larga vida útil.



Transferencia de calor por convección natural



La transferencia de calor se debe a una superposición de transporte acumulado de energía por el movimiento aleatorio de las moléculas y por el movimiento global del fluido. En la convección natural el flujo es inducido por fuerzas de empuje que surgen a partir de diferencias de densidad ocasionadas por variaciones de temperatura en el fluido



Transferencia de calor en tubos

- En los intercambiadores de calor se usan frecuentemente haces de tubos cilíndricos poco espaciados.
- Según E.D. Grimson el coeficiente promedio de transferencia de calor para haces de por lo menos 10 tubos de profundidad en la dirección de flujo está dado por: $\frac{\bar{h}D}{k_f} =$

$$C_1 (Re_{max})^n$$



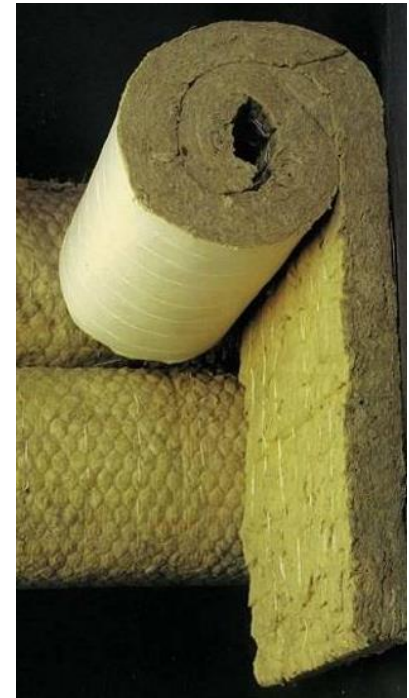
Aislamiento Térmico

El tipo de aislamiento térmico que se utilizó en el presente proyecto fue lana mineral de roca:

Es una lana mineral a base de roca basáltica. Es un aislante muy eficaz contra el frío y el calor.

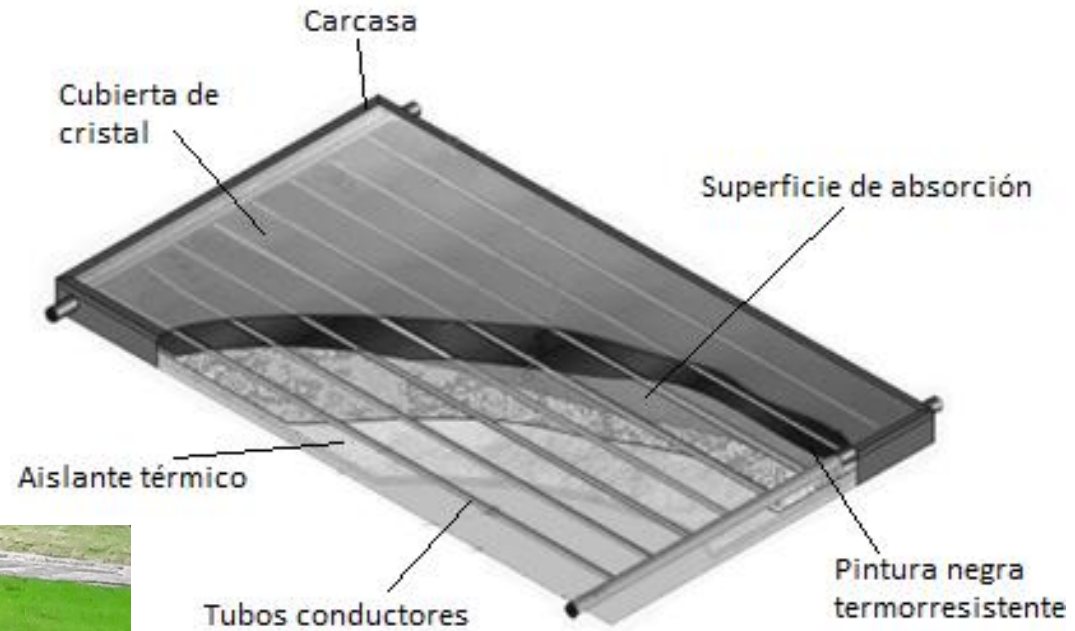
Gracias a su estructura multidireccional, la lana de roca volcánica contiene aire seco en su interior que constituye una barrera al flujo de calor.

Densidad: 30 -160 kg/m³
Conductividad térmica: 0,034 a 0,041 W/(m*K)
C (calor específico) aproximadamente 840 J/(Kg*K)



Colector solar

- Tipos
- Componentes



Aplicaciones

- Calentamiento de agua caliente sanitaria (ACS)
- Calentamiento de agua caliente en industrias agroalimentarias.
- Calefacción domestica, piscinas e invernaderos
- Destilaciones industriales



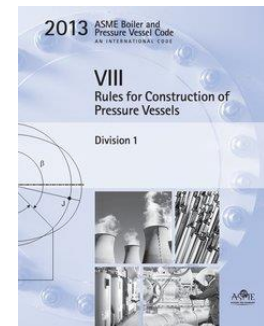
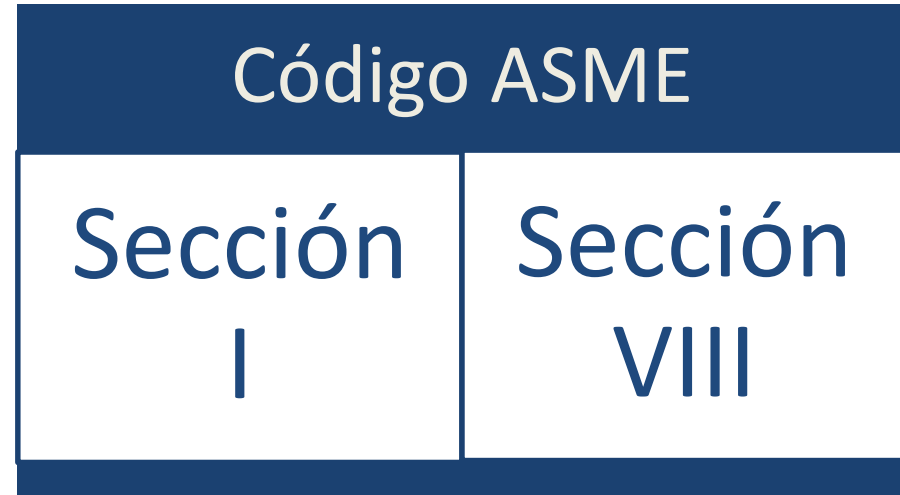
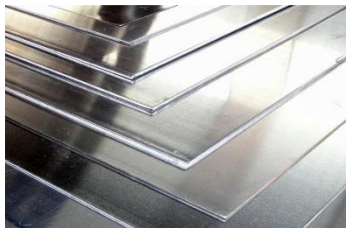
DISEÑO MECÁNICO

- Parámetros
- Selección de materiales

Presión de diseño: 30 psi

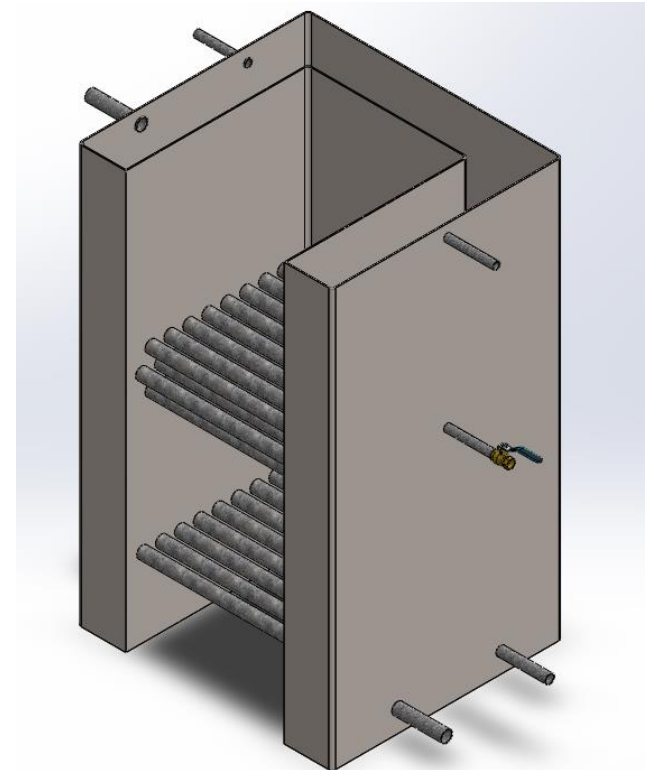
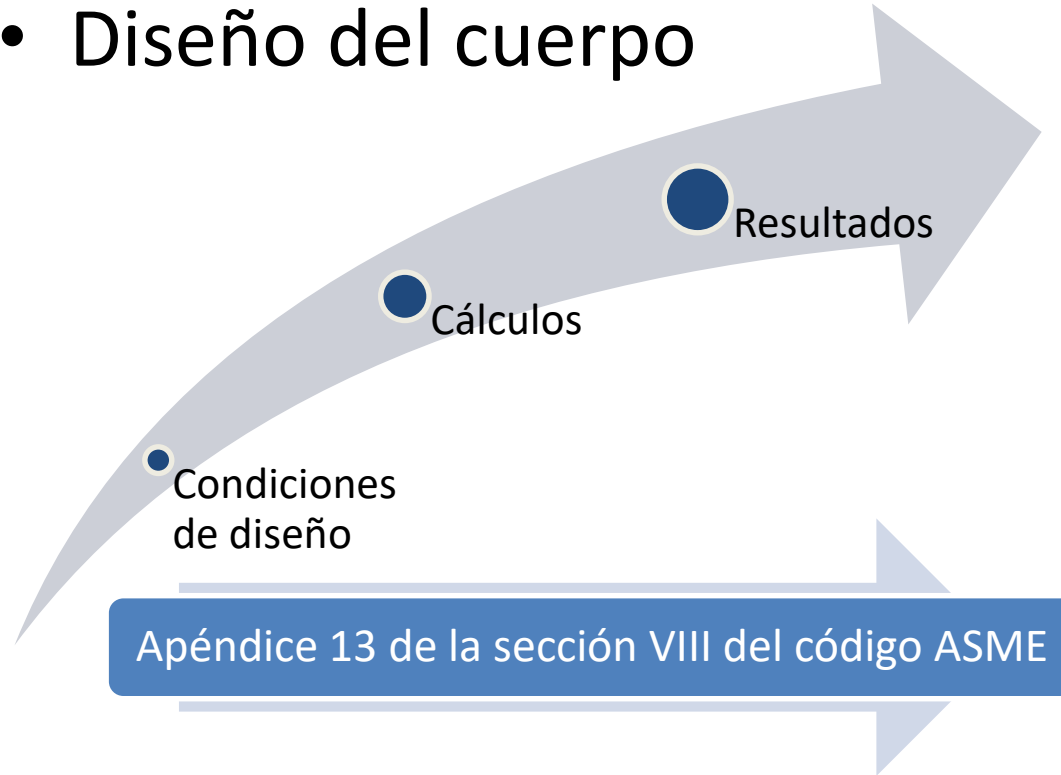
Temperatura de operación: 90°C

Fluido de trabajo: Agua potable



DISEÑO MECÁNICO

- Diseño del cuerpo



DISEÑO MECÁNICO

- Condiciones de diseño

$P = 30 \text{ psi}$	Presión de diseño según UG-21
$t_d = 650 \text{ }^\circ\text{F}$	Temperatura de diseño
$t_1 = 0.118 \text{ in}$	Espesor de placa corta del recipiente
$t_2 = 0.118 \text{ in}$	Espesor de placa larga del recipiente
$h = 26.38 \text{ in}$	Dimensión lado placa larga
$H = 5.51 \text{ in}$	Dimensión lado placa corta
$S_{inox} = 12000 \text{ psi}$	SA-240 Grado 304 según Handbook Pressure Vessel Design, Tabla: Propierties of materials stainless steel



DISEÑO MECÁNICO

- Esfuerzo de membrana

$$S_{m1} = \frac{Ph}{2t_1} = 3353.39 \text{ psi}$$

$$S_{m2} = \frac{PH}{2t_2} = 700.42 \text{ psi}$$

- Esfuerzo de flexión

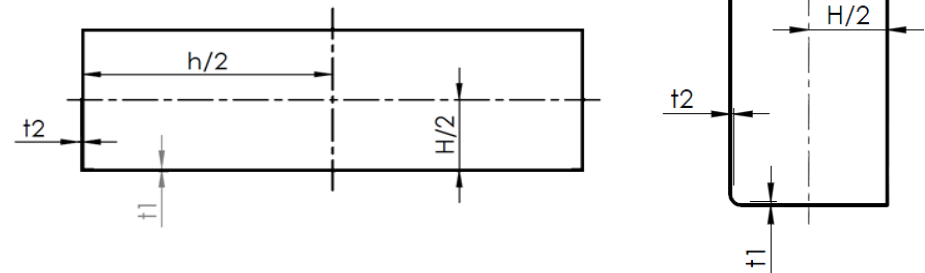
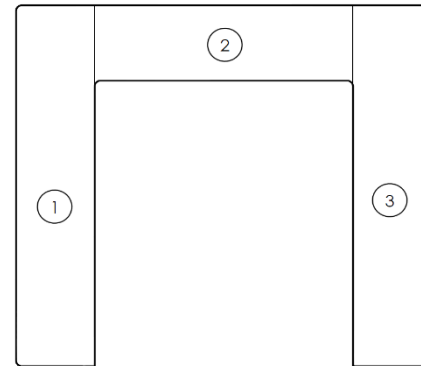
$$S_{bN} = \frac{Pc}{12I_1} \left[-1.5H^2 + h^2 \left(\frac{1 + \alpha^2 K}{1 + K} \right) \right] = -2965.30 \text{ psi}$$

$$S_{bQ1} = \frac{Ph^2c}{12I_1} \left(\frac{1 + \alpha^2 K}{1 + K} \right) = 5938.40 \text{ psi}$$

- Esfuerzo total

$$ST_N = S_{m1} + S_{bN} = 338.09 \text{ psi}$$

$$ST_{Q1} = S_{m1} + S_{bQ1} = 9291.79 \text{ psi}$$



DISEÑO MECÁNICO

- Según el apéndice 13 de la sección VIII del código ASME

$S = 12000 \text{ psi}$ Resistencia del material

$E_j = 0.7$ Eficiencia de la junta

$$SE_j = 8400 \text{ psi}$$

$$1.5SE_j = 12600 \text{ psi}$$

$$ST_M = 699.25 \text{ psi}$$

$$ST_M < 1.5SE_j$$

$$ST_{Q1} = 9291.79 \text{ psi}$$

$$ST_{Q1} < 1.5SE_j$$

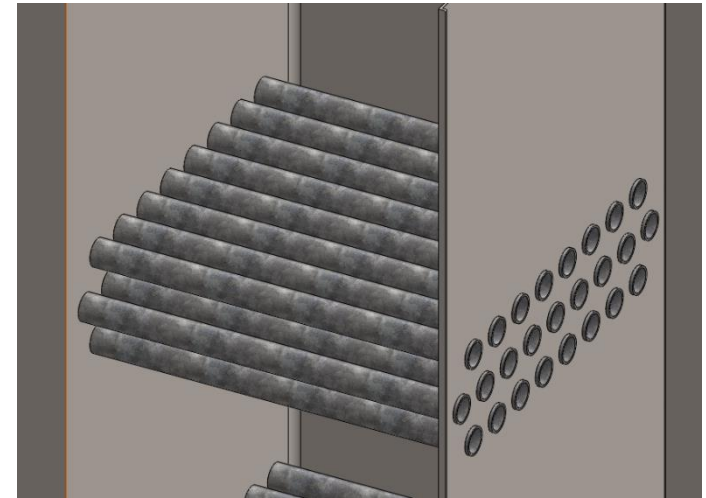
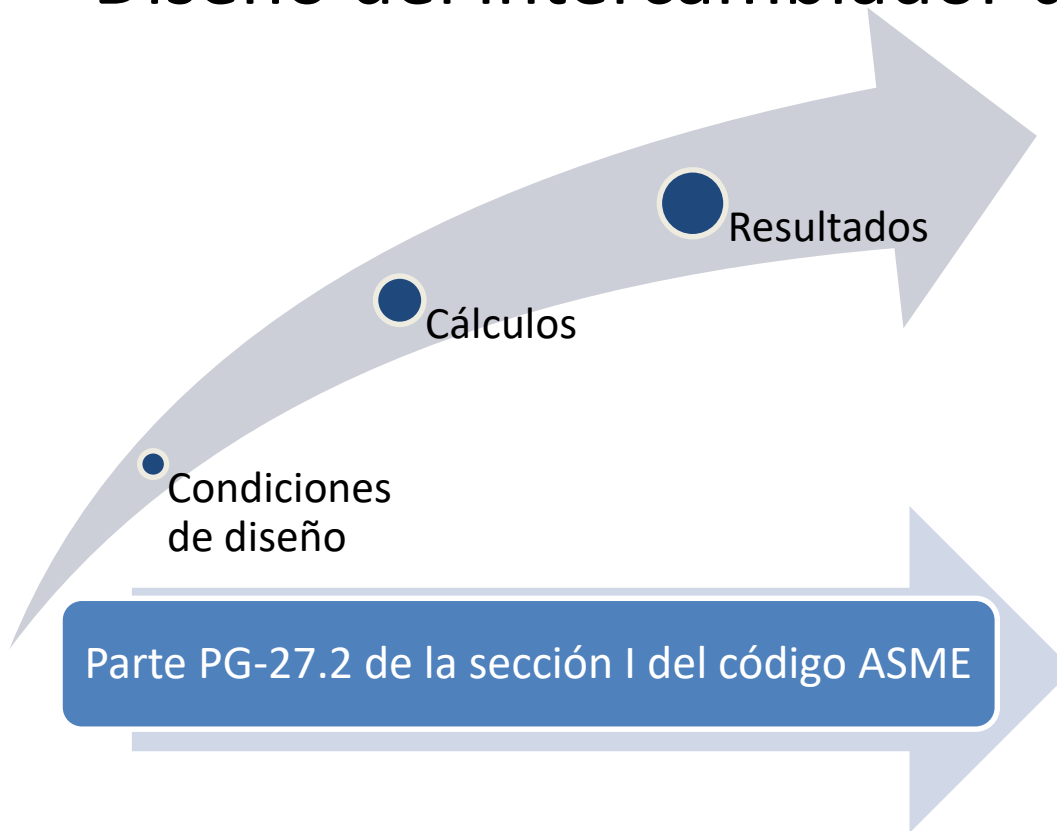
EFICIENCIA DE LA JUNTA (UW-12)

E / Rx		
1	FULL	TOTAL
0.85	SPOT	POR PUNTOS
0.7	NONE	NO



DISEÑO MECÁNICO

- Diseño del intercambiador de calor



DISEÑO MECÁNICO

- Condiciones de diseño

$P_d = 30 \text{ psi}$	Presión de diseño para los tubos
$t_d = 650 \text{ }^\circ\text{F}$	Temperatura de diseño
$S_t = 15300 \text{ psi}$	Resistencia ultima del material (Según tabla: 2ª Sección IID)
$D = 1 \text{ in}$	Diámetro externo de los tubos
$E_{jt} = 1$	Eficiencia de la junta para tubos (Según PG27.4.1)
$y = 0.4$	Coefficiente de temperatura (Según PG.27.4.6)
$C_t = 0.02 \text{ in}$	Tolerances mechanics (Seguin PG 27.4.3)

Norma de Fabricación:

NTE INEN 2470
ISO R65 SERIE LIVIANA II
6 [m]

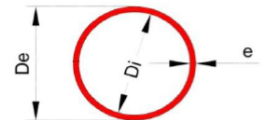
Largo:

Recubrimiento:

Negro o Galvanizado.

Extremos:

Con rosca NPT/BSP y tapas



- Espesor mínimo de los tubos

$$t_{ic} = \frac{P_d D}{2(S_t E_{jt} + P_y)} + c_t = 0.021 \text{ in}$$

$$t_{ic} = 0.541 \text{ mm}$$

Denominación	Diámetro Exterior	Espesor	Área	Perímetro Exterior	Momento de Inercia	Módulo Resistente	Presión de Prueba Grado A
$\emptyset D_i \times \text{Peso/m}$	D_e	e	A	P_r	I	W	
[plgd x kgf/m]	mm	mm	mm ²	mm	[mm ⁴]	[mm ³]	[MPa]
\emptyset 1/2 x 0,952	21,3	2,00	121	66,9	5.707	121	4,92
\emptyset 3/4 x 1,42	26,9	2,35	181	84,5	13.780	181	4,92
\emptyset 1 x 2,03	33,7	2,65	258	105,9	31.379	258	4,92
\emptyset 1 1/4 x 2,60	42,4	2,65	331	133,2	65.651	331	4,92



DISEÑO TÉRMICO

- En el diseño térmico del sistema de combustión de biomasa se analiza la cámara de combustión y el intercambiador de calor tomando como referencia valores de los resultados de proyectos anteriores como “ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO ENERGÉTICO Y MEJORA EN EL RENDIMIENTO DE UN BIOCALEFÓN DE APLICACIÓN MÚLTIPLE POR COMBUSTIÓN DE BIOMASA SECA” de los autores: Ing. Luis Sandro Chiliquinga Cando.
- Parámetros iniciales de diseño

$t_{cal} = 1.5 \text{ hr}$	Tiempo de calentamiento
$M_a = 300 \text{ kg}$	Masa de agua
$T_{sat} = 92 \text{ }^\circ\text{C}$	Temperatura de saturación
$T_{red} = 18 \text{ }^\circ\text{C}$	Temperatura de red de agua potable
$C_p = 4183 \frac{\text{J}}{\text{kg}^\circ\text{C}}$	Calor específico según tabla A-9, (Cengel, 2011)
$T_a = 21 \text{ }^\circ\text{C}$	Temperatura ambiente



DISEÑO TÉRMICO

- Flujo de calor útil

$t_{cal} = 1.5 \text{ hr}$	Tiempo de calentamiento
$M_a = 300 \text{ kg}$	Masa de agua
$T_{sat} = 92 \text{ }^\circ\text{C}$	Temperatura de saturación
$T_{red} = 18 \text{ }^\circ\text{C}$	Temperatura de red de agua potable
C_p $= 4183 \frac{\text{J}}{\text{kg}^\circ\text{C}}$	Calor específico según tabla A-9, (Cengel, 2011)
$T_a = 21 \text{ }^\circ\text{C}$	Temperatura ambiente

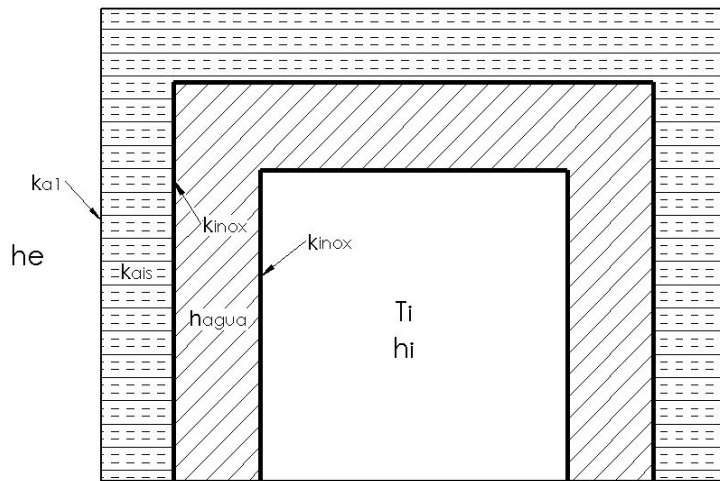
$$Q_u = \frac{M_a}{t_{cal}} C_p (T_{sat} - T_{red})$$

$$Q_u = 17196.78 \text{ W} = 61908,4 \frac{\text{kJ}}{\text{hr}}$$



DISEÑO TÉRMICO

- Distribución de las paredes del biocalefón



$e_{inox} = 3 \text{ mm}$	Espesor de la placa de acero inoxidable
$e_{ais} = 50 \text{ mm}$	Espesor del aislante térmico (lana de roca)
$e_a = 1 \text{ mm}$	Espesor de la palca del recubrimiento (Acero negro)
k_{inox} $= 16 \frac{W}{m^{\circ}C}$	Constante de conductividad térmica del acero inoxidable
$k_a = 65 \frac{W}{m^{\circ}C}$	Constante de conductividad térmica del acero
k_{ais} $= 0.033 \frac{W}{m^{\circ}C}$	Constante de conductividad térmica del aislante
V_{viento} $= 1.9 \frac{m}{s}$	Velocidad del viento
$HSP = 4.02 \text{ hr}$	Horas sol pico según NASA.com



DISEÑO TÉRMICO

- Pérdidas de calor

Calor perdido por paredes (W)	$Q_{p1} = 268.029 \text{ W}$
Calor perdido por el sistema de resistencias (W)	$Q_{p2} = 214.043 \text{ W}$
Calor perdido por gases de combustión (kW)	$Q_{p.gases} = 4.52 \text{ kW}$
Calor perdido total	$Q_{pTotal} = 5.006 \text{ kW}$

- Calor ganado y calor útil

Calor Ganado (kW)	$Q = 6.012 \text{ kW}$
-------------------	------------------------



DISEÑO TÉRMICO

- Colectores solares
- Los colectores solares se los diseñó en base al diseño existente pero acoplándolo a los parámetros de nuestro sistema híbrido.

Parámetros iniciales de diseño:

$T_a = 21\text{ }^{\circ}\text{C}$	Temperatura ambiente
$T_c = 70\text{ }^{\circ}\text{C}$	Temperatura de la cubierta de vidrio
$T_p = 118\text{ }^{\circ}\text{C}$	Temperatura de placa color negra mate
$T_b = 28\text{ }^{\circ}\text{C}$	Temperatura de base del colector



DISEÑO TÉRMICO

$v = 0.6 \frac{m}{s}$	Velocidad del viento
$L_{pc} = 0.04 m$	Separación entre placa y cubierta
$\beta = 15 ^\circ C$	Inclinación de los colectores
$g = 9.81 \frac{m}{s^2}$	Aceleración de la gravedad
$\beta_{aire} = \frac{1}{T_{mpc}}$	Coeficiente de expansión volumétrica interior
$A_c = 10.54 m^2$	Área total de colectores planos
$W_a = 0.1 m$	Separación entre tubos
$D = 0.0157 m$	Diámetro exterior del tubo de cobre
$D_i = 0.0127 m$	Diámetro interior del tubo de cobre

Eficiencia de Colectores

$$\eta = \frac{Q_u}{I_g A}$$



CONSTRUCCIÓN

- Construcción

Listado de materiales

- Listado de herramientas y equipos

Diagramas de proceso

- Planos constructivos

Fabricación



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

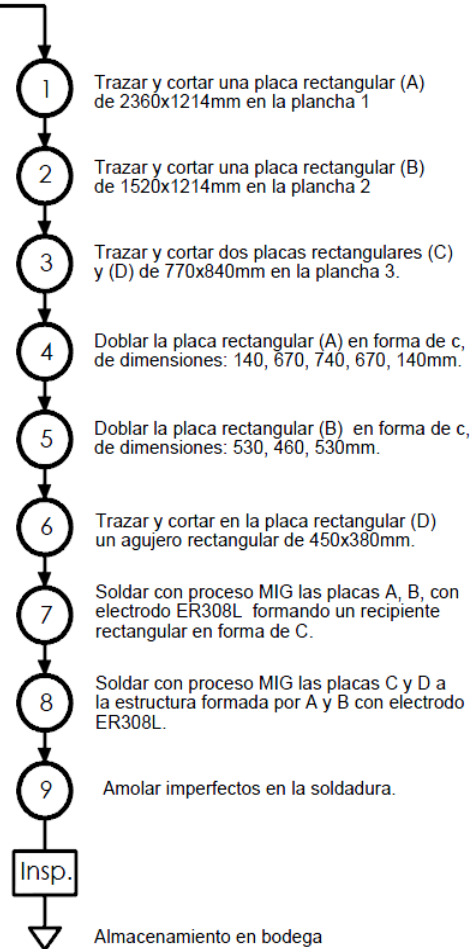
Materiales utilizados

	DESCRIPCIÓN	APLICACIÓN
	Planchas de acero inoxidable AISI 304	Cuerpo del caldero
	Planchas de acero negro ASTM A366	Recubrimiento
	Planchas de acero negro ASTM A366	Chimenea
	Planchas de acero negro ASTM A36	Recubrimiento frontal y puertas
	Tubo cuadrado de ASTM A500	Soporte (50x50x2m)
	Tubo redondo de 3"x2mm ASTM A500	Tubo de salida de gases
	Tubo galvanizado de Ø1" ISO-65	Intercambiador de calor
	Tubo y accesorios de cañería de 3/4"	Conexiones del sistema
	Ángulo de 20x20x2mm ASTM A36	Estructura de puertas CC
	Electrodos E6011	Uniones comunes
	Electrodos AWS ER308L	Uniones del cuerpo
	Termocuplas tipo K	Medición de temperatura
	Sensor DHT11, MPX5700GP, Nivel	Medición de temp. ambiente
	Arduino Mega 2560	Lectura de datos
	Bomba Paolo Q:40 l/min	Potencia fluido en el equipo
	Lana mineral (lana de roca)	Aislante térmico

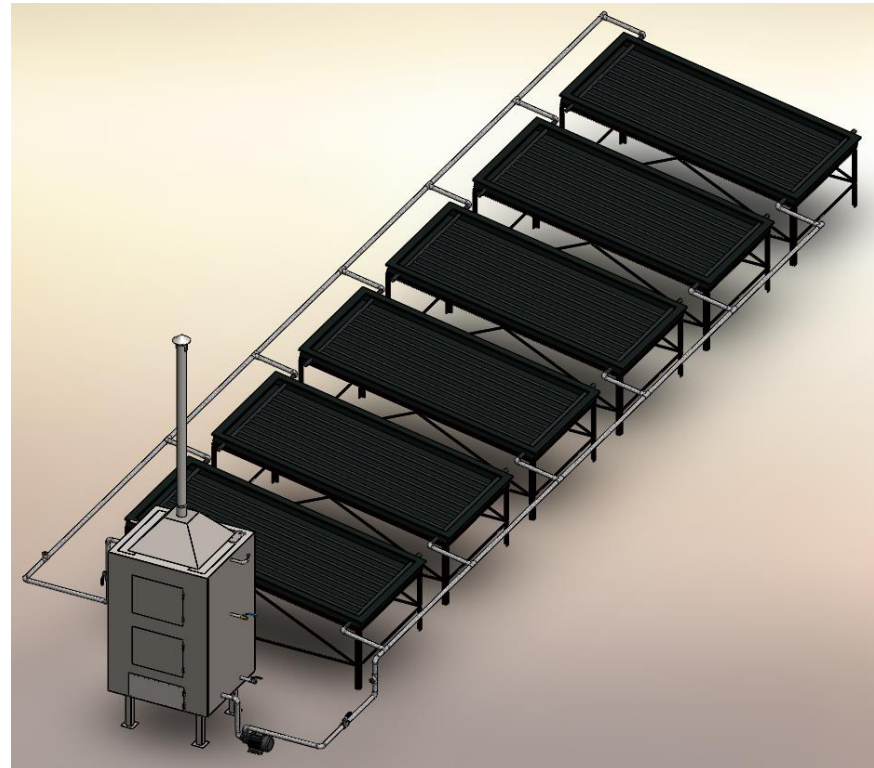
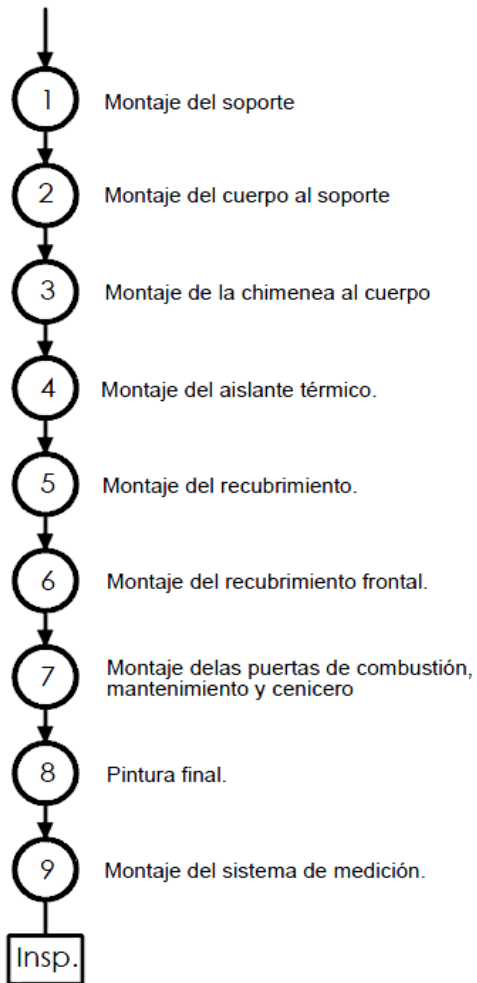


Diagramas de proceso

3 Planchas de 2440x1220x3mm
Acero inoxidable AISI 304



ENSAMBLAJE



ENSAMBLAJE



ENSAYOS

- Parámetros a medir

Temperatura ambiente y humedad relativa

Temperaturas en la entrada y salida al sistema de colectores planos

Temperaturas en la cámara de combustión

Temperatura en la salida de gases

Temperatura interna del agua

Presión interna del recipiente

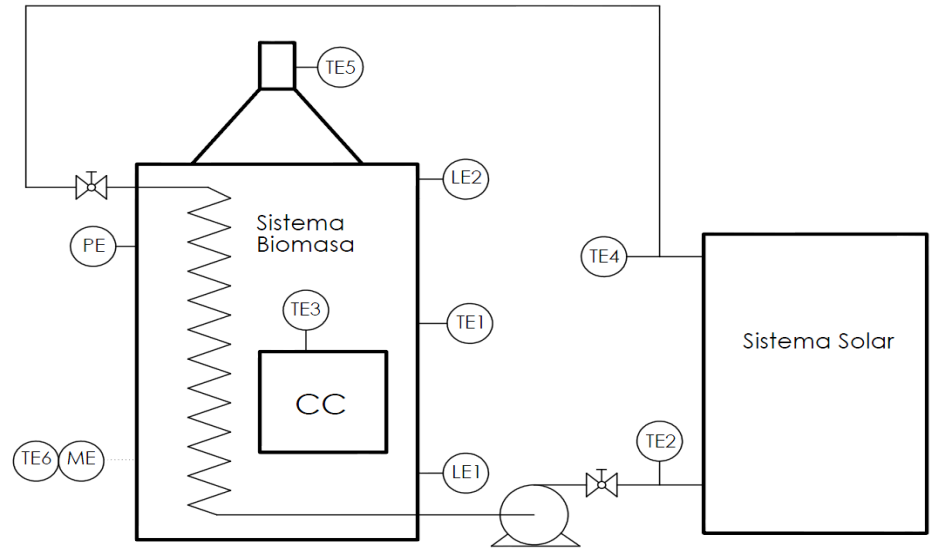
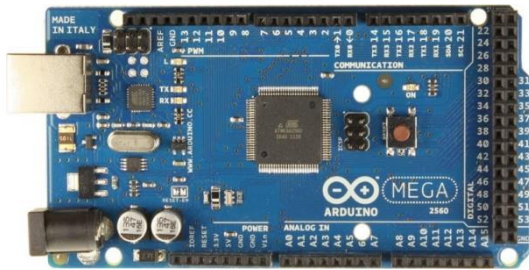
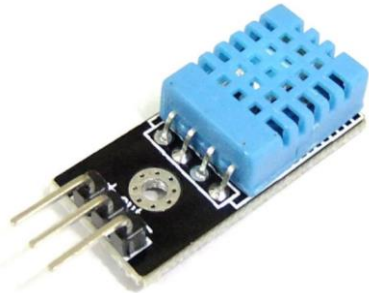
Velocidad del viento

Radiación global



ENSAYOS

- Instrumentación



ENSAYOS

- Sistema de combustión de biomasa

Datos del ensayo de combustión de biomasa EB-2.

ENSAYO: EB-2		FECHA: 27/09/2016		Peso biomasa: 3.5kg			Tipo: Eucalipto		
ORDEN	HORA	TIEMPO	RECIPIENTE				AMBIENTE		
			T1(Ag) (°C)	T3(CC) (°C)	T5(SG) (°C)	P (PSI)	Ta (°C)	Hr %	V (m/s)
1	11:15	0	22,48	26,88	166,67	0,26	14	42	0,3
2	11:20	5	24,63	54,74	203,32	0,29	17	49	0,3
3	11:25	10	26,48	53,27	166,67	0,07	14	47	0,30
4	11:30	15	32,30	222,87	166,18	0,15	16	51	0,12
5	11:35	20	36,14	343,11	222,87	0,22	17	52	0,03
6	11:40	25	40,34	328,93	232,16	0,18	17	53	0,01
7	11:45	30	48,65	305,57	194,04	0,18	14	52	0,18
8	11:50	35	54,48	267,84	164,71	0,07	17	52	0,22
9	11:55	40	58,74	294,23	181,33	0,18	15	50	0,14
10	12:00	45	60,38	422,29	221,90	0,26	18	51	0,04
11	12:05	50	67,49	343,60	229,72	0,33	15	49	0,18
12	12:10	55	69,10	408,60	236,56	0,51	20	50	0,13
13	12:15	60	70,87	397,85	191,10	0,51	18	47	0,01



ENSAYOS

- Sistema de colectores planos

Datos del ensayo de captadores planos ES-3.

ENSAYO: ES-3 FECHA: 29/09/2016 Tiempo de llenado: 10min

ORD.	HORA	TIEMPO	RECIENTE		COLECTORES		RADIACIÓN	AMBIENTE		
			T1(Ag) (°C)	P (PSI)	T2(EC) (°C)	T4(SC) (°C)	Ig (W/m ²)	Ta (°C)	Hr %	V m/s
1	9:30	0	22,81	0,29	25,28	35,23	395	22	34	1,09
2	9:35	5	23,46	0,29	27,37	35,72	405	24	34	0,26
3	9:40	10	23,99	0,26	29,1	36,79	407	25	33	0,28
4	9:45	15	23,02	0,29	24,21	37,67	410	22	22	0,69
5	9:50	20	24,74	0,37	31,54	38,16	530	24	32	0,18
6	9:55	25	24,53	0,37	37,63	47,67	538	25	31	0,2
7	10:00	30	25,9	0,44	30,79	47,67	542	26	30	0,28
8	10:05	35	25,19	0,4	32,26	48,65	565	25	30	1,01
9	10:10	40	28,3	0,4	45,94	49,79	537	25	30	0,72
10	10:15	45	33,99	0,44	43,99	52,63	555	26	30	0,58
11	10:20	50	30,12	0,37	43,5	55,63	562	26	30	0,61
12	10:25	55	35,83	0,4	32,75	53,63	543	26	30	0,01
13	10:30	60	37,37	0,44	37,15	58,16	445	26	30	0,91

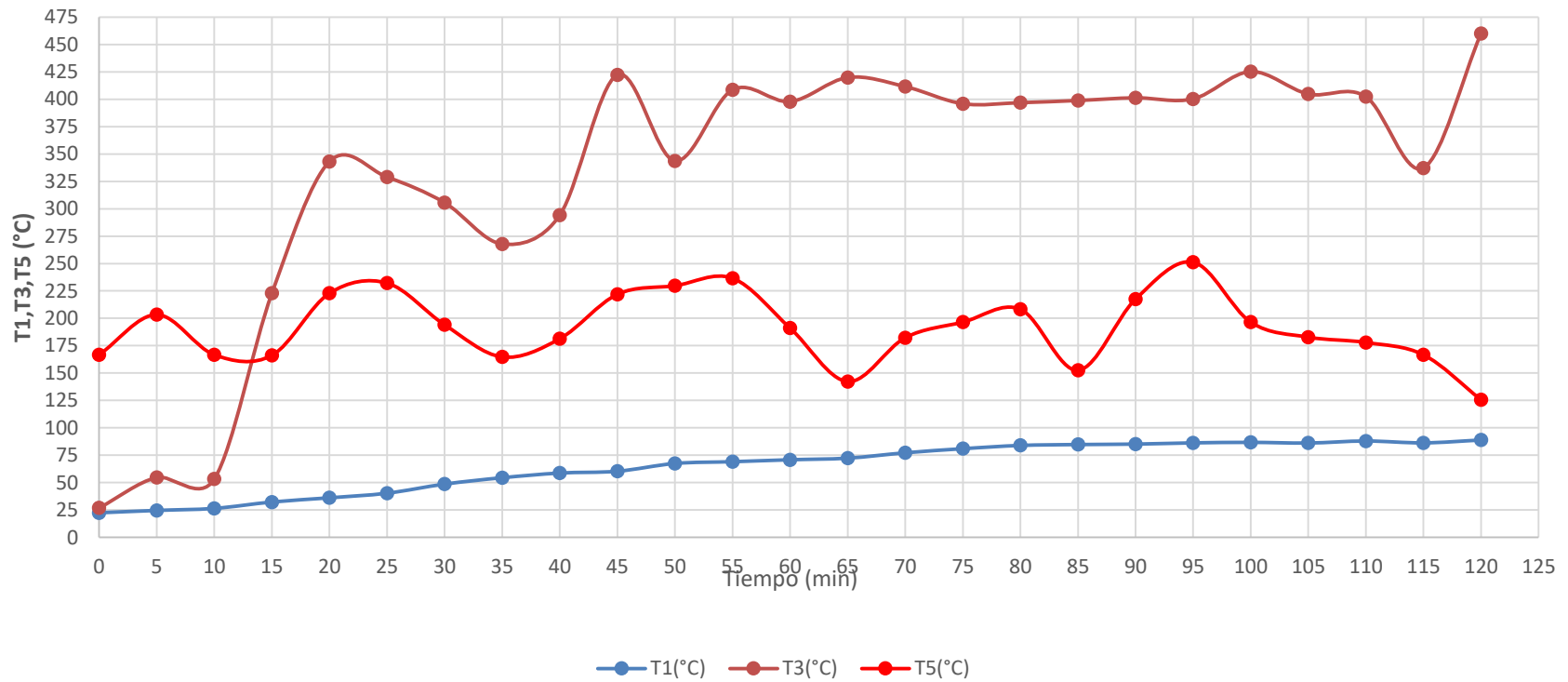


Análisis de Resultados Sistema de combustión de biomasa

- Utilizando el ensayo EB-2, de mayor relevancia en los experimentos de funcionamiento del Sistema Híbrido, se obtienen los resultados de temperatura de agua T_1 temperatura de Cámara de combustión T_3 , temperatura de salida de gases T_5 , temperatura ambiente T_a , Humedad relativa Hr, Velocidad del viento V y Presión interna dentro del depósito de agua P, variables que se miden durante el tiempo de funcionamiento del sistema biomasa cerrado el ingreso de agua al otro sistema.
- Para determinar la velocidad del viento se procedió a medir con el anemómetro durante el ensayo realizado el 27 de septiembre de 2016 y el valor promedio fue de 0.19 m/s.
- El promedio de la presión interna en el recipiente fue de 0,36 PSI con un valor mínimo de 0,07 PSI y un valor máximo de 0,66 PSI.



Temperatura de Agua, Temperatura de cámara de combustión, Temperatura de salida de gases vs el tiempo de calentamiento.



Temperatura de Agua, Temperatura de cámara de combustión,
Temperatura de salida de gases vs el tiempo de calentamiento.



Análisis de Resultados Sistema de combustión de biomasa

- Calor de combustión

$\dot{m}_c = 3.5 \text{ kg}$	Masa de la biomasa
PCI $= 4500 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}}$	Poder calorífico inferior
$t_{cal} = 2 \text{ h}$	Tiempo de quema de la biomasa

$$q_{com} = \dot{m}_c PCI$$

$$q_{com} = \left(\frac{3.5 \text{ Kg}}{2 \text{ h}} \right) \left(18828 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}} \right)$$

$$= 32949 \frac{\text{KJ}}{\text{h}} = 9.15 \text{ Kw}$$

$$q_{com} = 26.77 \text{ Kw}$$



Análisis de Resultados Sistema de combustión de Biomasa

- Flujo de calor útil

$t_{cal} = 2 \text{ hr}$	Tiempo de calentamiento
$M_a = 300 \text{ kg}$	Masa de agua
$T_{sat} = 88.89 \text{ }^\circ\text{C}$	Temperatura máxima en el ensayo
$T_{red} = 22 \text{ }^\circ\text{C}$	Temperatura del inicial del agua
$C_p = 4183 \frac{\text{J}}{\text{kg}^\circ\text{C}}$	Calor específico según tabla A-9, apéndice 1 Cengel

$$Q_u = \frac{M_a}{t_{cal}} C_p (T_{sat} - T_{red})$$

$$Q_u = 41970.1 \frac{\text{kJ}}{\text{h}} = 11.65 \text{ kW}$$



Análisis de Resultados Sistema de combustión de Biomasa

- Pérdidas de calor

Calor perdido por paredes (W)	$Q_{p1} = 245.32 W$
Calor perdido por el sistema de resistencias (W)	$Q_{p2} = 164.41 W$
Calor perdido por gases de combustión (kW)	$Q_{p.gases} = 5.97 kW$
Calor perdido total	$Q_{pTotal} = 6.38 kW$

- Eficiencia

Eficiencia de la combustión de biomasa	$\eta = 0.43$
--	---------------



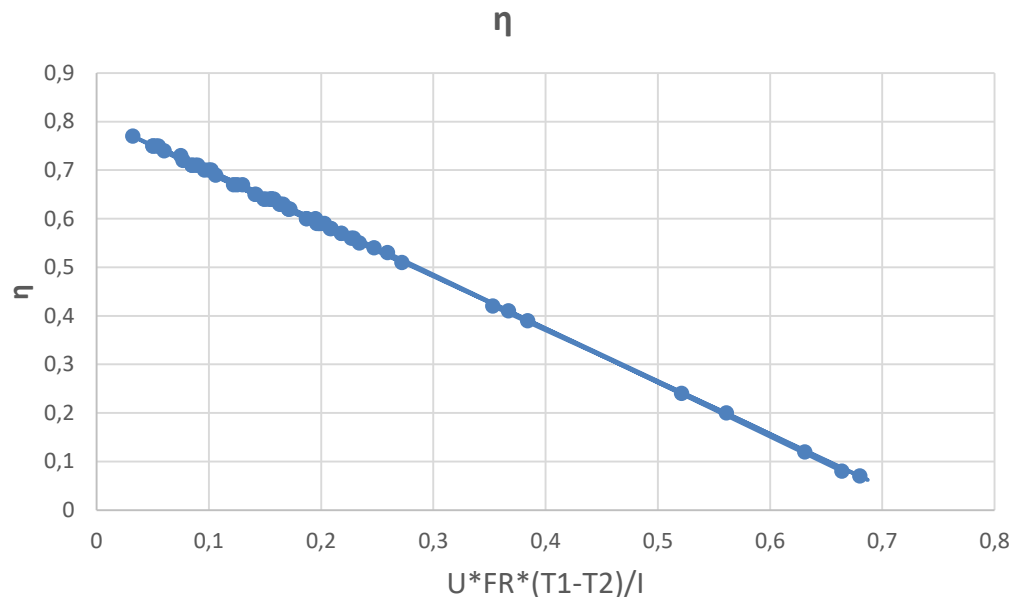
Análisis de resultados en el Sistema de colectores Solares

- Utilizando el ensayo ES-3, de mayor relevancia en los experimentos de funcionamiento del Sistema Híbrido, se obtienen los resultados de temperatura de agua T_1 temperatura de entrada de agua a colectores T_2 , temperatura de salida de agua de los colectores T_4 , temperatura ambiente T_a , Irradiación solar I_g Humedad relativa H_r , Velocidad del viento V y Presión interna dentro del depósito de agua P . variables que se miden durante el tiempo de funcionamiento.
- Considerando otros parámetros como el viento tenemos un valor promedio de 0.6 m/s, un promedio de la presión interna del recipiente de 0.39 PSI.
- Para determinar la velocidad del viento se procedió a medir con el anemómetro durante el ensayo realizado el 29 de septiembre de 2016.



Análisis de resultados en Colectores solares

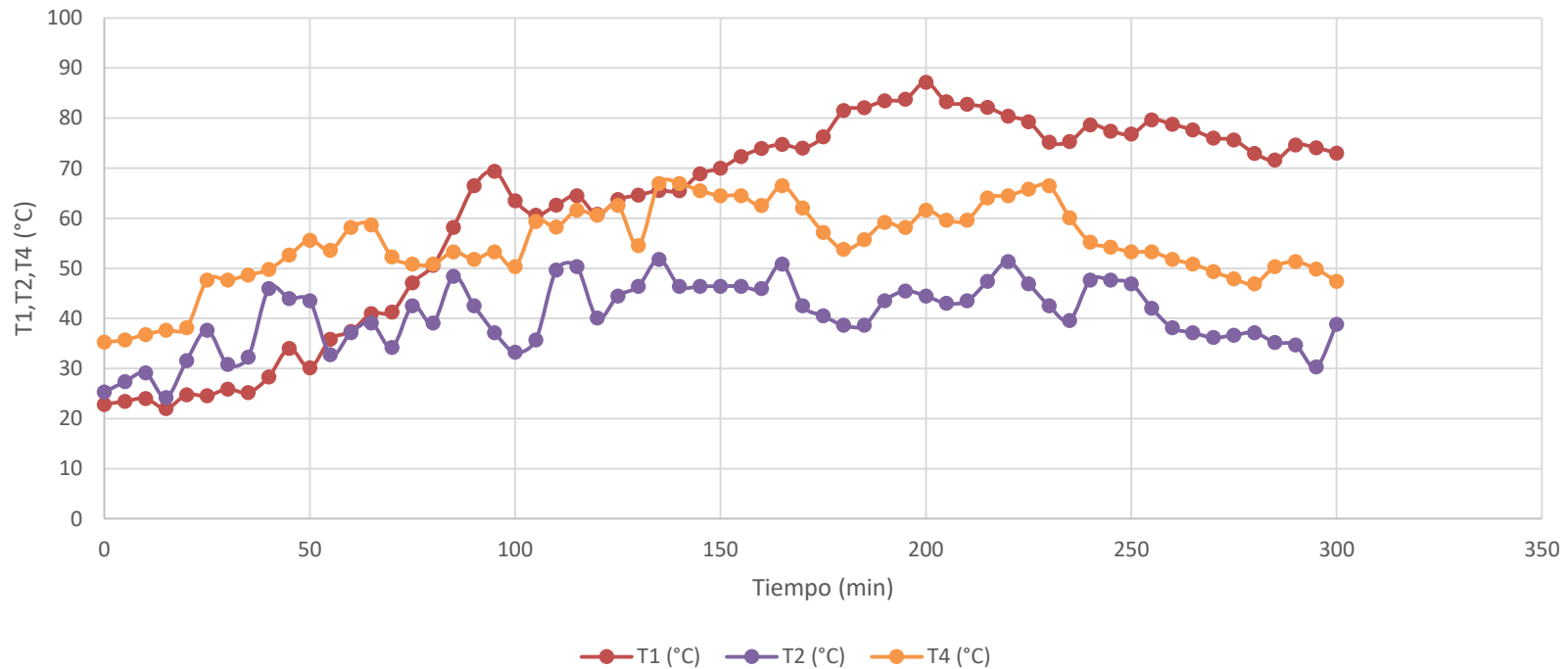
- Eficiencia vs $U \cdot \frac{(T_h - T_a)}{I_d}$



En la figura se tiene la eficiencia del sistema energético de colectores, la gráfica varía linealmente para cualquier valor de radiación incidente, se tiene 59 % como valor promedio.



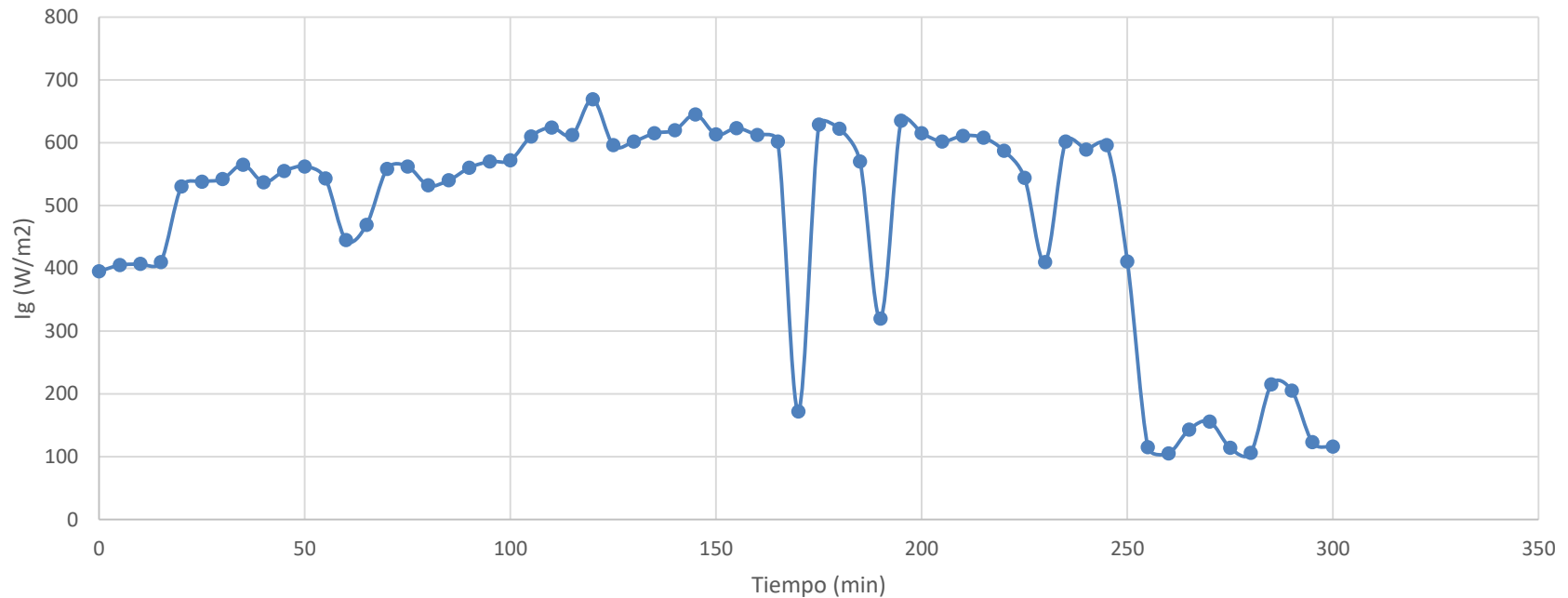
Análisis de resultados en Colectores solares



Temperatura de Agua, Temperatura de entrada de agua a colectores, Temperatura de salida de agua de los colectores vs el tiempo de calentamiento.



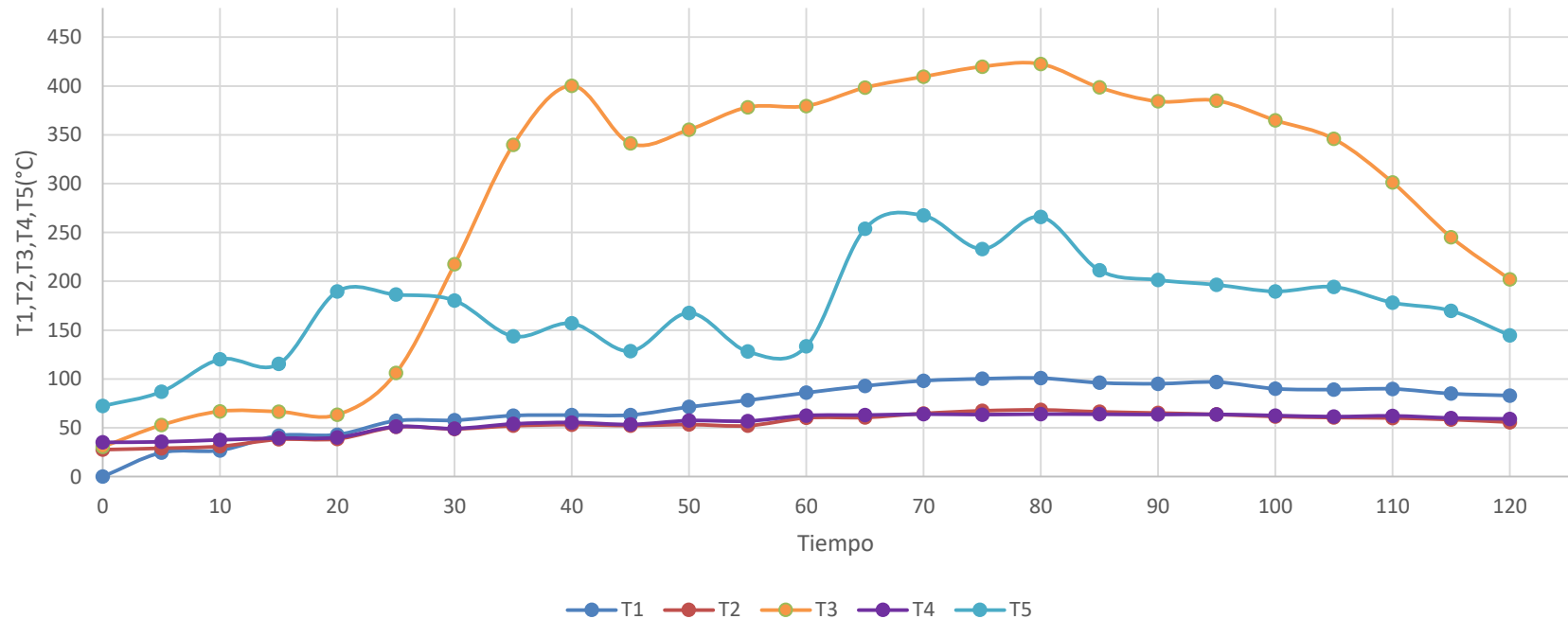
Análisis de resultados en el Sistema de captadores solares



Irradiación solar vs Tiempo (sistema captadores solares)



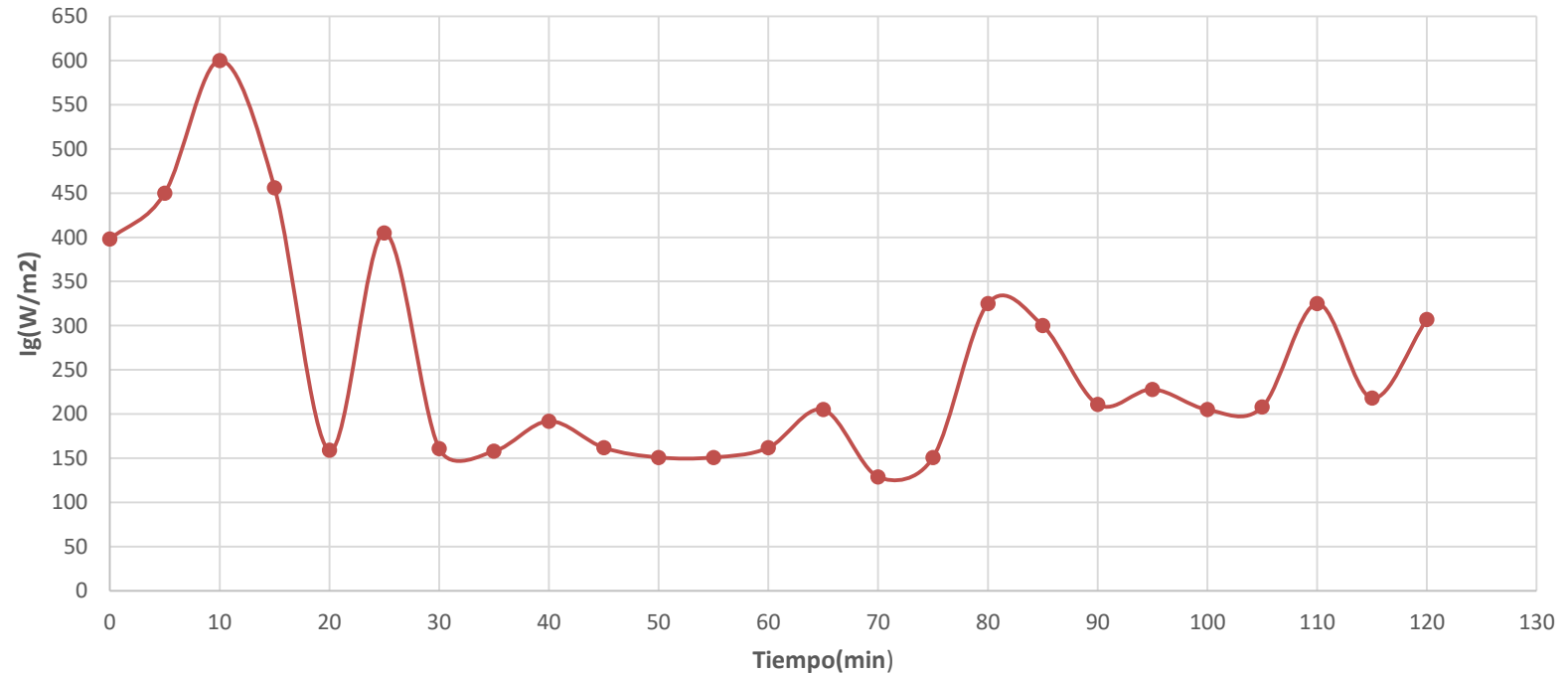
Análisis de resultados en el Sistema Híbrido



Temperatura de Agua, Temperatura de entrada de agua a colectores, Temperatura de cámara de combustión, Temperatura de salida de agua de los colectores, Temperatura de salida de gases, vs el tiempo de calentamiento.



Análisis de resultados en el Sistema Híbrido



Irradiación solar vs Tiempo (sistema híbrido)



ANÁLISIS DE COSTOS

- **Costos directos totales**

ORD.	DESCRIPCIÓN	V. TOTAL
1	Costos elementos mecánicos	725,57
2	Costos elementos electrónicos	124,69
3	Costos de accesorios de tubería	58,08
4	Costos de mano de obra	797,07
	TOTAL	1705,41

- **Costos indirectos**

ORD.	DESCRIPCIÓN	V. TOTAL
1	Transporte	60
2	Servicios básicos	40
3	Suministros de oficina	30
4	Varios	20
	TOTAL	150



ANÁLISIS DE COSTOS

- Costo Total

ORD.	DESCRIPCIÓN	V. TOTAL
1	Costos directos totales	1705,41
2	Costos indirectos	150
	TOTAL	1855,41



CONCLUSIONES

- Con los datos tomados del ensayo más representativo en el análisis térmico realizado en el sistema de combustión de biomasa el calor útil obtenido fue de 11.65 kW y el calor perdido fue de 6,38 kW dando un calor ganado por el sistema de 5,27 kW. Las pérdidas de calor que se dan en el sistema en orden descendente son: por los gases de combustión se pierde 5,97 kW, por paredes 245,32 W, calor perdido por el frente 164,41W.
- Con los datos tomados del ensayo más representativo en el sistema de colectores solares y realizando el análisis térmico respectivo se obtuvo un calor útil de 5,21 kW.



CONCLUSIONES

- En el proceso de funcionamiento de colectores se obtuvo que en un día con una radiación solar promedio de 481 W/m^2 , el agua se calentó desde una temperatura de $22,81^\circ \text{ C}$ hasta $87,15^\circ \text{ C}$ en un tiempo de cinco horas, aunque alcanzando una temperatura de 42° C en un tiempo de una hora y 10 minutos, que es un valor suficiente para el confort en el uso doméstico.
- En el proceso de funcionamiento para calentamiento de 300 litros de agua del sistema de combustión de biomasa se utilizó 3.5 kg en todos los ensayos, los datos del ensayo más representativo arrojaron que el agua se calentó desde $22,48^\circ \text{ C}$ llegando a una temperatura de $88,89^\circ \text{ C}$ en dos horas, y la cámara de combustión estuvo a una temperatura promedio de $344,60^\circ \text{ C}$.



CONCLUSIONES

- Para el análisis energético en el sistema se instaló la instrumentación para medir variables físicas como: temperaturas, velocidad del viento, humedad relativa del aire, Temperatura ambiente, irradiación solar. Con la utilización de una tarjeta Arduino 2560 para recolección de datos.
- En la ubicación geográfica del Ecuador principalmente la provincia de Pichincha, ya que se encuentra en latitud cero, la radiación solar es muy favorable en esta ubicación para este sistema térmico, el sistema de captadores tiene una inclinación de 15° . Para otras ubicaciones geográficas se debe analizar la inclinación de los captadores.



RECOMENDACIONES

- Es necesario seguir con las investigaciones tecnológicas relacionadas con el desarrollo de sistemas que aprovechen energías renovables. Para el caso de nuestro país donde se desea fomentar el cambio de la matriz energética, ya que el presente proyecto es un precedente de investigación donde se usan dos fuentes de energía renovable.
- En el presente proyecto el suministro de leña se lo realiza manualmente, por lo que se plantea realizar estudios futuros para la implementación de un sistema para que este proceso mencionado sea automatizado.



RECOMENDACIONES

- Para un mejor funcionamiento del sistema de captadores solares es recomendable que los colectores estén orientados hacia el sur y tener un ángulo de inclinación de 10 a 15° , con el fin de aprovechar al máximo la radiación solar en esta época del año.
- Se recomienda que la biomasa que se queme tenga un contenido de humedad menor al 20%, ya que trabajando con exceso de aire se puede tener emisiones de gases contaminantes como el CO.
- Se recomienda instalar los colectores solares con una separación de 50cm uno del otro, con fines de comodidad al momento de realizar el mantenimiento de los mismos.



GRACIAS



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA