



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA

“Estudio técnico, económico y financiero de implementación de colectores planos solares para calentar el agua de alimentación de la caldera pirotubular Apin, reduciendo los costos de consumo de petróleo industrial N°6 en la empresa Alicorp S.A.A. – Trujillo.”

TESIS PARA OBTENER GRADO DE INGENIERO MECÁNICO

AUTOR

Yauce Milian, Alexander Benigno.

ASESOR ESPECIALISTA

Ing. Felipe de la Rosa Bocanegra.

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

Generación, transmisión y distribución

TRUJILLO – PERÚ

2015

“ESTUDIO TÉCNICO, ECONÓMICO Y FINANCIERO DE IMPLEMENTACIÓN DE COLECTORES PLANOS SOLARES PARA CALENTAR EL AGUA DE ALIMENTACIÓN DE LA CALDERA PIROTUBULAR APIN, REDUCIENDO LOS COSTOS DE CONSUMO DE PETRÓLEO INDUSTRIAL N°6 EN LA EMPRESA ALICORP S.A.A. – TRUJILLO.”

Yauce Milian, Alexander Benigno

Autor

Presentada a la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad César Vallejo de Trujillo para su aprobación.

Ing. Jorge Adrián Salas Ruiz

Presidente

Ing. Jorge Antonio Inciso
Vásquez

Secretario

Ing. Felipe Eduardo de La Rosa
Bocanegra

Vocal

TRUJILLO – PERÚ

2015

~ 2 ~

DEDICATORIA

Reconozco el esfuerzo y la valentía que me inculcaron mis padres para haber podido llegar hasta esta etapa de mi vida, todo su esfuerzo y sacrificio junto al mío está dedicado en este trabajo, inspirado por ellos y para ellos a quienes dedico con todo mi afecto.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por la vida, la salud, y la integridad física.

A mis padres: Cesar Yauce Pizarro y María Elena Milian Romero, por su apoyo moral y económico.

A mis amigos por cada momento compartido, que directa o indirectamente, siempre me dieron aliento para seguir adelante.

DECLARATORIA DE AUTENTICIDAD

Yo, Yauce Milian Alexander Benigno con DNI N° 45616025, a efecto de cumplir con las disposiciones vigentes consideradas en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad César Vallejo, Facultad de Ingeniería, Escuela Ingeniería Mecánica, declaro bajo juramento que todos los datos e información que se presenta en la presente tesis son auténticos y veraces.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas de la Universidad César Vallejo.

Trujillo, diciembre del 2015

Yauce Milian, Alexander Benigno

PRESENTACIÓN

Señores miembros del jurado, presento ante ustedes la tesis titulada *“ESTUDIO TÉCNICO, ECONÓMICO Y FINANCIERO DE IMPLEMENTACIÓN DE COLECTORES PLANOS SOLARES PARA CALENTAR EL AGUA DE ALIMENTACIÓN DE LA CALDERA PIROTUBULAR APIN, REDUCIENDO LOS COSTOS DE CONSUMO DE PETRÓLEO INDUSTRIAL N°6 EN LA EMPRESA ALICORP S.A.A. – TRUJILLO”*. En cumpliendo con el reglamento de grados y títulos de la Universidad César Vallejo, con el propósito de cumplir con los requisitos para obtener el Título profesional de Ingeniero Mecánico.

Por tanto, considero que el esfuerzo en el desarrollo del presente trabajo cumpla y satisfaga sus expectativas. Pongo a su consideración, este documento para su respectiva evaluación y de esta manera poder obtener su aprobación.

El Autor.

ÍNDICE	Pág.
RESUMEN_____	8
ABSTRACT_____	9
I. INTRODUCCIÓN	
1.1. Realidad Problemática_____	10
1.2. Trabajos previos_____	15
1.3. Teorías relacionadas al tema_____	17
1.4. Formulación del problema_____	32
1.5. Justificación del estudio_____	32
1.6. Hipótesis_____	33
1.7. Objetivos._____	33
II. MÉTODO	
2.1. Diseño de investigación_____	35
2.2. Variables, operacionalización_____	35
2.3. Población y muestra_____	37
2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad_____	37
2.5. Métodos de análisis de datos_____	37
	39
III. RESULTADOS_____	
IV. DISCUSIÓN_____	63
V. CONCLUSIÓN_____	65
VI. RECOMENDACIONES_____	67
VII. REFERENCIAS_____	68
ANEXOS_____	70

RESUMEN

La empresa Alicorp S.A.A, ubicada en la ciudad de Trujillo, departamento de La Libertad cuenta con un caldero pirotubular Apin de 400BHP para los procesos de transformación e intercambio de calor.

El caldero de 400BHP de potencia, genera 6.073 TM/h de vapor saturado, consumiendo 125.21 Gal/h de petróleo industrial N°6, debido a que el agua de alimentación ingresa a la caldera a 75°C, previamente calentada en un tanque de mezclado con agua de reposición y con el 90.9% del condensado a 80°C, recuperado de los principales procesos. Se determinó que el rendimiento energético actual del caldero es 79.65%.

Con la implementación de colectores planos solares calentando el agua de alimentación hasta 105°C se obtuvo un ahorro en el consumo de Petróleo industrial N°6 de 6.445 Gal/h con un mejor rendimiento energético de 81.36%.

Se determinó que los colectores solares a implementar son del modelo OPS-V250, proveedor IBERSOLAR en Perú con rendimiento máximo del 75.7% con un total de 32 colectores.

La implementación de colectores solares trae un beneficio para la empresa Alicorp de 135264.4 \$/año, con una inversión en activos fijos de 45746.89 \$, con un retorno operacional de la inversión de 4 meses.

El presente proyecto muestra una viabilidad financiera del 296% en tasa interna de retorno y con un valor actual neto de 750,857.00\$.

Palabras claves: caldero pirotubular Apin de 400BHP, colectores solares, tanque de mezclado

ABSTRACT

Alicorp SAA, located in Trujillo, La Libertad department has a fire-tube boiler Apin 400bhp for transformation processes and heat exchange.

Pot 400bhp power, generates 6,073 TM / h of saturated steam, consuming 125.21 Gal / h Industrial Oil No. 6, because the feedwater enters the boiler at 75 ° C, preheated in a tank of mesclado with makeup water and the condensate 90.9% at 80 ° C, recovered from the main process. It was determined that the current energy efficiency of boilers is 76%.

With the implementation of flat solar collectors heat the water to 105 ° C power savings of 6,445 gal / h was obtained with a better energy efficiency of 81.36%.

It was determined that the solar collectors are to implement the OPS-V250 model, IBERSOLAR provider in Peru with maximum yield of 75.7% with a total of 32 collectors.

The implementation of solar collectors brings benefit to the company Alicorp of \$ 135264.4 / year, with investment in fixed assets of \$ 45746.89, with an operational ROI of 4meses.

This project shows financial viability of 296% internal rate of return and net present value of \$ 750,857.00.

Key words: Pirotubular cooker Apin de 400BHP, solar collectors, mixing tank.

I. INTRODUCCIÓN: 1.1 Realidad Problemática:

Alicorp S.A, tiene como base el Perú, produce además en Argentina, Brasil, Chile, Colombia y Ecuador. Sus productos están en más de 23 países. Netamente productora de insumos de consumo masivo (harinas, pastas, galletas, etc.), productos de limpieza, entre otros. También tienen negocios del sector avícola (Nutrición animal) y agrícola. Alicorp se enfoca en reducir el impacto ambiental, usando sus propios recursos eficientemente para garantizar el bienestar del ambiente.

El problema más importante de la empresa Alicorp en el proceso de producción de vapor saturado es el costo elevado del consumo de petróleo industrial N°6 utilizado en su caldera pirotubular.

La Empresa Alicorp S.A, tiene 2 calderas pirotubulares de producción de vapor saturado (Apin de 400 BHP y Standard Kessel de 350 BHP), pero en servicio actualmente está la caldera Apin, esta caldera para la producción de vapor saturado a 7bar manométricos, consume Petróleo industrial N°6 con un consumo de 1 081 818 Gal/Año, con un costo unitario de 7.00 S. /Gal (No incluye IGV) para lo cual tendríamos un costo anual total de 7 572 726 S. /año. Ver tabla 01.

Actualmente la empresa Alicorp, tiene un sistema de calentamiento de agua de alimentación, con condensado de los procesos de intercambio de calor, para calentar el agua hasta la temperatura de 75°C. En la caldera Apin el combustible ingresa al quemador a 100°C con aire ambiental, para producir 6.073 TM/h de vapor saturado. Ver tabla 02.

Para dar solución a esta problemática se plantea la implementación de colectores planos solares para calentar el agua de alimentación de la caldera a 105°C, según exigen las normas técnicas, reduciendo los costos de consumo de combustible, además que a dicha temperatura se elimina todo el oxígeno contenido en el agua de alimentación y reduce la velocidad de corrosión de los tubos de gases.

Tabla 01. Consumo de petróleo industrial N°6 – Caldera APIN 400BHP – Periodo 2014

Meses - 2014	Consumo de Petróleo Industrial N°6 Caldera APIN
Enero	89951
Febrero	89906
Marzo	89956
Abril	89395
Mayo	89918
Junio	91493
Julio	89015
Agosto	91890
Septiembre	89139
Octubre	89990
Noviembre	91309
Diciembre	89856
Total (Gal/año)	1081818
Promedio (Gal/mes)	90152
Promedio (Gal/día)	3005.050
Promedio (Gal/h)	125.210

Fuente: Departamento de Mantenimiento – Empresa Alicorp S.A.

Tabla 02. Producción de vapor saturado – Caldera APIN 400BHP – Periodo 2014

Meses - 2014	Producción de vapor saturado Caldera APIN
Enero	4390
Febrero	4325
Marzo	4420
Abril	4310
Mayo	4320
Junio	4450
Julio	4290
Agosto	4500
Septiembre	4300
Octubre	4360
Noviembre	4485
Diciembre	4320
Total (TM/año)	52470
Promedio (TM/mes)	4373
Promedio (TM/día)	146

Promedio (TM/h)	6.073
-----------------	-------

Fuente: Departamento de Mantenimiento – Empresa Alicorp S.A.

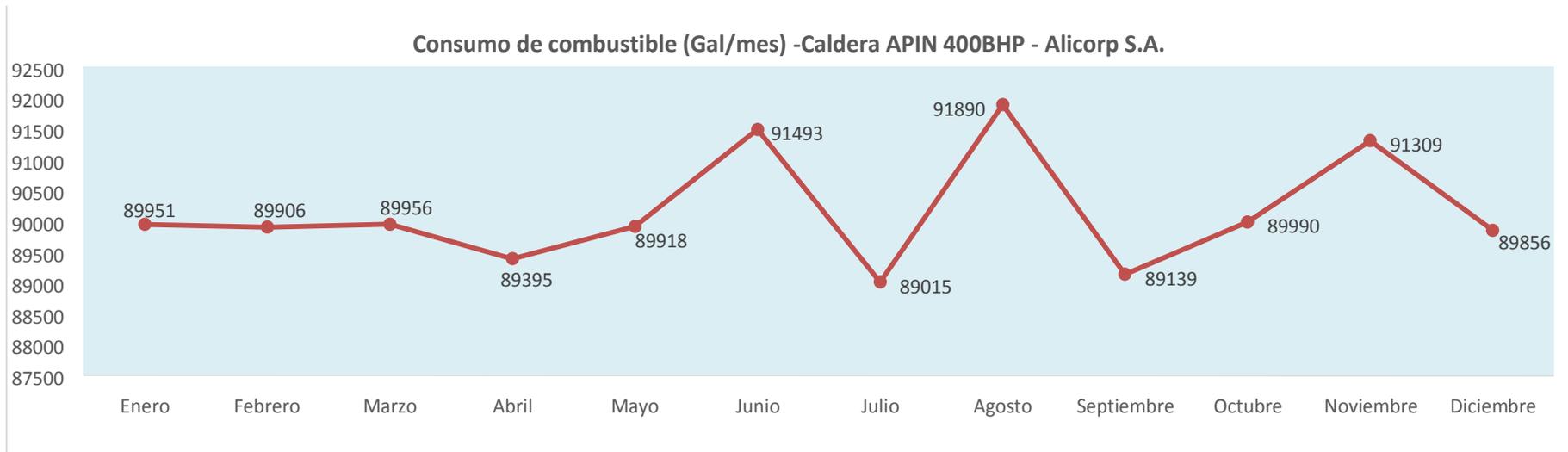


Figura 01. Grafico estadístico de consumo de petróleo industrial N°6 mensual en el año 2014

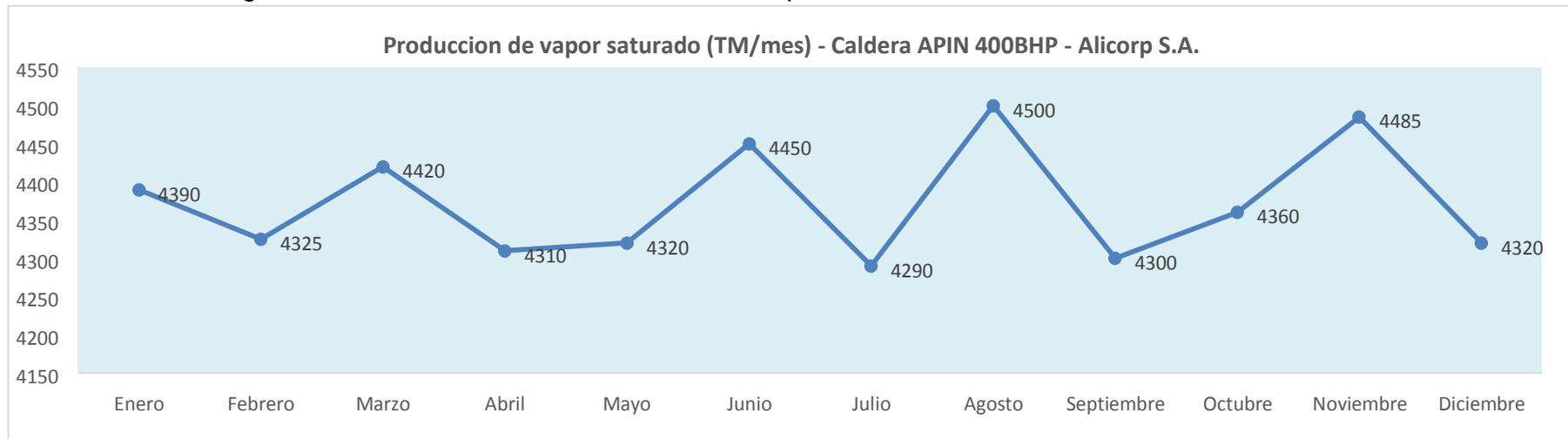


Figura 02. Grafico estadístico de consumo de vapor saturado mensual en el año 2014

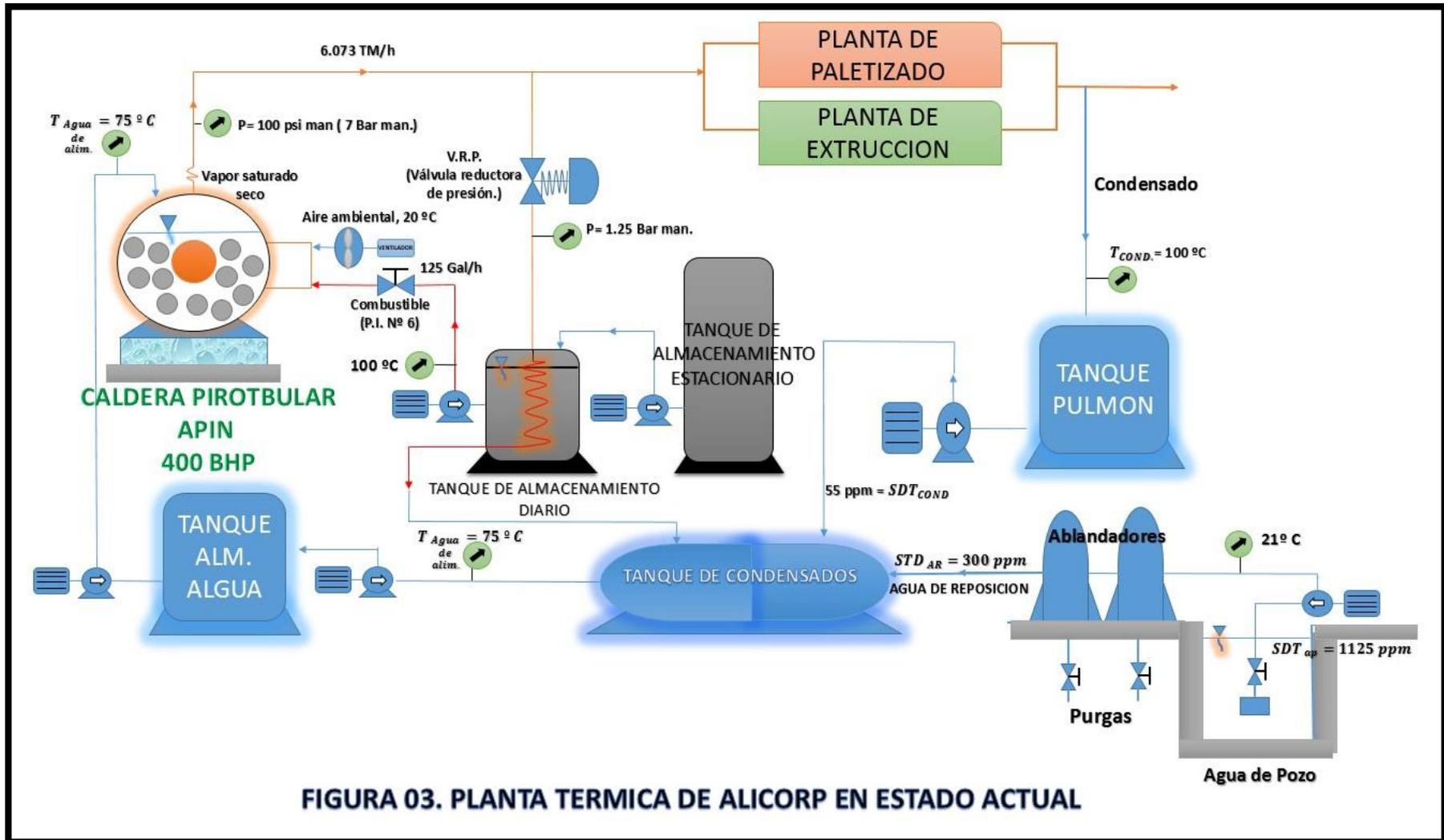


Figura 03. Planta térmica de Alicorp en estado actual.

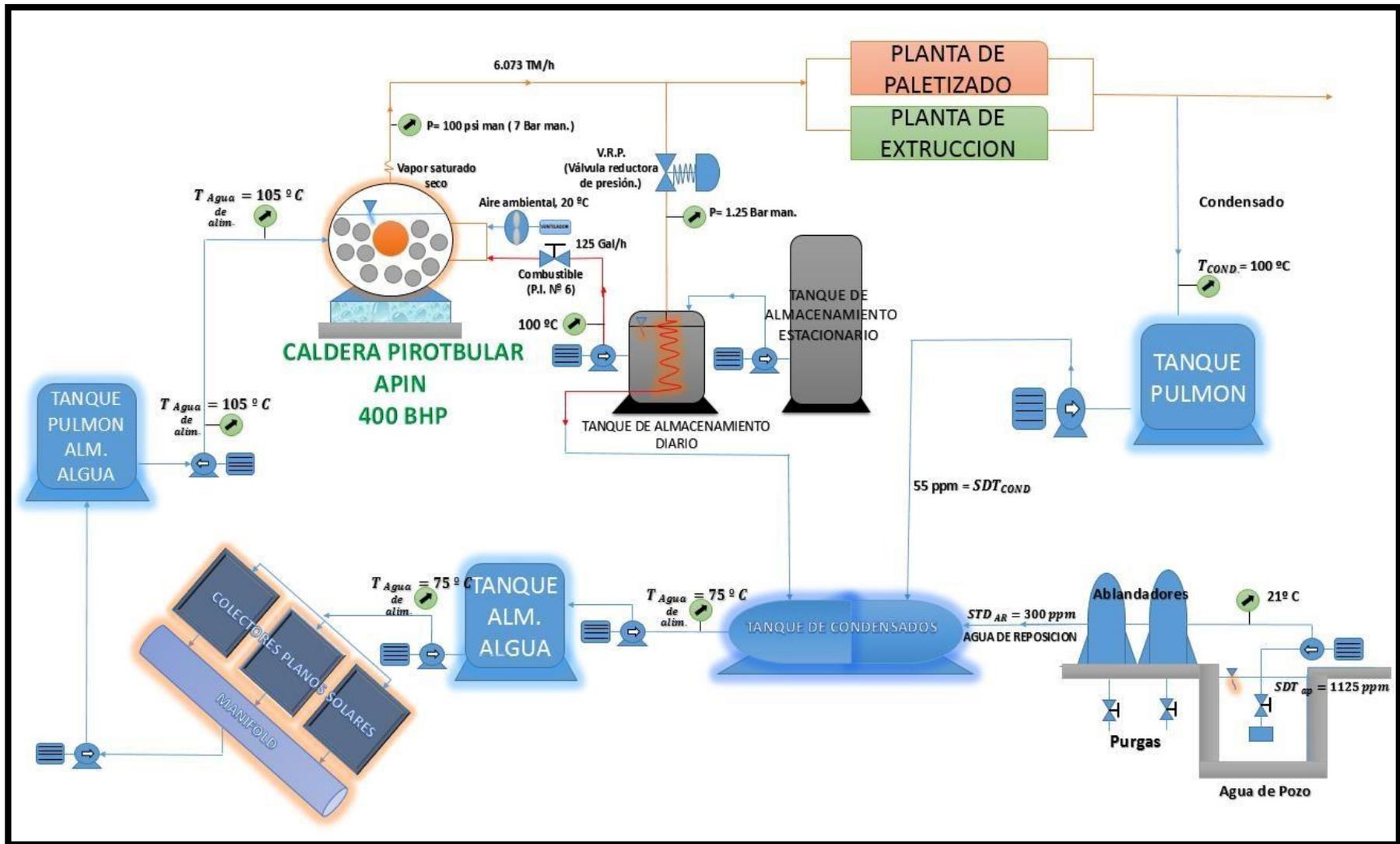


Figura 04. Planta térmica implementada con colectores planos solares.

1.2 Trabajos Previos:

Rodríguez (2012), en su trabajo para obtener el Grado de Ingeniero Físico. Realizada en la Universidad De Santiago De Chile, titulada: “Diseño, construcción y caracterización de un colector solar plano de aire”, plantea fabricar un colector solar plano de aire con un bajo costo, generado a partir de materiales accesibles en el mercado nacional. El estándar internacional indica que cada colector debe tener una eficiencia determinada de acuerdo a condiciones en estado cuasi estacionario, este estado de evaluación de colectores es difícil de alcanzar en la realidad. Se realizan mediciones dentro del rango de 1 hora antes y una hora después del medio día solar solo en días despejados, para poner de manifiesto el estado cuasi estacionario de medición y evaluación del colector solar de aire manteniendo la inclinación del colector en un ángulo complementario a la elevación solar, es decir; los rayos solares deben incidir perpendiculares a la superficie del colector.

Se concluye que se dispone de un colector solar óptimo, económico y fácil de construir, con un buen grado de eficiencia de 46% en el modo inyección, logrando temperaturas de salida del orden de 63-75°C y potencias en el rango 606-740 W. Notando que se encuentra dentro del rango de eficiencias estandarizadas para colectores solares planos (capítulo I- colectores planos) entre 45%-65%.

Campos (2014), en su trabajo para obtener el Grado de Ingeniero Mecánico. Realizada en la Universidad Cesar Vallejo, titulada: “Diseño de colectores solares para precalentar el agua de reposición de la caldera pirotubular intensa de 100bhp para reducir el costo de combustible en el hospital Belén –Trujillo”, el Hospital Belén, ubicado en la ciudad de Trujillo, departamento de La libertad cuenta con un caldero pirotubular marca Intensa para para los procesos de transformación e intercambio de calor como: esterilización de instrumental quirúrgico; cocina – lavandería y secadores, consumiendo en promedio el 35%, 25% y 40% del total de vapor producido por el caldero respectivamente.

Se concluye que con la implementación de colectores solares calentando el agua de reposición a 86°C, para luego obtener una temperatura de agua de alimentación de 100°C en el tanque de mezclado. Obteniendo un ahorro de 2.24Gal/h con un mejor rendimiento energético de 79%, los colectores solares son el modelo OPSV250, proveedor IBERSOLAR en Perú. La implementación de colectores solares trae un beneficio para el Hospital Belén de 123625 ___^{N.S}, con una inversión en activos

año

fijos es: 93680.00 N. S con un retorno operacional de la inversión de 9meses.

Carbajal (2013), en su trabajo para obtener el Grado de Ingeniero Mecánico. Realizada en la Universidad Cesar Vallejo, titulada: "Análisis del rendimiento energético de la caldera pirotubular Apin de 400 BHP a través del método indirecto en la empresa Alicorp - Trujillo." Plantea con las mejoras propuestas se obtendrán un rendimiento energético de la caldera de 90.36 %, (cambio de combustible de R6 a Gas natural; instalación de un pre-calentador de aire, usando la temperatura de los gases de la chimenea; tratamiento de agua de alimentación por el método de osmosis inversa y el control automatizado de sistema de combustión) con la ejecución de estas recomendaciones la caldera mejorara su rendimiento en 12.36%.

Se concluye que las perdidas porcentuales de la caldera en estado actual son: por gases residuales (14.92%), por purgas (3.8%) por hollín (0.78%), combustión incompleta (1.10%) y por perdidas por convección (0.47%) por radiación (0.91%), obteniendo un rendimiento actual de 78% y en mejora de 90.36%.

1.3 Teorías relacionadas al tema:

Caldera Piro tubular:

En estas calderas los gases calientes pasan por el interior de los tubos, los cuales están rodeados de agua. Generalmente tiene un hogar integral, llamado caja de fuego, limitado por superficies enfriadas por agua (Esplugas y chamarro, 2005).

En las figuras 05 y 06 se muestran las partes principales de una caldera piro tubular.

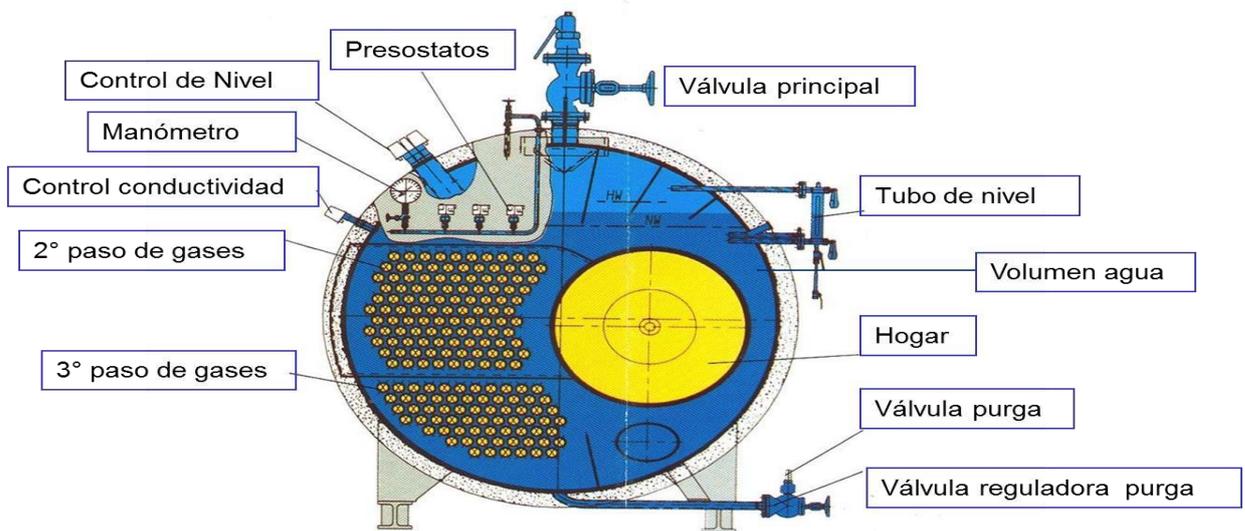


Figura 05. Vista frontal, partes principales del caldero.

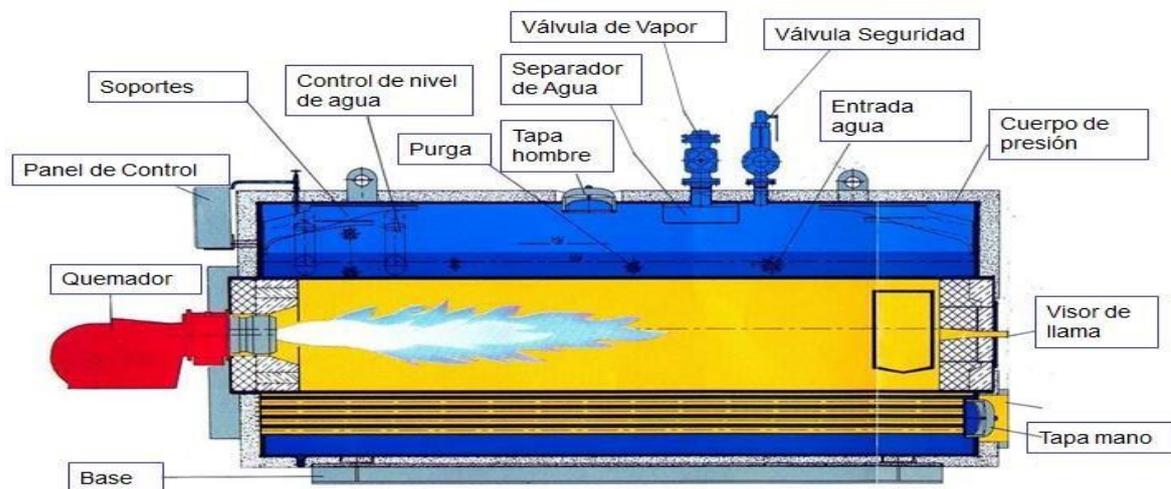


Figura 06. Vista lateral, partes principales del caldero.

Rendimiento de una Caldera Pirotubular:

Existen dos métodos para determinar la eficiencia de una caldera (Martinez y Jacobi 2010).

a) Método directo:

En la ingeniería este es el método de cálculo más rápido, ya que solo evalúa las condiciones de entrada del agua de alimentación al caldero y la salida de este como vapor saturado.

$$\eta_{\text{cald}} = \frac{\dot{m}_v * (h_v - h_{\text{agua}})}{Q_{\text{total}}} * 100\% \quad \dots \dots \dots (01)$$

Dónde:

- η_{cald} : Rendimiento energético del caldero [%]
- \dot{m}_v : Flujo másico de vapor producido por el caldero [$\frac{\text{Kg}}{\text{seg}}$]
- h_{agua} : Entalpia de líquido saturado del agua [$\frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}$]
- h_v : Entalpia del vapor saturado [$\frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}$]
- Q_{total} : Potencia calorífica total [KW]

b) Método indirecto:

En la ingeniería este es método más extenso para determinar el rendimiento de una caldera ya que se tienen que cuantificar todas las perdidas fijas (purgas, Hollín, combustión incompleta, convección, radiación) y la perdida variable (por gases residuales)

El rendimiento de una caldera pirotubular se determina:

$$\eta_{\text{cald}} = 1 - (\sum q_p)_{\text{fijas}} - (q_p)_{\text{GR}} \quad \dots \dots \dots (02)$$

Dónde:

- η_{caldera} : Rendimiento energético del caldero [%]
- $(\sum q_p)_{\text{fijas}}$: Pérdidas fijas: purgas, combustión incompleta, hollín, convección y radiación [%]
- $(q_p)_{\text{GR}}$: Pérdida variable: gases residuales [%]

Potencia calorífica total:

Es la potencia calorífica total en la cámara de combustión de una caldera, es decir es la potencia entregada por los reactivos: aire y combustible (Wark, 2001).

$$Q_{\text{total}} = Q_{\text{aire}} + Q_{\text{cble}} \left\{ \begin{array}{l} Q_{\text{aire}} = \dot{m}_{\text{aire}} (PCI_{\text{aire}} + C_{p,\text{aire}} T_{\text{aire}}) \\ Q_{\text{cble}} = \dot{m}_{\text{cble}} (PCI_{\text{cble}} + C_{p,\text{cble}} T_{\text{cble}}) \end{array} \right.$$

$$Q_{\text{total}} = (\dot{m}_{\text{aire}} * C_{p,\text{aire}} * T_{\text{aire}}) + (\dot{m}_{\text{cble}} * (PCI + C_{p,\text{cble}} * T_{\text{cble}})) \dots (03)$$

Dónde:

- Q_{total} : Potencia calorífica total [KW]
- Q_{aire} : Potencia calorífica del aire [KW]
- Q_{cble} : Potencia calorífica del combustible [KW] □ PCI: Poder calorífico inferior [KJ]

$\frac{\text{kg}}{\text{seg}}$

- \dot{m}_{aire} : Flujo másico de aire [$\frac{\text{kg}}{\text{seg}}$]
- \dot{m}_{cble} : Flujo másico de combustible [$\frac{\text{kg}}{\text{seg}}$]

- $C_{p_{aire}}$: Calor específico a presión constante del aire [$Kg^{\circ}C \rightarrow KJ$]
- $C_{p_{cble}}$: Calor específico a presión constante del combustible. [$Kg^{\circ}C \rightarrow KJ$]
- T_{aire} : Temperatura del aire [$^{\circ}C$]
- T_{cble} : Temperatura del combustible [$^{\circ}C$]

Pérdidas de calor por gases residuales:

Es la pérdida de calor más significativa y de mayor valor para una caldera, depende de la temperatura de gases residuales, como también del porcentaje de CO_2 (dióxido de carbono), del tipo de combustible utilizado y del exceso de aire en la combustión. (Fernández, 1996).

Y se determina según la formulación:

$$(q_p)_{GR} = \frac{\dot{Q}_{G.R}}{\dot{Q}_{total}} * 100\% \quad \dots \dots \dots (04)$$

Dónde:

□ $\dot{Q}_{G.R}$: Es la potencia calorífica pérdidas por gases residuales [KW] □ \dot{Q}_{total} :
Es la potencia calorífica de los reactantes (aire + combustible) [KW]

La potencia calorífica de los gases residuales se determina:

$$Q_{G.R} = \dot{m}_{G.R} * \bar{C}_{PG} * (T_{G.R} - T_0) \quad \dots \dots \dots (05)$$

Dónde:

- $\dot{m}_{G.R}$: Flujo másico de gases residuales [Kg/s]
- \bar{C}_{PG} : Calor específico a presión contante de los gases en la chimenea [KJ/Kg $^{\circ}C$]
- $T_{G.R}$: Temperatura de gases residuales [$^{\circ}C$]
- T_0 : Temperatura del medio ambiente [$^{\circ}C$]

Poder Calorífico:

El poder calorífico expresa la energía máxima que puede liberar la unión química entre un combustible y el comburente y es igual a la energía que mantenía unidos los átomos en las moléculas de combustible (energía de enlace), menos la energía utilizada en la formación de nuevas moléculas en las materias (generalmente gases) formadas en la combustión. La magnitud del poder calorífico puede variar según como se mida. Según la forma de medir se utiliza la expresión poder calorífico superior (abreviadamente, PCS) y poder calorífico inferior (abreviadamente, PCI).

El poder calorífico superior de un combustible líquido, se determina según la ecuación de *Petroperú*:

$$PCS = 18320 + 40 * (^{\circ}API - 10) \quad \dots \dots \dots (06)$$

Dónde: □ PCS: Poder calorífico superior [BTU____] Lb

□ °API: Instituto Americano del Petróleo.

Y el poder calorífico inferior de un combustible líquido:

$$PCI = PCS - 1030 \quad \dots \dots \dots (07)$$

Dónde: □ PCI: Poder calorífico inferior [BTU____] Lb

Valor presente neto:

Es un procedimiento que permite calcular el valor presente de un determinado número de flujos de caja futuros, originados por una inversión.

$$VPN = \sum_{t=1}^n \left(\frac{V_t}{1+i)^t} \right) - I_0 \quad \dots \dots \dots (08)$$

$t=1$

Dónde:

- VPN : Valor actual neto o valor actual neto [N. S]
- V_t : Flujos de caja en cada tiempo [N. S]
- i : Interés [%]
- n : Número de períodos considerados [años]
- I_0 : Valor del desembolso inicial de la inversión [N.S]

Periodo de retorno de la inversión:

Es el periodo en el cual se obtendrán los beneficios netos, es decir el tiempo donde la inversión en activos fijos fue amortizada en su totalidad por los beneficios del proyecto.

$$PRI = \frac{I \text{ [N.S]}}{B \left[\frac{N.S}{\text{año}} \right]} \dots \dots \dots (09)$$

Dónde:

- PRI: Periodo del retorno de la inversión[Años]
- I: Inversión en activos fijos. [N.S] ▪ B: Beneficio del proyecto. [$\frac{N.S}{\text{año}}$]

Tasa interna de retorno:

Es la tasa de interés (o la tasa de descuento) con la cual el valor actual neto o valor presente neto (VAN o VPN) es igual a cero. El VAN o VPN es calculado a partir del flujo de caja anual, trasladando todas las cantidades futuras al presente. Es un indicador de la rentabilidad de un proyecto: a mayor TIR, mayor rentabilidad.

Cuando el VPN=0, "i" pasa a llamarse tasa interna de retorno TIR, es decir:

$$VPN = \sum_{t=1}^n \frac{V_t}{(1 + TIR)^t} - I_0 = 0 \dots \dots (10)$$

Dónde:

- TIR: Tasa interna de retorno [%]
- V_t: Flujos de caja en cada tiempo [N.S]
- n: Número de períodos considerados [años]
- I₀: Valor del desembolso inicial de la inversión [N.S]

Análisis hidráulico y mecánico:

Para el dimensionamiento de las tuberías de vapor y agua, calcularemos su espesor mínimo y mediante tablas normalizadas del código ASTM, hallaremos su número de cédula (Viejo, 2010). Para esto utilizaremos las siguientes formulas:

$$\dot{m}_v = \rho_v * V_v * S \quad \dots \dots \dots (11)$$

Dónde:

- \dot{m}_f : Flujo másico del fluido.
- V_f : Velocidad del fluido. - S: área transversal de la tubería

$$S = \frac{\pi * d_{int}^2}{4} \quad \dots \dots \dots (12)$$

d_{int} : Diámetro interior de la tubería

$$d_{int} = \sqrt{\frac{4 * S}{\pi}} \quad \dots \dots \dots (13)$$

Cálculo del Número de Cedula:

$$\text{Número de shedule} = 1000 \left(\frac{P}{S} \right) * f. s \quad \dots \dots \dots (14)$$

Dónde:

- P: presión de trabajo (Psig).
- S: esfuerzo de trabajo (Psig). F.s: factor de seguridad.

Colectores de placa plana:

Un colector solar transforma la energía solar incidente en otra forma de energía útil. Difiere de un intercambiador de calor convencional en que en éstos se realizan intercambios térmicos entre fluidos con elevados coeficientes de transferencia térmica, y en los que la radiación es un factor sin apenas importancia (Fernández, 2000).

En un colector solar, la transferencia térmica se realiza desde una fuente energética, (el Sol), aun fluido, sin concentración de energía solar, por lo que el flujo incidente puede ser del orden de 1 kW/m^2 variable con una serie de parámetros.

La gama de longitudes de onda que se aprovecha está comprendida entre $0,3 \text{ }\mu\text{m}$ y $3,0 \text{ }\mu\text{m}$, que es una franja de radiación considerablemente más pequeña que la de la radiación emitida por la mayoría de las superficies que absorben energía.

El análisis de los colectores solares implica problemas particulares de flujos de energía, bajos y variables, así como una gran relevancia de los fenómenos de radiación. En los colectores de placa plana, la superficie que absorbe la radiación solar es igual a la superficie que la capta. Se pueden diseñar colectores de placa plana para trabajar con temperaturas de placa absorbente comprendidas entre 40°C y 130°C . Estos colectores utilizan tanto la radiación solar directa como la difusa, no requieren de sistemas de seguimiento solar y prácticamente no precisan de mantenimiento. Sus aplicaciones van enfocadas a sistemas de calentamiento de agua, calefacción de edificios y aire acondicionado.

El coste de la energía obtenida en un colector de placa plana depende del rendimiento térmico del sistema, de su vida media y de los costes de fabricación.

Ecuación básica del balance energético en colectores de placa plana:

Mediante un balance energético se puede hallar la distribución de la energía solar incidente sobre un colector de placa plana, su transformación en energía útil y las pérdidas térmicas. (Fernández, 2000).

Este balance energético se puede expresar de la siguiente forma:

$$A * I_0 * K * \tau_s * \alpha_{sp} = Q_u + Q_{p\acute{e}rdidas} + Q_{almacenada} = A * K * I_s * \alpha_s \dots (15)$$

En la que:

- A: Es la superficie del colector, igual en la cubierta que en la placa absorbente.
- K: Es un factor de conversión de la radiación (difusa y directa), que sirve para evaluar la energía solar incidente en el plano del colector.
- τ_s : Es la transmitancia solar efectiva de la cubierta del colector.
- α_{sp} : Es la absortancia solar de la placa absorbente del colector.
- I_0 : Irradiancia solar promedio en un periodo de tiempo.
- Q_u : Es el calor útil que se transfiere al fluido refrigerante que circula por el colector solar, de valor:

$$Q_u = \dot{m}_{agua} * \bar{c}_p * (T_{sal} - T_{ent}) \dots \dots \dots (16)$$

- \dot{m}_{agua} : Flujo másico de agua en circulación por los tubos del colector.
 - \bar{c}_p : calor específico a presión constante del agua.
 - T_{sal} : Temperatura de salida del agua, del colector.
 - T_{ent} : Temperatura de entrada del agua, al colector.
- $Q_{p\acute{e}rdidas}$: La cantidad de calor perdida desde la placa absorbente del colector al medio exterior, tanto por convección, como por conducción y radiación; esta energía perdida lo es hacia arriba, hacia abajo y hacia los laterales del colector.
 - $Q_{almacenada}$: Es la energía almacenada en el colector.

La energía solar incidente I_s , sobre la placa absorbente viene dada por la siguiente expresión:

$$I_s = I_0 \tau_s \quad \dots \dots \dots (17)$$

$$I_s * \alpha_s = I_0 * \tau_s * \alpha_s = I_0 (\tau * \alpha)_s \quad \dots \dots \dots (18)$$

En la que $(\tau * \alpha)$ se calcula para la radiación directa con el ángulo real de incidencia, mientras que la radiación difusa se considera como si fuese directa, pero con un ángulo de incidencia de 60°.

El rendimiento del colector η_c que proporciona una medida de su funcionamiento se define como:

$$\eta_c = \frac{\text{Ganancia útil durante cualquier periodo de tiempo } \int_{t_1}^{t_2} Q_u dt}{\text{energía solar incidente en el mismo periodo } \int_{t_1}^{t_2} A * I_0 dt} = \frac{\dots \dots \dots}{\dots \dots \dots} \quad \dots \dots \dots (19)$$

Para obtener un resultado significativo, el rendimiento se tiene que calcular para todo un día de funcionamiento. En todo momento hay que compatibilizar el rendimiento óptimo del colector con un coste mínimo del mismo, lo que implica el tener que diseñar colectores con una eficiencia inferior a la tecnológicamente posible, que reduce el coste de forma significativa. Este método es pesado y laborioso, por lo que generalmente se recurre a otra formulación en la que se consideran algunas simplificaciones, en régimen permanente, como veremos más adelante.

Perdidas de calor del colector:

El valor de $Q_{pérd}$, se puede poner en función del coeficiente global de transmisión de calor de las pérdidas de calor del colector U_c . Si se conoce U_c y si la placa del colector se sabe está a una temperatura media T_p el valor de $Q_{pérd}$, se puede expresar, siendo T_a la temperatura ambiente, en la forma:

$$Q_{pérd} = U_c * A * (T_p - T_a) \quad \dots \dots \dots (20)$$

Un modelo adecuado de análisis térmico de un colector de placa plana puede considerar las siguientes hipótesis simplificadoras:

- El colector está térmicamente aislado en estado estacionario

- La caída de temperatura entre la parte superior e inferior de la placa es despreciable
- El flujo térmico se puede considerar monodimensional, tanto a través de las cubiertas, como de los aislamientos laterales
- Los cabezales que conectan los tubos cubren solamente una pequeña superficie de la placa colectora y proporcionan un flujo térmico uniforme a los tubos
- El cielo se puede considerar como si fuese una fuente térmica equivalente a un cuerpo negro, en lo que respecta a la radiación infrarroja, a una temperatura del cielo equivalente
- Se supondrá que la radiación $I_s = I_0 \tau_s$, sobre la placa plana absorbente del colector es uniforme

La distribución de temperaturas sobre el colector de placa plana se puede representar mediante el circuito térmico aproximado que se presenta en la Fig. 2.5., en la que la placa colectora absorbe una energía incidente: $\alpha_s I_s K$.

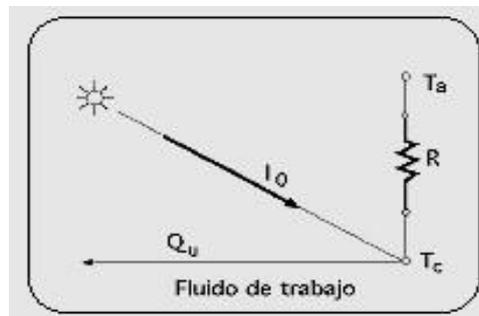


Figura 07. Circuito térmico aproximado de un colector solar.

Descripción y funcionamiento de un colector plano:

Un colector plano se compone de:

a) Absorbedor o “placa negra”:

Unido a los tubos o ductos del colector, se encarga de transformar la energía radiante en calor y transmitirla al fluido. Debe estar pintado de color oscuro con el fin de aumentar su capacidad de absorción y reducir la reflexión de los rayos solares, para que se alcance y mantenga una temperatura de 100°C. El pigmento

empleado en la coloración de este elemento debe ser selectivo, es decir, absorber de manera eficaz la radiación solar e irradiar calor en pequeña proporción, disminuyendo las pérdidas por radiación. Los absorbedores poseen un coeficiente de absorción (α) de 0,95 y una emisividad térmica de 0,1.

Los absorbedores se encuentran formados por una base de metal brillante y una capa de óxido metálico negro por encima. Los materiales empleados más frecuentemente son: níquel y óxido de cromo u óxido de cobre.

b) Cubierta transparente:

Situada en la parte superior de la placa de absorción negra. Su misión principal es reducir las pérdidas de calor por radiación y convección. La cubierta puede ser de vidrio o plástico, aunque este último tiene la desventaja de envejecer bajo la acción de los rayos ultravioleta y se hace necesario reemplazarlo con relativa frecuencia

Los valores típicos de los coeficientes de transmitancia (τ), absorción, reflexión y transmisión son: 8, 2, 10 y 88% en una cubierta de vidrio.

Para reducir las pérdidas por radiación desde la superficie del absorbedor, se realiza un aprovechamiento del “efecto invernadero”. Este fenómeno consiste en que una capa de material transparente permite el paso de radiaciones de longitud de onda corta (por ejemplo: UV, espectro visible) pero no las de longitud de onda larga (el infrarrojo), produciéndose una reflexión de éstas últimas hacia el absorbedor incrementando su temperatura.

Para atenuar las pérdidas por convección, se debe realizar una unión estanca entre la cubierta y la caja, de esta manera se evita la entrada de aire.

c) Circuito de fluido térmico:

Son los dispositivos que transportan el fluido a calentar. Ha de estar en contacto directo con el Absorbedor, de forma que la transferencia de calor al fluido se realice en las mejores condiciones.

d) Aislante:

Material localizado en la parte inferior del circuito de fluido térmico, impiden la pérdida de calor por conducción. Debe poseer un bajo coeficiente de conductividad.

Ej.: lana de vidrio, poliestireno, otros.

e) Caja:

Aloja el conjunto de elementos que forman el colector y asegura la estanqueidad. Puede construirse de madera, plástico o chapa metálica.

En la Figura 08, se muestra un corte transversal de un colector plano, en donde se identifican los elementos descritos anteriormente:

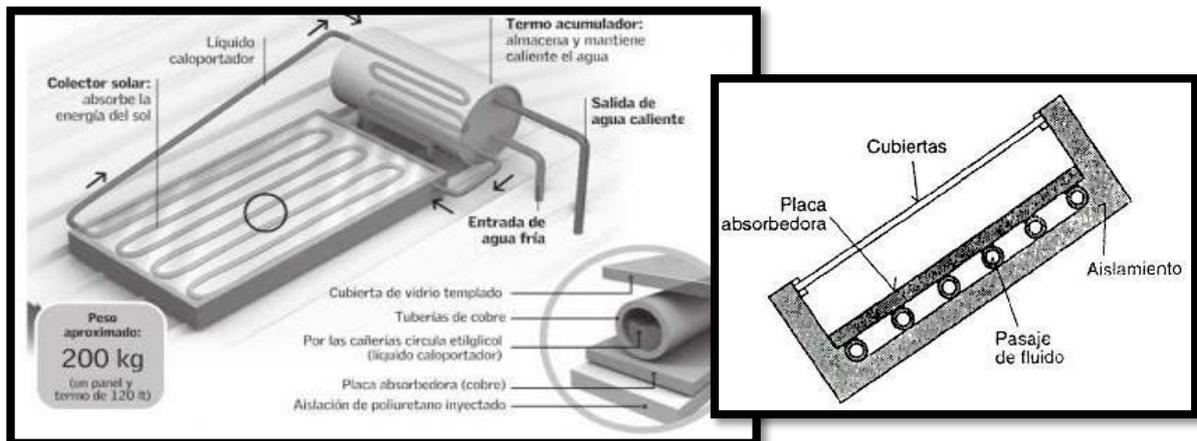


Figura 08. Partes principales de un colector solar.

En la figura 09, se detalla cómo se monta un colector solar:

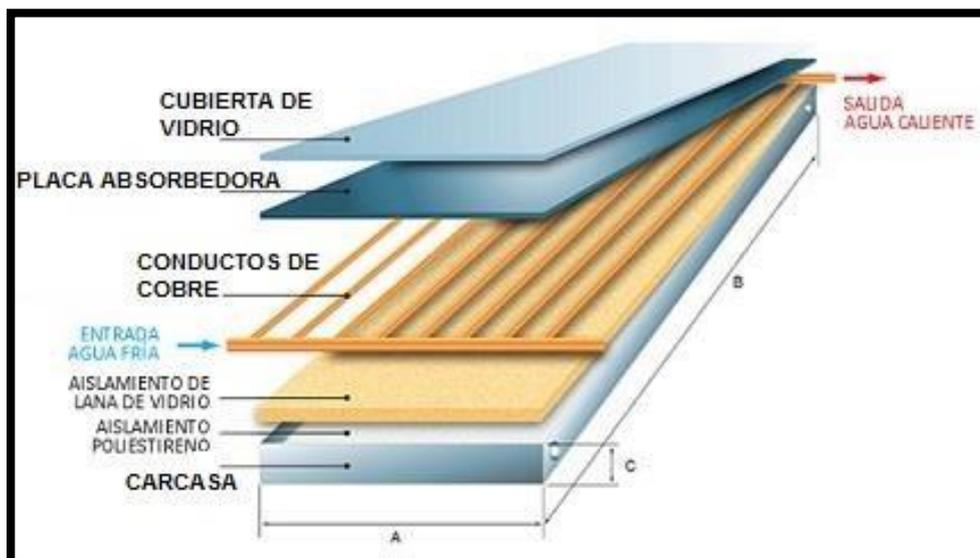


Figura 09. Montaje de un colector solar.

Balance de energía en un intercambiador de calor:

El balance de energía se basa en la ley de la conservación de energía que indica que en un proceso, la energía no se crea, ni se destruye, sólo se transforma.

En un balance total de energía se toma en cuenta las transferencias de energía a través de los límites del sistema (Cengel, 2007).

$$\sum \dot{m}_{\text{entrada}} * h_{\text{entrada}} = \sum \dot{m}_{\text{salida}} * h_{\text{salida}} \quad \dots \dots \dots (2.3)$$

Dónde:

- \dot{m}_{entrada} : Flujo másico de entrada al sistema [$\frac{\text{Kg}}{\text{seg}}$]
- h_{entrada} : Entalpia del fluido de entrada [$\frac{\text{Kj}}{\text{Kg}}$]
- \dot{m}_{salida} : Flujo másico de Salida del sistema [$\frac{\text{Kg}}{\text{seg}}$]
- h_{salida} : Entalpia del fluido de salida [$\frac{\text{Kj}}{\text{Kg}}$]

Petróleo industrial N°6:

También referido como Bunker C, es un petróleo residual de alta viscosidad, utilizado mayormente en hornos industriales y comerciales.

Requiere precalentamiento en el tanque de almacenamiento para permitir su bombeo y calentamiento adicional en el quemador para su atomización. El equipamiento adicional para manipular este combustible desfavorece su aplicación en instalaciones pequeñas.

El boiler horse power BHP: (El caballo de fuerza de una caldera)

El BHP, es una unidad de energía definida por el Boiler Code Test Committee de la American Society of Mechanical Engineers, ASME, y utilizada en la clasificación de la capacidad de una caldera de entregar vapor a un motor de vapor. En 1884, el comité sobre pruebas de la caldera de la sociedad americana de ingenieros

mecánicos (Committee on Boiler Tests of the American Society of Mechanical Engineers) definió los BHP como la cantidad de energía necesaria para convertir 34.5 libras de agua por hora (15.66 Kg/hr) a 212°F (100°C) a vapor seco, saturado en la misma temperatura. (diccionario.motorgiga.com).

Absortancia:

Relación entre el flujo de radiación absorbida por una superficie y la radiación total que incide sobre ella. También llamada coeficiente de absorción.

Trasmitancia:

La Trasmitancia es una magnitud que expresa la cantidad de energía que atraviesa un cuerpo en unidad de tiempo (Potencia).

Irradiancia:

Es la potencia incidente por unidad de superficie en un determinado período de tiempo.

Irradiación:

Es la energía incidente por unidad de superficie en un determinado período de tiempo.

Nota: aunque la irradiancia y la Irradiación son magnitudes físicas distintas, coinciden numéricamente cuando la unidad de tiempo es la hora.

Radiación solar:

Una medida de la energía procedente del Sol la constituye la constante solar, Se denomina así a la energía que por unidad de tiempo, se recibe fuera de la atmósfera terrestre sobre la unidad de superficie perpendicular a la dirección de los rayos solares en su distancia media.

1.4 Formulación del Problema

¿Es factible reducir los costos de consumo de petróleo industrial N°6, mediante el estudio técnico, económico y financiero de implementación de colectores planos solares para calentar el agua de alimentación de la caldera pirotubular Apin de la Empresa Alicorp S.A.A – Trujillo?

1.5 Justificación del estudio

Relevancia económica:

La implementación de colectores planos solares para aumentar la temperatura del agua de alimentación, reducirá los costos de consumo de petróleo industrial N°6 de la caldera Apin de 400BHP.

Relevancia tecnológica:

El Uso de energías renovables como la radiación térmica solar en colectores planos para calentar el agua de alimentación de una caldera, permite conocer tecnologías actuales aplicables, estando la empresa Alicorp un paso adelante frente a otras empresas del mismo rubro.

Relevancia institucional:

La presente tesis busca resolver, el consumo excesivo de petróleo industrial N°6 del caldero Apin, mediante la implementación de colectores planos solares, aplicando los conocimientos adquiridos en la carrera de ingeniería mecánica para resolver esta problemática, sobresaliendo como un ingeniero mecánico de la Universidad Cesar vallejo eficiente para afrontar los retos laborales.

Relevancia socio-ambiental:

El uso de la energía renovable como la radiación térmica del sol, genera una reducción en el consumo de petróleo industrial N°6, reduciendo al mismo tiempo el flujo másico de gases de chimenea, es decir minimizando el dióxido de carbono y dióxido de azufre al medio ambiente.

1.6 Hipótesis

Sí, es factible, reducir los costos de consumo de Petróleo industrial N°6 en el caldero piro tubular Apin, mediante el estudio técnico, económico y financiero de implementación de colectores solares planos en la empresa Alicorp SAA – Trujillo.

1.7 Objetivos

Objetivo general

Estudiar técnica, económica y financieramente la implementación de colectores planos solares para calentar el agua de alimentación de la caldera pirotubular Apin, reduciendo los costos de consumo de petróleo industrial N°6 en la Empresa Alicorp S.A.A - Trujillo.

Objetivos específicos

- Evaluar las condiciones actuales de la planta térmica a vapor saturado

- Realizar un balance de materia y energía a la planta térmica, para determinar: flujos máscicos de vapor, combustible, aire, gases; flujo máscico de vapor de extracción para el calentamiento de petróleo, flujo máscico de condensado; flujo máscico de agua de reposición y rendimiento energético de la caldera pirotubular Apin en condiciones actuales.

- Evaluar la potencia de irradiancia solar promedio en la ciudad de Trujillo, para calentar el agua de salida del tanque de condensado en los colectores planos solares.

- Seleccionar los colectores planos solares y su rendimiento de operación.
- Determinar la superficie de transferencia de calor necesaria de los colectores para calentar el agua de alimentación a la temperatura máxima exigida según las normas técnicas y el número de colectores solares a instalar.

- Realizar un balance de masa y energía a la caldera pirotubular Apin, determinando: flujo máscico de combustible y rendimiento energético en condiciones de mejora.

- Distribuir y ubicar los paneles solares, según el área disponible de la empresa Alicorp.
- Calcular la reducción del flujo másico de dióxido de carbono y dióxido de azufre evacuados por la caldera Apin.
- Determinar el beneficio en reducción del consumo de combustible de la caldera Apin de 400BHP, costos en activos fijos y retorno operacional de la inversión.
- Realizar un análisis financiero VAN y TIR para la viabilidad del proyecto.

II. MÉTODO:

2.1. Diseño de Investigación:

Pre-experimental

2.2. Variables, operacionalización:

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Indicador	Escala medición
Variables Independientes				
Potencia de Irradiancia solar.	Es la potencia incidente por unidad de superficie en un determinado período de tiempo.	Es potencia incidente en los colectores planos solares, con valor promedio en la ciudad de Trujillo.	Registros del SENAMHI (Contador Geiger-Muller) [KWh/m ²]	Cuantitativa
Variación de temperatura en colector.	Es una magnitud referida a las nociones comunes entre la entrada y salida de un fluido.	Es la diferencia de temperaturas de ingreso y salida del agua de alimentación a los colectores planos solares	Termómetro [°C]	Cuantitativa
Flujo másico de vapor saturado en operación	Es la cantidad de masa de vapor que pasa por un determinado tiempo.	Es el flujo másico de vapor saturado producido por el caldero a una determinada presión para abastecer a los procesos de la planta	Registros de consumo de vapor [TM/h]	Cuantitativa

Presión máxima de servicio del vapor.	Es el vapor que se encuentra por debajo de su temperatura crítica.	Es la presión requerida para producir vapor saturado seco en el caldero pirotubular.	Manómetro [bar]	Cuantitativa
Temperatura del agua de alimentación	Magnitud escalar relacionada con la energía interna de un sistema termodinámico.	Es la temperatura del agua de ingreso a la caldera a una presión de 20 psi manométricos.	Registros de temperatura del agua de alimentación [°C]	Cuantitativa
Variables Dependientes				
Superficie de transferencia de calor de colectores planos solares.	Es el área necesaria para transmitir eficiente energía de un fluido a otro.	Determina la cantidad de colectores planos solares a utilizar para calentar el agua de alimentación de la caldera Apin	Análisis energético. [m ²]	Cuantitativa
Flujo volumétrico de ahorro de petróleo industrial N°6.	Es la cantidad de volumen de combustible que pasa por un determinado tiempo.	Es flujo volumétrico de petróleo ahorrado con la implementación de colectores planos solares	Análisis energético. [Gal/h]	Cuantitativa
Costos inversión en de activos fijos.	Son los costos de inversión inicial de un proyecto.	Es la inversión en colectores planos solares, tuberías, estructuras y accesorios.	Análisis económico [S/.]	Cuantitativa

Beneficio económico	Son los ingresos ganados por la aplicación o mejora de un proyecto.	Es el beneficio en la reducción del consumo de petróleo industrial anual.	Análisis económico [S./año]	Cuantitativa
---------------------	---	---	--------------------------------	--------------

2.3. Población y muestra

Población: El sector – industrial – calderas pirotubulares.

Muestra: Caldera Pirotubular Apin de 400BHP, de la empresa Alicorp S.A.

2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

a) Técnicas:

- ✓ Observación.
- ✓ Entrevista.
- ✓ Análisis energético.
- ✓ Análisis económico.
- ✓ Análisis Financiero.

b) Instrumentos:

- ✓ Registros de consumo de vapor.
- ✓ Registros del SENAMHI.
- ✓ Registros de consumo de combustible.
- ✓ Manómetro.
- ✓ Termómetro.
- ✓ Flujometro.

2.5. Métodos de análisis de datos.

- ✓ Observación directa de los hechos, realizada a la empresa Alicorp S.A, para conocer la problemática y extraer los principales datos como: Flujo másico de vapor, consumo de petróleo industrial N°6, temperatura del agua de alimentación, temperatura de combustible y presión de vapor saturado de operación.
- ✓ Entrevista, realizada al jefe de mantenimiento de la planta térmica, para plantear la viabilidad de implementar colectores planos solares para calentar el agua de alimentación de la caldera Apin de 400BHP.
- ✓ Análisis energético mediante balances de masa y energía, para determinar los consumos de combustible y rendimiento de la caldera actual y en mejora. Se determina también la superficie de transferencia de calor y número de colectores planos solares.
- ✓ Análisis económico, para determinar los costos en activos fijos, beneficio en reducción de consumo de combustible y retorno operacional de la inversión.
- ✓ Análisis financiero, para determinar la viabilidad del proyecto mediante el análisis de las herramientas financieras VAN y TIR.

III. RESULTADOS

3.1 Evaluación de las condiciones actuales de la planta térmica a vapor saturado:

En este objetivo se pretende calcular las entalpías específicas de ingreso y salida en caldera, calentador de petróleo y tanque de condensado.

a) Caldera Piro tubular APIN de 400 BHP en condiciones actuales:



Figura 10: Variables de operación actual del caldero piro tubular APIN

Tenemos:

- h_v : Entalpia Específica del vapor saturado seco a la presión de 8 bar absolutos. Anexo A.1

$$h_v = 2767.5 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}$$

- h_{agua} : Entalpia Específica del agua de alimentación a la caldera en condiciones actuales a 75°C . Anexo A.1

$$h_{\text{agua}} = 313.9 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}$$

- h_c : Entalpia Específica del combustible (Petróleo Industrial N°6) a la temperatura de 100°C . Anexo A.2

$$C_p = 10^{-5}T_c^2 + 0.0025T_c + 2.8881$$

Reemplazando:

$$3.2381 \text{ KgKJ}_0\text{C } C_p = 10 \frac{-5(100)^2 + 0.0025(100) + 2.8881 = \text{---}}$$

Por lo tanto:

$$h_c = C_p * T$$

$$h_c = \frac{3.2381 \text{ KJ}_0\text{C} * 100}{\text{Kg}}$$

$$h_c = 323.81 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}$$

▪ h_a : Entalpia Específica del aire a condiciones ambientales de 20°C. Anexo A.3

$$C_p = 1.007 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}^\circ\text{C}}$$

Por lo tanto:

$$h_a = C_p * T \quad h_a =$$

$$1.007 \text{ ---}$$

$$\text{KgKJ}_0\text{C } 0\text{C} * 20$$

$$h_a = 20.14 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}$$

▪ PCS: Poder Calorífico Superior del Petróleo Industrial N°6.

Según la fórmula de Petroperú:

$$\text{PCS} = 18320 + 40(\text{°API} - 10) \left[\frac{\text{BTU}}{\text{Lbm}} \right]$$

La gravedad API del Petróleo Industrial N°6 es 11.5. Anexo A.4 Reemplazando:

$$\text{PCS} = 18320 + 40(11.5 - 10)$$

$$\text{PCS} = 18380 \frac{\text{BTU}}{\text{---}}$$

Lbm

- PCI: Poder Calorífico Inferior del Petróleo Industrial N°6.

Según la fórmula de Petroperú:

$$\text{PCI} = \text{PCS} - 1030 \left[\frac{\text{BTU}}{\text{Lbm}} \right]$$

$$\text{PCI} = 18380 - 1030$$

$$\text{PCI} = 17350 \frac{\text{BTU}}{\text{Lbm}}$$

Convirtiendo a $\left[\frac{\text{KJ}}{\text{Kg}} \right]$:

$$\text{PCI} = 17350 \frac{\text{BTU}}{\text{Lbm}} * \frac{1.055 \text{KJ}}{1 \text{ BTU}} * \frac{1 \text{ Lbm}}{0.453 \text{Kg}}$$

$$\text{PCI} = 40406.733 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}$$

T_{GC} : Temperatura máxima de combustión en el Hogar del calero (Temperatura promedio en hogares de calderas pirotubulares).

$$T_{GC} = 1100^{\circ}\text{C}$$

- h_{GC} : Entalpia Específica de los Gases Calientes.

$$h_{GC} = C_{pGC} * T_{GC}$$

C_{pGC} : Calor específico de los gases calientes. Anexo A.5

$$h_{GC} = 1.323 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg} \cdot ^{\circ}\text{C}} * 1100^{\circ}\text{C}$$

$$h_{GC} = 1455.3 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}$$

b) Calentador de petróleo industrial N°6:

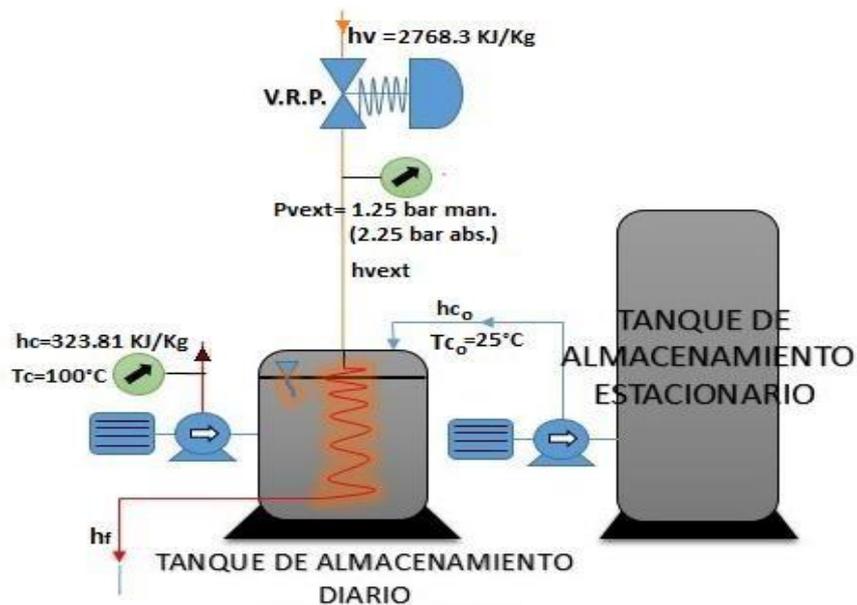


Figura 11: Variables de operación del calentador de petróleo (Tanque diario)

- h_{vext} : Entalpía específica del vapor de extracción (se considera igual a la entalpía del vapor de extracción, debido al proceso isoentálpico en la válvula reductora de presión)

$$h_{vext} = h_v = 2767.5 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}$$

- h_{c0} : Entalpía específica del combustible a condiciones en el tanque de almacenamiento a 25°C Tenemos:

$$C_p = 10^{-5}T_{co}^2 + 0.0025T_{co} + 2.8881$$

$$10^{-5}(25)^2 + 0.0025(25) + 2.8881 = \text{---}$$

$$2.9569 \text{ KgKJ}_o\text{C } C_p = 10$$

Por lo tanto:

$$h_{co} = C_p * T_{co}$$

$$\text{Kg C } o = 2.9569 \frac{\text{---}}{o} * 25 \quad h_c \quad \text{KJ} \quad o\text{C}$$

$$h_{co} = 73.9225 \text{ Kg---}$$

h_f : Entalpia especifica de líquido saturado del vapor de extracción, a condiciones de 2.25 bar absoluto. Anexo A.1

$$h_f = 520.7 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}$$

c) Tanque de condensado:



Figura 12: Variables de operación en el tanque de condensado

- Entalpia del vapor de condensado, a la temperatura de 80°C . Anexo A.1

$$h_{cd} = 334.9 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}$$

- Entalpia del agua de reposición, a la temperatura de 20°C . Anexo A.1

$$h_{ar} = 83.9 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}$$

3.2. Balances de masa y energía en planta térmica:

3.2.1. Balance de masa y energía en el hogar de la caldera:

Según se muestra en la figura 10, “variables de operación actual del caldero pirotubular APIN”, tenemos:

$$Q_a + Q_c = Q_{GC}$$

Donde:

Q_a : Potencia térmica del aire de combustión.

$$Q_a = \dot{m}_a * h_a$$

$$Q_a = (\dot{m}_c * R_{a/c}) * h_a$$

Q_c : Potencia térmica calorífica del aire de combustible.

$$Q_c = \dot{m}_c * (PCI + h_c) \quad Q$$

Q_{GC} Potencia térmica de los gases calientes.

$$Q_{GC} = \dot{m}_{GC} * h_{GC}$$

$$Q_{GC} = \dot{m}_c * R_{GC/c} * h_{GC}$$

$$\dot{Q}_{GC} = \dot{m}_c * (1 + R_{a/c}) * h_{GC}$$

Reemplazando:

$$\dot{m}_c * R_{a/c} * h_a + \dot{m}_c * PCI + h_c = \dot{m}_c * (1 + R_{a/c}) * h_{GC}$$

$$R_{a/c} * h_a + PCI + h_c = h_{GC} + R_{a/c} * h_{GC}$$

$$PCI + h_c - h_{GC} = R_{a/c} * h_{GC} - R_{a/c} * h_a$$

$$PCI + h_c - h_{GC} = R_{a/c} * (h_{GC} - h_a)$$

Despejando la relación aire combustible, Tenemos:

$$R_{a/c} = \frac{PCI + h_c - h_{GC}}{h_{GC} - h_a}$$

$$R_{a/c} = \frac{40406.733 + 323.81 - 1455.3}{1455.3 - 1.007}$$

$$= \frac{\text{Kg aire } R_{a/c}}{27 \text{ KgComb}}$$

a) Flujo másico de vapor real producido por el caldero:

Según la tabla 02, se tiene:

$$\dot{m}_v = 6.073 \frac{\text{TM}}{\text{h}}$$

En Kg/s:

$$\frac{\text{TM}}{3600\text{s}} * \frac{1000\text{Kg}}{1\text{h}} * \frac{1\text{h}}{\text{TM}} * \dot{m}_v = 6.073$$

$$= 1.68694 \frac{\text{Kg}}{\text{s}}$$

b) Flujo másico de combustible (Petróleo industrial N°6) consumido por el caldero:

Según la tabla 01, se tiene:

- Flujo Volumétrico de combustible:

$$V_c = 125.21 \frac{\text{Gal}}{\text{h}}$$

- Densidad absoluta del petróleo:

$$\rho_c = 3.62 \frac{\text{Kg}}{\text{Gal}}$$

Gal

- Flujo másico de combustible:

$$\dot{m}_c = V_c * \rho_c$$

$$\dot{m}_c = 125.21 \frac{\text{Gal}}{\text{h}} * 3.62 \frac{\text{Kg}}{\text{Gal}}$$

$$\dot{m}_c = 453.2602 \frac{\text{Kg}}{\text{h}}$$

En Kg/s:

$$\frac{453.2602}{\text{h}} \frac{\text{Kg}}{3600\text{s}} * \frac{1\text{h}}{3600\text{s}} = 0.1259 \text{ Kgcomb } \dot{m}_c =$$

c) Flujo másico de aire en quemador del caldero:

$$\dot{m}_a = R_{a/c} * \dot{m}_c$$

$$\dot{m}_a = 27 \frac{\text{Kg aire}}{\text{s}} * 0.1259 \frac{\text{Kgcomb}}{\text{KgComb}}$$

$$\dot{m}_a = 3.3993 \frac{\text{Kg aire}}{\text{s}}$$

d) Flujo másico de gases calientes o residuales:

$$\dot{m}_{GC} = (R_{a/c} + 1) * \dot{m}_c \dot{m}$$

$$GC = (27 + 1) * 0.1259$$

$$GC = 3.5252 \frac{\text{Kg gases } \dot{m}}{\text{s}}$$

3.2.2. Balance de masa y energía en calentador de petróleo:

Según se muestra en la figura 11, “variables de operación actual del calentador de petróleo (Tanque diario)”, tenemos:

$$\sum \dot{m}_e * h_e = \sum \dot{m}_s * h_s$$

$$\dot{m}_{\text{vext}} * h_{\text{vext}} + \dot{m}_c * h_{c0} = \dot{m}_{\text{vext}} * h_f + \dot{m}_c * h_c$$

$$\dot{m}_{\text{vext}} * (h_{\text{vext}} - h_f) = \dot{m}_c * (h_c - h_{c0})$$

$$\dot{m}_{\text{vext}} = \dot{m}_c * \frac{(h_c - h_{c0})}{h_{\text{vext}} - h_f}$$

El flujo másico de vapor de extracción para el calentamiento de petróleo sería:

$$\dot{m}_{\text{vext}} = \dot{m}_c * \frac{(h_c - h_{c0})}{h_{\text{vext}} - h_f}$$

Reemplazando:

$$\dot{m}_{\text{vext}} = \frac{0.1259 * (323.81 - 73.9225)}{2767.5 - 520.7}$$

$$\dot{m}_{\text{vext}} = 0.014 \frac{\text{Kg}}{\text{s}}$$

3.2.3. Balance de masa y energía en el tanque de condensado:

Según se muestra en la figura 12, “variables de operación en el tanque de condensado”, tenemos:

$$\sum \dot{m}_e * h_e = \sum \dot{m}_s * h_s$$

$$\dot{m}_{\text{vext}} * h_f + \dot{m}_{\text{cd}} * h_{\text{cd}} + \dot{m}_{\text{ar}} * h_{\text{ar}} = \dot{m}_{\text{a.a}} * h_{\text{agua}}$$

Nota: El flujo másico de agua de alimentación es equivalente al flujo másico de vapor producido por el caldero, debido a que el sistema se comporta como estable.

$$\dot{m}_{a.a} = \dot{m}_v = 1.68694 \frac{\text{Kg}}{\text{s}}$$

Reemplazando:

$$0.014 * 520.7 + \dot{m}_{cd} * 334.9 + \dot{m}_{ar} * 83.9 = 1.68694 * 313.9$$

$$334.9\dot{m}_{cd} + 83.9\dot{m}_{ar} = 522.24 \quad \dots \dots \dots (\varphi)$$

También:

$$\sum \dot{m}_e = \sum \dot{m}_s$$

$$\dot{m}_{vext} + \dot{m}_{cd} + \dot{m}_{ar} = \dot{m}_{a.a}$$

$$0.014 + \dot{m}_{cd} + \dot{m}_{ar} = 1.68694 \dot{m}$$

$$\dot{m}_{cd} + \dot{m}_{ar} = 1.67294$$

$$\dot{m}_{ar} = 1.67294 - \dot{m}_{cd} \quad \dots \dots \dots (\beta)$$

Reemplazando β en φ :

El flujo másico de condensado recuperado por la empresa sería:

$$334.9\dot{m}_{cd} + 83.9 * (1.67294 - \dot{m}_{cd}) = 522.24$$

$$\dot{m}_{cd} = 1.5214 \frac{\text{Kg}}{\text{s}}$$

Comentario: Actualmente la empresa recupera el 90.9% (1.5214/1.67294) del flujo másico de vapor producido por la caldera, en fase de condensado.

El flujo másico de agua de reposición, sería:

$$\dot{m}_{ar} = 1.67294 - 1.5214$$

$$\dot{m}_{ar} = 0.15154 \frac{\text{Kg}}{\text{s}}$$

3.2.4. Rendimiento energético del caldero pirotubular Apin, en condiciones actuales:

$$\eta_{\text{energ}} = \frac{\dot{m}_v * (h_v - h_{\text{agua}})}{Q_{\text{total}}} \text{ cald}$$

Es decir:

$$\eta_{\text{energ}} = \frac{\dot{m}_v * (h_v - h_{\text{agua}})}{\dot{m}_c * (R_{a/c} * h_a + \text{PCI} + h_c)} \text{ cald}$$

$$\eta_{\text{energ cald}} = \frac{1.68694 * (2767.5 - 313.9)}{0.1259 * (27 * 20.14 + 40406.733 + 323.81)}$$

$$\eta_{\text{energ}} = 0.7965 = 79.65\% \text{ cald}$$

3.3. Determinación de la Irradiancia solar en la ciudad de Trujillo (Ubicación de la planta térmica Alicorp S.A):

En la siguiente figura 13, se detalla la Irradiancia proveniente del sol, por cada Provincia del Departamento De La Libertad. Los datos fueron tomados con el mejor ángulo de inclinación de 45° para colectores solares planos.

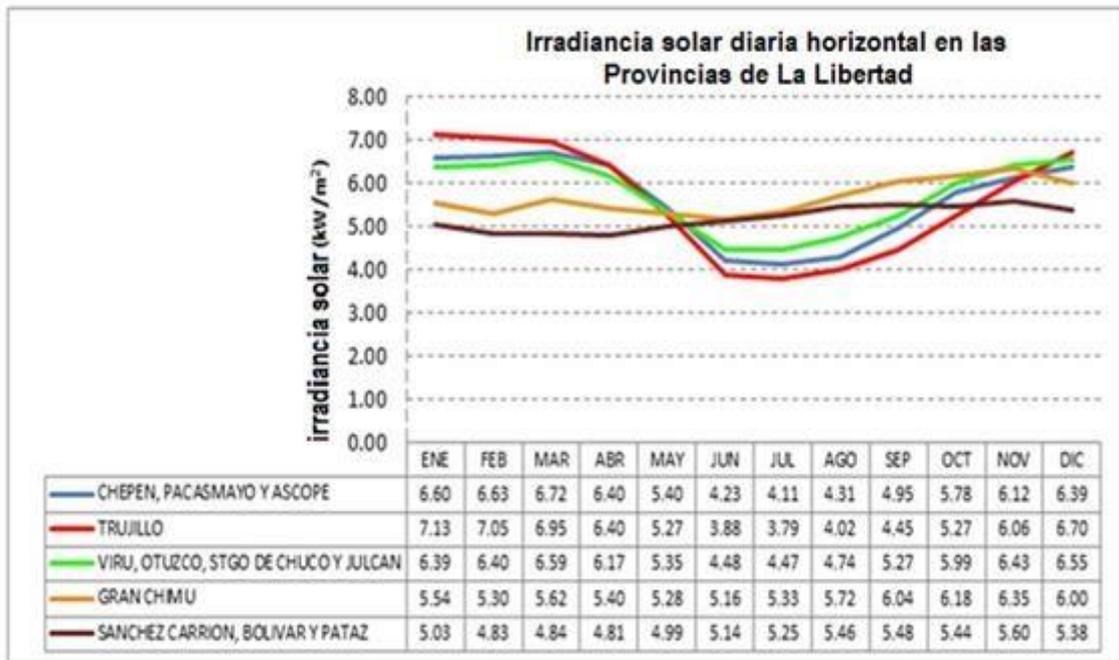


Figura 13. Irradiancia solar – Departamento De La Libertad

La empresa Alicorp, se encuentra en la ciudad de Trujillo, por lo tanto se considera con el valor más bajo de 3.79 ^{KW}___₂, con la finalidad de obtener el

m

dimensionamiento y el número de colectores necesarios para el calentamiento del agua de alimentación de 75°C a 105°C.

3.4. Selección de los colectores solares planos solares:

Seleccionamos del catálogo UNIVER SOLAR proveedor en el Perú, el colector solar plano OPS-V250, con las siguientes características que se muestran en la tabla 03.

Tabla 03. Parametros y dimensiones del colector solar plano OPS-V250

REFERENCIA		01010110/100405
Modelo		OPS-V250
Captador	Unidades	Valores
Dimensiones (Ancho x Alto x Profundo)	mm	1230 x 2030 x 92.5
Área bruta	m ²	2.50
Área de apertura	m ²	2.30
Número de cubiertas		1
Espesor de la cubierta	mm	4
Material de la cubierta		Vidrio templado de bajo contenido en hierro
Tubos verticales		11 tubos de cobre
Diámetro de los tubos verticales	mm	8
Separación entre tubos	mm	100
Tubos horizontales		2 tubos de cobre
Diámetro de los tubos horizontales	mm	22
Construcción tipo		Parrilla
Peso en vacío	kg	50.50
Peso en funcionamiento	kg	52.77
Material de la carcasa		Aluminio lacado gris
Absorbedor		
Tratamiento del absorbedor		SunSelect
Rendimiento óptico	%	78.6
Coefficiente de pérdidas k _i	W/m ² K	3.62
Aislamiento		Lana de Roca
Espesor aislamiento lateral y posterior	mm	20 / 50
Hidráulica		
Volumen fluido caloportador	litros	1.64
Fluido Caloportador		Propilenglicol
Presión de trabajo	bar	10
Presión de prueba	bar	15
Caudal recomendado	l/hm ²	50
Conexiones de tubo liso	mm	22
Temperatura de estancamiento *	°C	217 °C + T° ambiente

a) Dimensiones del colector plano seleccionado:

En la figura 14, se muestran las dimensiones principales del colector solar seleccionado. Anexo A.6

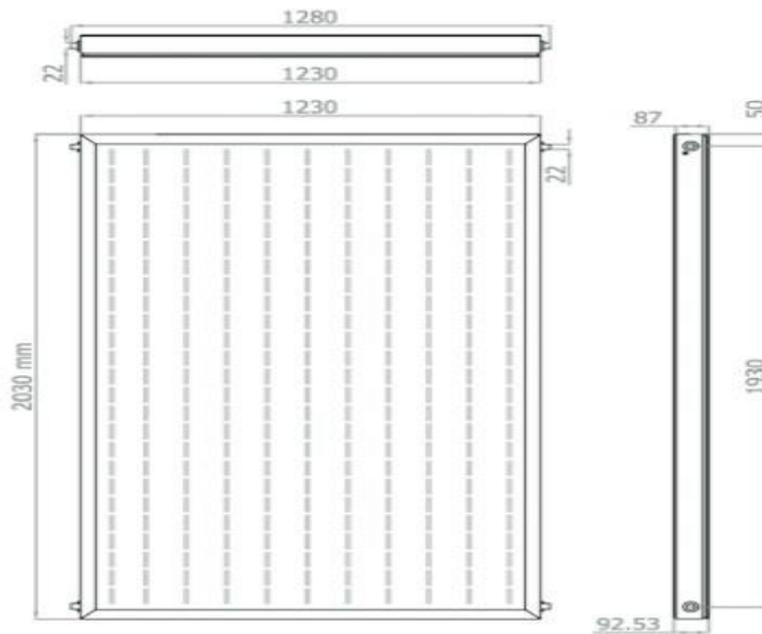


Figura 14: Dimensiones del colector OPS-V250

b) Rendimiento de operación del colector plano seleccionado:

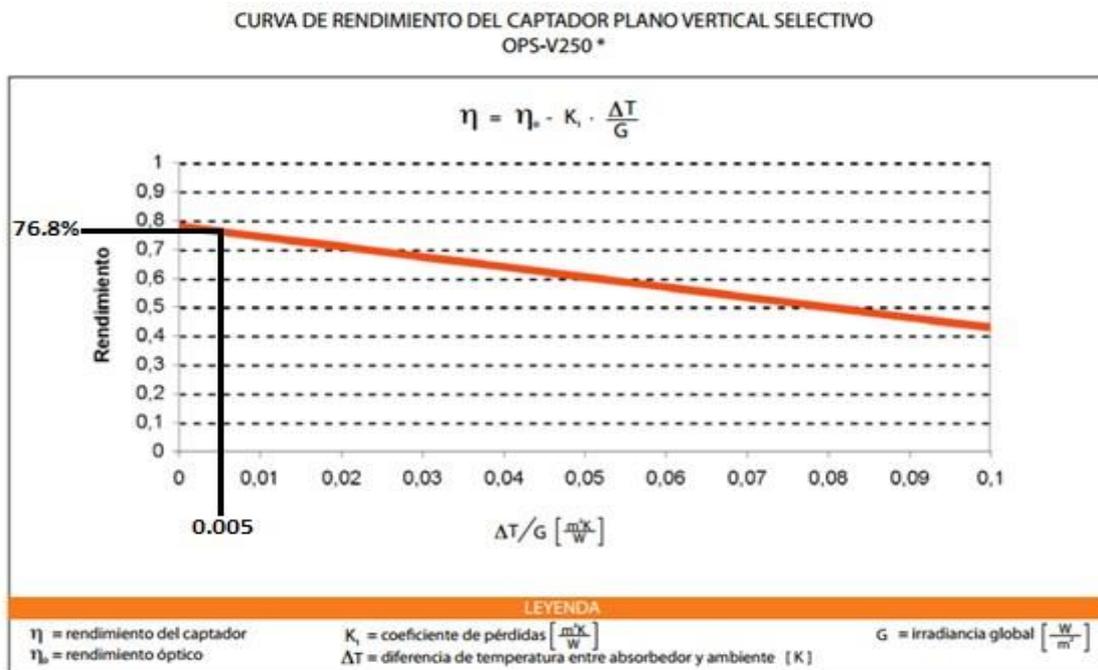


Figura 15: Pendiente del rendimiento del colector OPS-V250

Determinación de la variación de temperatura máxima lograda en el colector entre la Irradiancia promedio.

$$\frac{\Delta T}{G} = \frac{105^{\circ}\text{C} - 75^{\circ}\text{C}}{3790 \text{ mW}_2} =$$

$$\frac{\Delta T}{G} = 0.008 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}$$

Intersectando el valor de 0.008 con la pendiente, obtenemos un rendimiento de operación para el colector plano OPS-V250, según las condiciones de operación de la caldera de Apin de:

$$\eta_{\text{colector}} = 75.70\%$$

También se puede corroborar dicho resultado, según la siguiente ecuación:

$$\eta_{\text{colector}} = \eta_0 - K_1 * \frac{\Delta T}{G}$$

Donde:

η_0 : Rendimiento óptimo del colector, 78.6% (Ver tabla 03)

K_1 : Coeficiente de pérdidas, 3.62 $\text{m}^2\text{K} / \text{W}$ (Ver tabla 03)

Reemplazando:

$$\eta_{\text{colector}} = 0.786 - 3.62 * 0.008$$

$$\eta_{\text{colector}} = 0.757 = 75.70\%$$

3.5. Determinación de la superficie de transferencia de calor y número de colectores planos a instalar:

a) Potencia térmica útil ganada en colectores planos:

$$Q_{\text{util,C}} = \dot{m}_{\text{a.a}} * (h_{\text{agua con colectores}} - h_{\text{agua sin colectores}})$$

Tenemos:

$$\dot{m}_{\text{a.a}} = 1.68694 \frac{\text{Kg}}{\text{s}}$$

$h_{\text{agua con colectores}} = 440.2 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg colectores}}$, determinada a la temperatura de 105°C. Anexo A.1

$$h_{\text{agua sin colectores}} = 313.9 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}$$

$$Q_{\text{util}} = 1.68694 \frac{\text{Kg}}{\text{s}} * (440.2 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}} - 313.9 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}})$$

$$Q_{\text{util}} = 213.06 \text{ KW}$$

b) Superficie total a instalar con colectores planos Tenemos:

$$Q_{\text{util,C}} = G * A_t * (\eta_0 - K_1 * \frac{\Delta T}{G})$$

Es decir:

$$Q_{\text{util,C}} = G * A_t * \eta_{\text{colector}}$$

Dónde:

A_t : Área total de transferencia para la Irradiancia.

Reemplazando:

KW

$$\frac{213.06 \text{ KW}}{m} = 3.79 \frac{\text{---}}{2} * A_t * 0.757$$

Despejando el área:

$$A_t = 74.26 \text{ m}^2$$

c) Número de colectores solares:

$$N_c = \frac{A_t}{A_u}$$

A_u : Superficie útil o de apertura de un colector, 2.30 m² (Tabla 03)

Reemplazando:

$$N_c = \frac{74.26 \text{ m}^2}{2.30 \text{ m}^2}$$

$$N_c \cong 32 \text{ colectores}$$

Para calentar el agua de reposición de 75°C hasta 105°C, se necesitarán instalar 32 colectores planos.

3.6. Determinación del flujo másico de combustible y rendimiento energético en condiciones de mejora.

a) Flujo másico de combustible ahorrado con la instalación de colectores planos:

$$\Delta m_c = \frac{Q_{\text{util,C}}}{(PCI + h_c + R_{a/c} * h_a) * \eta_{\text{energ}}}$$

$$\Delta m_c = \frac{213.06}{(40406.733 + 323.81 + 27 * 20.14) * 0.7965}$$

$$\Delta m_c = 6.4809 * 10^{-3} \frac{\text{Kg}}{\text{s}} = 23.331 \frac{\text{Kg}}{\text{h}} = 6.445 \frac{\text{Gal}}{\text{h}}$$

b) Flujo másico de combustible en condiciones de mejora:

$$\begin{aligned} \dot{m}_{\text{comb. actual}} &= \dot{m}_{\text{comb.}} - \Delta \dot{m}_{\text{c mejora}} \\ &= 0.1259 - 6.4809 * 10^{-3} \text{ mejora} \end{aligned}$$

$$\dot{m}_{\text{comb.}} = 0.11942 \frac{\text{Kg}}{\text{h}} = 429.912 \frac{\text{Kg}}{\text{mejora S}}$$

c) Rendimiento energético del caldero Apin en condiciones de mejora:

$$\begin{aligned} \eta_{\text{energ. caldero mejora}} &= \frac{\dot{m}_v * (h_v - h_{\text{agua con}})}{\dot{m}_{\text{comb.}} * \text{PCI}_{\text{mejora}}} \\ &= \frac{1.68694 * (2767.5 - 440.2)}{0.11942 * 40406.733} \end{aligned}$$

$$\eta_{\text{energ}} = 0.8136 = 81.36\% \text{ cald}$$

3.7. Análisis ambiental

Análisis de combustión:

Composición másica promedio del petróleo Bunker.

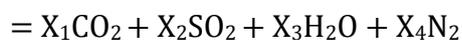
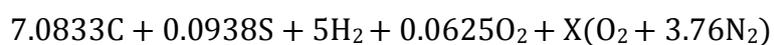
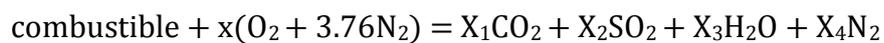
- Carbono: C = 85%
- Azufre: S = 3%
- Hidrogeno: H₂ = 10%
- Oxígeno: O₂ = 2%

- Determinación de la formulación química del combustible:

Tabla 04. Composición del petróleo industrial.

Composición	Masa (m)	Peso Molar (M)	Numero de Kmol n=m/M
C	85	12	7.0833
S	3	32	0.0938
H₂	10	2	5
O₂	2	32	0.0625

Análisis estequiometrico – combustión Perfecta:



*Balance de carbonos:

$$X_1 = 7.0833 \text{ Kmol} \quad \text{*Balance}$$

de Hidrógenos:

$$2 * 5 = 2X_3$$

$$X_3 = 5$$

*Balance de Azufres:

$$X_2 = 0.0938 \text{ Kmol} \quad \text{*Balance}$$

de Oxígenos:

$$X = 9.6146 \text{ Kmol} \quad \text{*Balance}$$

de Nitrógenos:

$$X_4 = 3.76 * X$$

$$X_4 = 3.76 * 9.6146$$

$$X_4 = 36.15 \text{ Kmol}$$

Relación dióxido de carbono/combustible:

$$44 \quad \text{KgCO}_2 = \frac{R_{\text{CO}_2}}{\text{Kgcombustible}} = \frac{1}{100} \frac{2}{\text{m}_{\text{cble}}} = \frac{2}{100 \text{ m}_{\text{cble}}} = 3.1 \quad \text{m} \quad X_{\text{CO}} \quad 7.0833 *$$

Relación dióxido de azufre/combustible:

$$64 \quad \text{KgSO}_2 = \frac{R_{\text{SO}_2}}{\text{Kgcombustible}} = \frac{2}{100} \frac{2}{\text{m}_{\text{cble}}} = \frac{4}{100 \text{ m}_{\text{cble}}} = 0.06 \quad \text{m} \quad X_{\text{SO}} \quad 0.0938 *$$

Masa de dióxido de carbono evacuado en condiciones actuales:

$$m_{\text{CO}_2} = R_{\text{CO}_2} * \dot{m}_{\text{cble}} * T_{\text{po cble}} \\ \text{actual}$$

Dato: las calderas operan 23 horas/día (8395 h/año)

$$453.2602 \quad \text{KgCO}_2 \quad \text{Kgcble} \quad 8395 \text{h} \quad T_{\text{M}} \quad m_{\text{CO}_2} = 3.1 \quad \text{_____} * \\ \text{_____} * \quad = 11796 \quad \text{_____}$$

3.8. Distribución y ubicación de los paneles solares, según el área disponible de la empresa Alicorp.

Según se muestra en la figura 16, la empresa tiene disponible de una área de 2925 m² (65mx45m), suficientes para la distribución y ubicación de los 32 colectores solares con una área unitaria de 2.5 m² ocupando en su totalidad 346.93 m² (21.18mx16.38m).

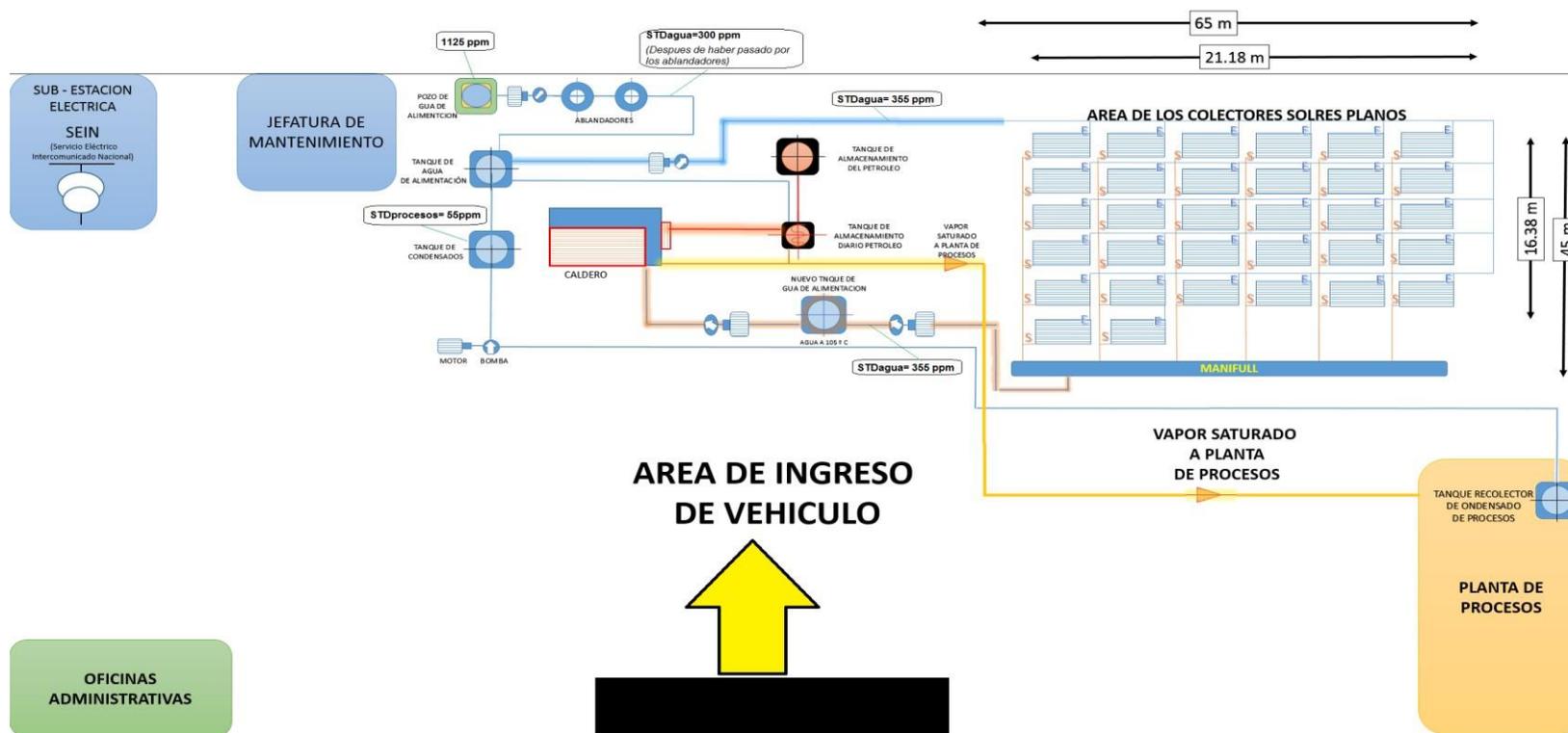


Figura 16: Distribución y ubicación de los Colectores Solares Planos

3.9. Beneficio en ahorro de combustible consumido en caldera pirotubular

- El ahorro en gal/año, sería:

$$\Delta \dot{m}_{\text{comb}} = \Delta m_c \left[\frac{\text{Gal}}{\text{h}} \right] * T \left[\frac{\text{h}}{\text{año}} \right]$$

La empresa trabaja en promedio, 8395 horas/año

$$\Delta \dot{m}_{\text{comb}} = 6.445 \frac{\text{Gal}}{\text{h}} * 8395 \frac{\text{h}}{\text{año}} \text{ anual}$$

$$\Delta \dot{m}_{\text{comb}} = 54105.775 \frac{\text{Gal}}{\text{año}} \text{ anual}$$

- El beneficio en ahorro de combustible:

$$B_{\text{comb.}} = \Delta \dot{m}_{\text{comb}} \text{ anual} * C_{\text{unitario comb.}}$$

Donde, el costo unitario del combustible petróleo industrial N°6, al valor que lo compra la empresa Alicorp es: 7 N.S /Gal

Reemplazando:

$$B_{\text{comb.}} = 54105.775 \frac{\text{Gal}}{\text{año}} * 7 \frac{\text{N.S}}{\text{Gal}}$$

$$B_{\text{comb.}} = 378740.4 \frac{\text{N.S}}{\text{año}}$$

3.8. Inversión en activos fijos

Tabla 05: Inversión del proyecto

Activo Fijo	Cantidad	Costo unitario (S./)	Costo total (S./)
Colector plano solar OPS –V250, 11 tubos de cobre, agua de 75°C a 105°C, superficie 2.50m ² , 76.80% de rendimiento, dimensiones: 1230mmx2030mmx92.5m, calor útil 213.06KW	32	2607.8	83449.6
Bomba de agua Hidrostal Monoblock A1C-06M (Colectores –Caldera), flujo másico 1.68694 ^{Kg} / _s , potencia 0.5HP a 3600RPM	1	110.00	110.00
Termómetros, Tipo sifón U, de 0°C a 120°C	2	273.00	546.00
Tuberías recolectoras de agua, ASTM A53, Dn=1/2 in, L=200m	34 (6m cada tubería)	55.60	1890.4
Manifold Recolector de agua a 105°C, ASTM A53, L=6m, Dn=2in	1	325.30	325.30
Estructuras OPS –V250, a 45°C	22	115.00	2530.00
Control automático para colector OPS – V250 (Válvula compuerta de 0.5in y válvula anti retorno de 0.5in)	22	170.00	3740.00
Tanque de agua de alimentación 1.75m de diámetro y 2.20 m de altura, ASTM A53, espesor 1/8in	1	8500.00	8500.00
Cimientos para colectores solares, 148.896 m ² (18.80mx7.92m), profundidad 0.10m	1	5000.00	5000.00
Mano de obra	1	22000.00	22000.00
Total			128,091.3

3.9. Retorno operacional de la Inversión

$$\text{PRI} = \frac{\text{INVERSION}}{\text{BENEFICIO}}$$

$$\text{PRI} = \frac{128091.3 \text{ N. S}}{\frac{\text{N. S}}{378740.4 \text{ año}}}$$

$$\text{PRI} = 0.34 \text{ año} \approx 4 \text{ meses}$$

3.10. Análisis financiero:

En la evaluación financiera, tenemos los siguientes datos:

$$\text{Beneficio: } 378740.4 \frac{\text{N.S}}{\text{año}} = 135264.4 \frac{\text{N.S}}{\text{año}} \$$$

$$\text{Inversión: } 128091.3 \text{ N. S} = 45746.89 \$$$

Tasa de interés: 11% (Tasa promedio BBVA Continental).

Periodo del préstamo: 10 años.

Tabla 06. Valor actual neto y tasa interna de retorno

ANALISIS FINANCIERO		
PLAN ALICORP S.A.A		
CALCULO DEL VAN Y TIR		
Años	Flujo de Fondos	Movimientos en el Periodo – Año
Inversión	-\$45,746.89	Costo Inicial del Proyecto
1	\$135,264.40	Beneficios Netos anuales
2	\$135,264.40	Beneficios Netos anuales
3	\$135,264.40	Beneficios Netos anuales
4	\$135,264.40	Beneficios Netos anuales
5	\$135,264.40	Beneficios Netos anuales

6	\$135,264.40	Beneficios Netos anuales
7	\$135,264.40	Beneficios Netos anuales
8	\$135,264.40	Beneficios Netos anuales
9	\$135,264.40	Beneficios Netos anuales
10	\$135,264.40	Beneficios Netos anuales
Total Ingresos	\$1,352,644	
Tasa de Interés:	11.00%	
TIR	296%	Tasa interna de Retorno
VAN	\$ 750,857	Valor Actual Neto

IV. DISCUSIÓN

4.1. Carbajal (2013) en su tesis: “Análisis del rendimiento energético de la caldera pirotubular Apin de 400 BHP a través del método indirecto en la empresa Alicorp - Trujillo.” Plantea mejoras, tales como: cambio de combustible de R-6 a Gas natural; instalación de un pre-calentador de aire, usando la temperatura de los gases de la chimenea; tratamiento de agua de alimentación por el método de osmosis inversa y el control automatizado de sistema de combustión, Obteniendo un rendimiento energético de la caldera de 90.36 % en comparación con la instalación solamente de colectores solares planos se logra un aumento del 81.36%.

4.2. Campos (2014), en su tesis: “Diseño de colectores solares para precalentar el agua de reposición de la caldera pirotubular intensa de 100BHP para reducir el costo de combustible en el hospital Belén –Trujillo” logro un ahorro de 2.24 gal/h en comparación con la caldera Apin de 400BHP que genera un ahorro para la empresa de 6.445 gal/h. Además se compara que él tenía como objetivo elevar la temperatura de 80 °c a 100°c, mientras que en la caldera Apin la temperatura se eleva de 75°c a 105°c sustentándose en la NTP 350.301-2008.

4.3. En la evaluación actual el rendimiento energético, se consideró una temperatura promedio del agua de alimentación en condiciones actuales de 75°C

y en mejora 105°C valor que es sugerido por las normas técnicas peruanas 350.301-2008.

4.4. Se tomaron valores del Atlas solar del Perú de la Irradiancia solar promedio mensual de las provincias de la Libertad, siendo de importancia para esta tesis según la ubicación de la empresa Alicorp S.A.A en la ciudad de Trujillo, teniendo un máximo de 7.13 KWh/m^2 en el mes de enero y un mínimo de 3.79 KWh/m^2 en el mes de junio.

4.5. Para determinar la superficie de Irradiancia total, depende de la temperatura de salida del agua de los colectores, rendimiento del colector, Coeficientes de pérdidas, temperatura ambiente y calor útil ganado por el agua en los colectores.

4.6. Se seleccionaron los colectores solares del catálogo IBERSOLAR, debido a que es un proveedor comercial en el Perú.

4.7. Para determinar la temperatura del agua de precalentamiento de los colectores, se consideró una temperatura de salida del agua de alimentación de 105°C , manteniendo el mismo flujo másico de agua de alimentación. 4.8. En el ahorro de combustible, se consideró un periodo máximo de 8395 h y

$\overline{\text{año}}$

en el análisis económico se consideró un costo unitario del combustible de $7 \frac{\text{USD}}{\text{Gal}}$, valor al cual lo compra la empresa Alicorp.

4.9. Para el análisis financiero se realizó con una tasa de interés del 11%, con periodo de 10 años, según la identidad bancaria BBVA continental.

4.10. Se consideró que la dureza del agua que ingresa a los colectores solares es la suma del STD de salida de los ablandadores (300 ppm) y STD de condensado (55 ppm), por lo que tendríamos una dureza del agua de alimentación en los colectores de 355 ppm.

4.11 Inicialmente se consideró una Irradiancia solar promedio en la ciudad de Trujillo igual a 5.581 KWh/m^2 obteniendo una diferencia de temperaturas entre el absorbedor y le medio ambiente (ΔT) de $0.005 \text{ m}^2\text{K}$ con un rendimiento para los

colectores de 76.80 %. Necesitando un área de transferencia de 49.71 m² que ascienden en número a 22 colectores, necesarios para elevar la T° de 75°C a 105°C. Ocupando un área total en la empresa de 148.896 m²(18.8mx7.92m), con separación tanto horizontal y vertical entre colector de 1 m. Teniendo una inversión en el proyecto de 45,746.89 \$ con un PRI de 4 meses. Un beneficio de 135,264.4 \$/año. Un TIR de 371% y VAN de 427,940.00 \$ con un periodo de préstamo financiado por el BBVA a 5 años, a una tasa de interés del 11%.

V. CONCLUSIÓN

5.1. El estudio técnico, económico y financiero de implementación de colectores planos solares para calentar el agua de alimentación de la caldera, si reducirán los costos de consumo de petróleo industrial N°6 en la Empresa Alicorp S.A.A. Logrando de esta manera aumentar la temperatura del agua de alimentación de 75°C a 105°C, obteniendo un aumento de 30°C mediante la implementación de colectores solares, trayendo consigo una reducción en el consumo de combustible de un 5.14% ahorrado en la caldera en operación.

5.2. Se analizó las condiciones actuales de la planta térmica a vapor saturado, encontrando: Presión máxima de servicio 8 bar absolutos, temperatura del agua de alimentación 75°C, temperatura de condensado 80°C, temperatura de combustible de 100°C, poder calorífico inferior del petróleo industrial N°6 40406.733 KJ/Kg, temperatura de agua de reposición 20°C y presión en válvula reductora de 2.25 bar absolutos.

5.3. Se concluye a través de un balance de masa y energía que el flujo másico de vapor real es 6.073 TM/h, flujo volumétrico de combustible 125.21 Gal/h, flujo másico de aire 3.3993 Kg/s, flujo másico de gases 3.5252 Kg/s, flujo másico de vapor de extracción 0.014 Kg/s, flujo másico de condensado 1.5214 Kg/s, flujo másico de agua de reposición 0.15154 Kg/s y rendimiento energético actual 79.65%.

5.4. Se concluye que según la ubicación de la empresa Alicorp S.A.A - Trujillo, lugar donde se instalarán los colectores solares, la Irradiancia promedio es

$$3.79 \frac{\text{KW}}{\text{m}^2}$$

5.5. Se concluye que los colectores planos a utilizar son del catálogo UNIVER SOLAR proveedor en el Perú, modelo: OPS-V250 con un rendimiento del 75.70%

5.6. Se determinó que la superficie para calentar el agua de alimentación de 75°C a 105°C debe ser de 74.26 m², con lo cual se instalarán 32 colectores.

5.7. Se concluye que en condiciones de mejora el flujo másico de combustible es 429.912 $\frac{\text{Kgcbte}}{\text{h}}$ con un ahorro de 6.445 Gal/h (5.14%) y un rendimiento energético de 81.36%.

5.8. Se concluye que la empresa tiene disponible una área de 2925 m² (65mx45m), suficientes para la distribución y ubicación de los 32 colectores solares con una área unitaria de 2.5 m² ocupando en su totalidad 346.93 m² (21.18mx16.38m).

5.9. La presente tesis permitirá reducir la masa de gases evacuados por el caldero en 608 TM/año de CO₂ y 11 TM/año de SO₂ contribuyendo al medio ambiente.

5.10. Se concluye que el presente estudio tendrá un beneficio 135264.4 \$/año, con una inversión de 45746.89 \$ y un retorno operacional de la inversión de 4 meses.

5.11. El presente estudio es factible financieramente con un TIR de 296% y un VAN de 750,857.00 \$.

VI. RECOMENDACIONES

- 6.1. Se recomienda capacitar al personal para la nueva tecnología a instalar.
- 6.2. Se recomienda realizar un diagrama de Gantt previsto para las diferentes tareas o actividades a lo largo de un tiempo total determinado.
- 6.3. Se recomienda invertir en la selección total de los colectores solares y así poder obtener su beneficio neto y retorno operacional de 4 meses.
- 6.4. Se recomienda realizar un plan de mantenimiento preventivo para la limpieza de los tubos de cobre en los colectores solares, para evitar las pérdidas de calor.
- 6.5. Se recomienda analizar la dureza del agua a la entrada de los colectores solares planos. Para evitar complicaciones en las tuberías de los colectores.
- 6.6. Se recomienda evaluar la Irradiancia solar exacta en la zona de ubicación de la planta industrial Alicorp (carretera a Salaverry, puerto de Salaverry).

VI. REFERENCIAS

Campos (2014), *Tesis para obtener el Grado de Ingeniero Mecánico. Realizada en la Universidad Cesar Vallejo, titulada: “Diseño de colectores solares para precalentar el agua de reposición de la caldera pirotubular intensa de 100bhp para reducir el costo e combustible en el hospital Belén –Trujillo”*

Carbajal (2013), *Tesis para obtener el Grado de Ingeniero Mecánico. Realizada en la Universidad Cesar Vallejo, titulada: “Análisis del rendimiento energético de la caldera pirotubular Apin de 400 BHP a través del método indirecto en la empresa Alicorp - Trujillo.”*

Esplugas, S. y Chamarro, M. (2005). *Fundamentos de Transmisión de Calor*. España: Publicaciones y Ediciones de la Universidad de Barcelona.

Fernández Díez, Pedro. 2000. Biblioteca sobre ingeniería energética . *Energía Solar*. [En línea] septiembre de 2000. [Citado el: 20 de junio de 2014.] <http://es.libros.redsauce.net/>. 0-08-034315-5.

Fernández Díez, Pedro. 2000. Biblioteca sobre ingeniería energética . *Colectores solares*. [En línea] septiembre de 2000. [Citado el: 18 de junio del 2015.] <http://es.libros.redsauce.net/>. 0-917352-05.

Fernández Díez, Pedro. 1996. *Termodinámica técnica*. España : Universidad de Cantabria. 84-89586-12-8.

Incropera, F. & De Witt, D. 1999. *Fundamentos de Transferencia de Calor*. México: Pearson Prentice Hall.

Martinez, Jose Francisco Arnau y Jacobi, Alberto Broatch. 2010. *Ejercicios Resueltos de Maquinas Termicas*. Primera. Valencia : Universitat Politecnica , 2010. pág. 239. 978-84-8363-591-9.

Rodríguez (2012), *Tesis para obtener el Grado de Ingeniero Físico. Realizada en la Universidad De Santiago De Chile, titulada: "Diseño, construcción y caracterización de un colector solar plano de aire"*

Wark, Kenneth y Donald E, Richards. 2001. *Termodinámica*. Sexta. Madrid : Concepcion Fernandez Madrid., 2001. págs. 607 -673. 84-481-2829-x.

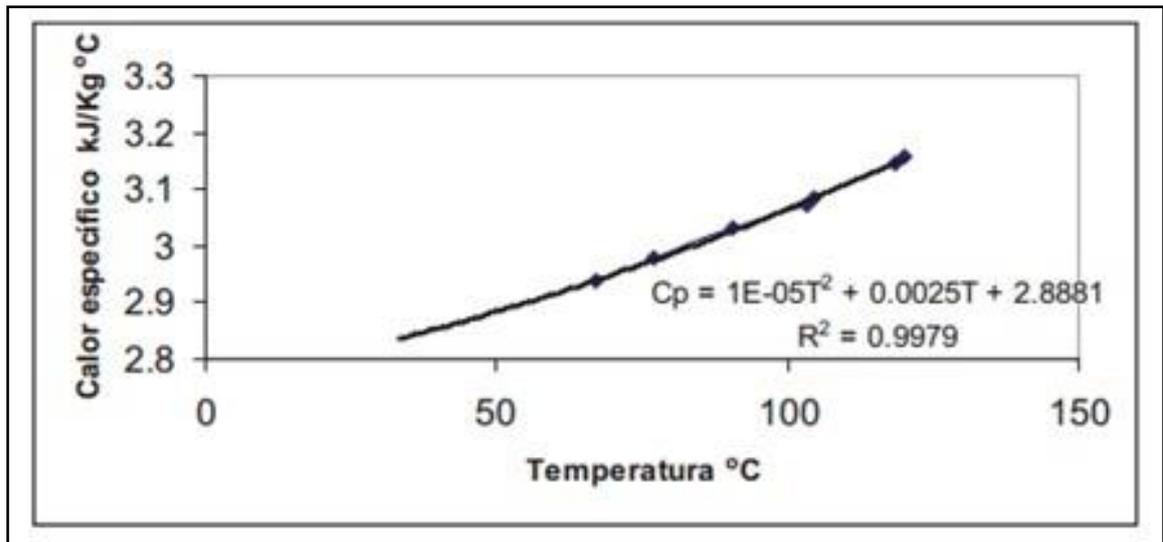
Viejo Zubicaray, Manuel. 2010. *Energías eléctricas y renovables*. Madrid : Limusa-Wiley, 2010. 9786070501760.

ANEXOS:

A.1. Propiedades del agua saturada

Steam Table (Complete Range) Saturation Zone Diagrams About											
P (bar)	T (°C)	x	v (m³/kg)	h (kJ/kg)	s (kJ/kg°C)	v' (m³/kg)	h' (kJ/kg)	s' (kJ/kg°C)	v'' (m³/kg)	h'' (kJ/kg)	s'' (kJ/kg°C)
8	170.414					0.001115	720.9	2.04571	0.24025	2767.5	6.65960
2.25	123.993					0.001064	520.7	1.57050	0.79297	2711.6	7.08734
1.208	105					0.001048	440.2	1.36300	1.41927	2683.7	7.29616
0.4736	80					0.001029	334.9	1.07525	3.40909	2643.8	7.61322
0.3855	75					0.001026	313.9	1.01544	4.1341	2635.4	7.68354
0.0234	20					0.001002	83.9	0.29629	57.8384	2538.2	8.66840

A.2. Curva especifica del petróleo industrial N°6:



A.3. Propiedades físicas del aire

Propiedades del aire a la presión de 1 atm							
Temp., T, °C	Densidad, ρ , kg/m ³	Calor específico, c_p , J/kg · K	Conductividad térmica, k , W/m · K	Difusividad térmica, α , m ² /s ²	Viscosidad dinámica, μ , kg/m · s	Viscosidad cinemática, ν , m ² /s	Número de Prandtl, Pr
-150	2.866	983	0.01171	4.158 × 10 ⁻⁶	8.636 × 10 ⁻⁶	3.013 × 10 ⁻⁶	0.7246
-100	2.038	966	0.01582	8.036 × 10 ⁻⁶	1.189 × 10 ⁻⁵	5.837 × 10 ⁻⁶	0.7263
-50	1.582	999	0.01979	1.252 × 10 ⁻⁵	1.474 × 10 ⁻⁵	9.319 × 10 ⁻⁶	0.7440
-40	1.514	1002	0.02057	1.356 × 10 ⁻⁵	1.527 × 10 ⁻⁵	1.008 × 10 ⁻⁵	0.7436
-30	1.451	1004	0.02134	1.465 × 10 ⁻⁵	1.579 × 10 ⁻⁵	1.087 × 10 ⁻⁵	0.7425
-20	1.394	1005	0.02211	1.578 × 10 ⁻⁵	1.630 × 10 ⁻⁵	1.169 × 10 ⁻⁵	0.7408
-10	1.341	1006	0.02288	1.696 × 10 ⁻⁵	1.680 × 10 ⁻⁵	1.252 × 10 ⁻⁵	0.7387
0	1.292	1006	0.02364	1.818 × 10 ⁻⁵	1.729 × 10 ⁻⁵	1.338 × 10 ⁻⁵	0.7362
5	1.269	1006	0.02401	1.880 × 10 ⁻⁵	1.754 × 10 ⁻⁵	1.382 × 10 ⁻⁵	0.7350
10	1.246	1006	0.02439	1.944 × 10 ⁻⁵	1.778 × 10 ⁻⁵	1.426 × 10 ⁻⁵	0.7336
15	1.225	1007	0.02476	2.009 × 10 ⁻⁵	1.802 × 10 ⁻⁵	1.470 × 10 ⁻⁵	0.7323
20	1.204	1007	0.02514	2.074 × 10 ⁻⁵	1.825 × 10 ⁻⁵	1.516 × 10 ⁻⁵	0.7309
25	1.184	1007	0.02551	2.141 × 10 ⁻⁵	1.849 × 10 ⁻⁵	1.562 × 10 ⁻⁵	0.7296
30	1.164	1007	0.02588	2.208 × 10 ⁻⁵	1.872 × 10 ⁻⁵	1.608 × 10 ⁻⁵	0.7282
35	1.145	1007	0.02625	2.277 × 10 ⁻⁵	1.895 × 10 ⁻⁵	1.655 × 10 ⁻⁵	0.7268
40	1.127	1007	0.02662	2.346 × 10 ⁻⁵	1.918 × 10 ⁻⁵	1.702 × 10 ⁻⁵	0.7255
45	1.109	1007	0.02699	2.416 × 10 ⁻⁵	1.941 × 10 ⁻⁵	1.750 × 10 ⁻⁵	0.7241
50	1.092	1007	0.02735	2.487 × 10 ⁻⁵	1.963 × 10 ⁻⁵	1.798 × 10 ⁻⁵	0.7228
60	1.059	1007	0.02808	2.632 × 10 ⁻⁵	2.008 × 10 ⁻⁵	1.896 × 10 ⁻⁵	0.7202
70	1.028	1007	0.02881	2.780 × 10 ⁻⁵	2.052 × 10 ⁻⁵	1.995 × 10 ⁻⁵	0.7177
80	0.9994	1008	0.02953	2.931 × 10 ⁻⁵	2.096 × 10 ⁻⁵	2.097 × 10 ⁻⁵	0.7154
90	0.9718	1008	0.03024	3.086 × 10 ⁻⁵	2.139 × 10 ⁻⁵	2.201 × 10 ⁻⁵	0.7132
100	0.9458	1009	0.03095	3.243 × 10 ⁻⁵	2.181 × 10 ⁻⁵	2.306 × 10 ⁻⁵	0.7111
120	0.8977	1011	0.03235	3.565 × 10 ⁻⁵	2.264 × 10 ⁻⁵	2.522 × 10 ⁻⁵	0.7073
140	0.8542	1013	0.03374	3.898 × 10 ⁻⁵	2.345 × 10 ⁻⁵	2.745 × 10 ⁻⁵	0.7041
160	0.8148	1016	0.03511	4.241 × 10 ⁻⁵	2.420 × 10 ⁻⁵	2.975 × 10 ⁻⁵	0.7014
180	0.7788	1019	0.03646	4.593 × 10 ⁻⁵	2.504 × 10 ⁻⁵	3.212 × 10 ⁻⁵	0.6992
200	0.7459	1023	0.03779	4.954 × 10 ⁻⁵	2.577 × 10 ⁻⁵	3.455 × 10 ⁻⁵	0.6974
250	0.6746	1033	0.04104	5.890 × 10 ⁻⁵	2.760 × 10 ⁻⁵	4.091 × 10 ⁻⁵	0.6946
300	0.6158	1044	0.04418	6.871 × 10 ⁻⁵	2.934 × 10 ⁻⁵	4.765 × 10 ⁻⁵	0.6935
350	0.5664	1056	0.04721	7.892 × 10 ⁻⁵	3.101 × 10 ⁻⁵	5.475 × 10 ⁻⁵	0.6937
400	0.5243	1069	0.05015	8.951 × 10 ⁻⁵	3.261 × 10 ⁻⁵	6.219 × 10 ⁻⁵	0.6948
450	0.4880	1081	0.05298	1.004 × 10 ⁻⁴	3.415 × 10 ⁻⁵	6.997 × 10 ⁻⁵	0.6965
500	0.4565	1093	0.05572	1.117 × 10 ⁻⁴	3.563 × 10 ⁻⁵	7.806 × 10 ⁻⁵	0.6986
600	0.4042	1115	0.06093	1.352 × 10 ⁻⁴	3.846 × 10 ⁻⁵	9.515 × 10 ⁻⁵	0.7037
700	0.3627	1135	0.06581	1.598 × 10 ⁻⁴	4.111 × 10 ⁻⁵	1.133 × 10 ⁻⁴	0.7092
800	0.3289	1153	0.07037	1.855 × 10 ⁻⁴	4.362 × 10 ⁻⁵	1.326 × 10 ⁻⁴	0.7149
900	0.3008	1169	0.07465	2.122 × 10 ⁻⁴	4.600 × 10 ⁻⁵	1.529 × 10 ⁻⁴	0.7206
1 000	0.2772	1184	0.07868	2.398 × 10 ⁻⁴	4.826 × 10 ⁻⁵	1.741 × 10 ⁻⁴	0.7260
1 500	0.1990	1 234	0.09599	3.908 × 10 ⁻⁴	5.817 × 10 ⁻⁵	2.922 × 10 ⁻⁴	0.7478
2 000	0.1553	1 264	0.11113	5.664 × 10 ⁻⁴	6.630 × 10 ⁻⁵	4.270 × 10 ⁻⁴	0.7539

Nota: Para los gases ideales, las propiedades c_p , k , μ y Pr son independientes de la presión. Las propiedades ρ , ν y α a una presión P (en atm) diferente de 1 atm se determinan al multiplicar los valores de ρ , ν y α a la temperatura dada, por P y al dividir ν y α entre P.
Fuente: Datos generados basándose en el software EES desarrollado por S. A. Klein y F. L. Alvarado. Fuentes originales: Keenan, Chao, Keyes, Gas Tables, Wiley, 198, y Thermophysical Properties of Matter, Vol. 3: Thermal Conductivity, Y. S. Touloukian, P. E. Liley, S. C. Saxena, Vol. 11: Viscosity, Y. S. Touloukian, S. C. Saxena y P. Hestermans, IFI/Plenum, NY, ISBN 0-30607020-8.

A.4. Propiedades físicas del petróleo industrial N°6 (Bunker)

Propiedades Físicas Petróleo Bunker	
Viscosidad Cinemática, cst @ 100°F	1033
Viscosidad Cinemática, cst @ 122°F	487
Cenizas, % en peso	0.06
Azufre, % en peso	1.36
BSW, % en volumen	0.08
Punto de inflamación, °C	112
Vanadio, ppm	160
Grado API @ 60°F	11.5
Punto de Fluidez	+15

A.5. Propiedades físicas del gas de combustión

T[°C]	ρ Kg [$\frac{—}{m^3}$]	Cp KJ [$\frac{—}{Kg^\circ K}$]	$\lambda * 10^2$ W [$\frac{—}{m^\circ K}$]	$a * 10^2$ m ² [$\frac{—}{h}$]	$\mu * 10^6$ [$\frac{—}{N \cdot s}$]	$\nu * 10^6$ m ² [$\frac{—}{seg}$]	Pr —
0	1,295	1,045			15,7842	12,2	0,72
100	0,95	1,0676			20,3949	21,54	0,69
200	0,748	1,0969			24,4955	32,80	0,67
300	0,617	1,1221			28,2331	45,81	0,65
400	0,525	1,1514			31,6863	60,38	0,64
500	0,457	1,1849			43,8549	76,30	0,63
600	0,405	1,2142	2,2794 3,1284 4,0123 4,8380 5,6987 6,5593 7,4199 8,2689 9,1528 10,0134 10,8973 11,7463 12,6185	6,08 11,10 17,60 25,16 35,04 43,61 54,32 66,17 79,09 92,87 109,21 124,37 141,27	37,8666	93,61	0,62
700	0,363	1,2393			40,6918	112,10	0,61
800	0,329	1,2644			43,3798	131,80	0,60
900	0,301	1,2895			45,9108	152,50	0,59
1000	0,275	1,3063			48,3633	174,30	0,58
1110	0,257	1,3230			50,7078	197,10	0,57
1200	0,24	1,3398			52,9936	221,0	0,56

A.6. Catalogo UNIVER SOLAR



UniverSolar

Profesionales de Energía Solar

Solar Térmica | Solar Fotovoltaica

Catálogo de Productos



CAPTADOR PLANO VERTICAL SELECTIVO OPS-V250

El captador plano vertical OPS-V250 posee un absorbedor de aluminio con recubrimiento selectivo (Sunselect) con tubos verticales de cobre en disposición de parrilla, unidos al absorbedor con soldadura láser. Se ofrece con un área de 2.50 m² de superficie. Están disponibles para sistemas de circulación natural y forzada.



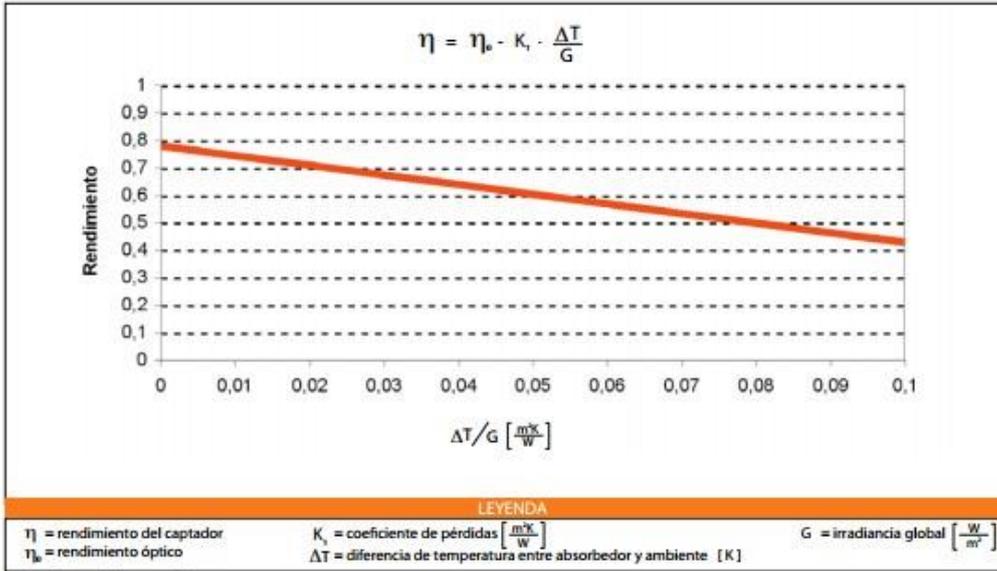
Información Técnica de Producto

- Material del absorbedor: láminas de aluminio y tubo de cobre.
- Tratamiento de la superficie del absorbedor: selectivo(Sunselect).
- Material de sellado: EPDM y silicona.
- Material de la carcasa (marco y cubierta trasera): aluminio.
- Material de aislamiento: lana de roca de 50 kg/ m³, con espesor de 50 mm.
- Garantía: 5 años.

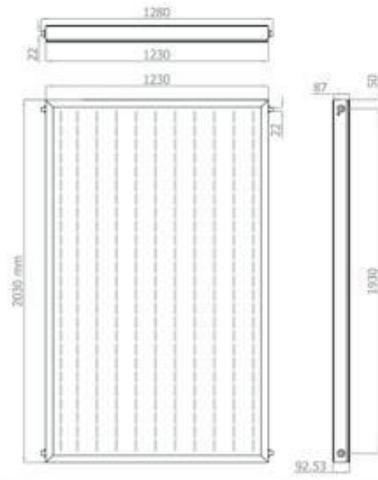


REFERENCIA		01010110/100405
Modelo		OPS-V250
Captador	Unidades	Valores
Dimensiones (Ancho x Alto x Profundo)	mm	1230 x 2030 x 92.5
Área bruta	m ²	2.50
Área de apertura	m ²	2.30
Número de cubiertas		1
Espesor de la cubierta	mm	4
Material de la cubierta		Vidrio templado de bajo contenido en hierro
Tubos verticales		11 tubos de cobre
Diámetro de los tubos verticales	mm	8
Separación entre tubos	mm	100
Tubos horizontales		2 tubos de cobre
Diámetro de los tubos horizontales	mm	22
Construcción tipo		Parrilla
Peso en vacío	kg	50.50
Peso en funcionamiento	kg	52.77
Material de la carcasa		Aluminio lacado gris
Absorbedor		
Tratamiento del absorbedor		SunSelect
Rendimiento óptico	%	78.6
Coefficiente de pérdidas k ₁	W/m ² K	3.62
Aislamiento		Lana de Roca
Espesor aislamiento lateral y posterior	mm	20 / 50
Hidráulica		
Volumen fluido caloportador	litros	1.64
Fluido Caloportador		Propilenglicol
Presión de trabajo	bar	10
Presión de prueba	bar	15
Caudal recomendado	l/hm ²	50
Conexiones de tubo liso	mm	22
Temperatura de estancamiento *	°C	217 °C + T* ambiente

CURVA DE RENDIMIENTO DEL CAPTADOR PLANO VERTICAL SELECTIVO
OPS-V250 *



* Homologación en trámite.



Cubierta plana 45°



Cubierta inclinada 0°



REFERENCIAS DE ESTRUCTURAS PARA CAPTADOR PLANO
VERTICAL SELECTIVO OPS-V250

Inclinación	1 Captador	2 Captadores
0°	01080110/100373	01080110/100375
45°	01080210/100374	01080210/100376
Racor de Unión	01090600/101241	
Tapón	01090600/100024	

A.7. Base de datos de control de proceso de planta de vapor:

A.7.1 TABLA 01 CONTROL DE PROCESOS DE LA PLANTAA VAPOR

alicorp SAA				CONTROL DE PROCESO PLANTA VAPOR																						
DATOS DIAS				CALDERO									Planta Pelletizado				Planta Extruido		Consumo Aditivo							
FECHA	TURNO	HORA	OPERADOR	Caldero	AGUA T° Ingreso Caldero °C	PETROLEO T° Tanque Diario °C	PETROLEO T° Tanque Dosificador °C	PETROLEO T° en quemador °C	PETROLEO Presión Quemador PSI	VAPOR Presion Atomizado r PSI	VAPOR Presion Linea Prin. PSI	VAPOR T°Linea Prin. °C	CHIMENE A T° Gases °C	Linea #4	Linea #5	Linea #6	Linea #7	Linea #8	Vacuum	Extrusora	Planta Piloto	Avantach Kg	Sal Industrial	Sulfito Kg	Drewcor Kg	
9	1	09:00	EAguilár	APIN	75	80	75	100	60	55	100	172	260	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI		90			
	1	11:00	EAguilár	APIN	75	80	75	100	62	52	100	170	250	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	2			1	
	1	13:00	EAguilár	APIN	75	80	75	100	70	52	100	170	250	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI					
	1	15:00	EAguilár	APIN	75	80	75	100	71	52	100	170	250	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI					
	2	17:00	J.Briceno	APIN	75	80	75	100	56	52	100	168	250	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	NO				
	2	19:00	J.Briceno	APIN	75	80	75	100	60	51	100	164	252	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	NO				
	2	21:00	J.Briceno	APIN	75	80	75	100	62	51	100	164	260	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	NO		80		
	2	23:00	J.Briceno	APIN	75	80	75	100	62	51	100	178	260	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	NO				
	3	01:00	Jlopez	APIN	75	80	75	100	60	52	100	164	262	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	NO				
10	3	03:00	Jlopez	APIN	75	80	75	100	63	52	100	172	275	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	2		2	1	
	3	05:00	Jlopez	APIN	75	80	75	100	62	52	100	172	278	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	NO		80		
	3	07:00	Jlopez	APIN	75	80	75	100	61	52	100	171	283	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	NO				
	1	09:00	EAguilár	APIN	75	80	75	100	65	55	100	170	280	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI					
	1	11:00	EAguilár	APIN	75	80	75	100	69	55	100	170	260	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	2			1	
	1	13:00	EAguilár	APIN	75	80	75	100	72	55	100	168	260	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI		170			
	1	15:00	EAguilár	APIN	75	80	75	100	77	55	100	178	250	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI					
	2	17:00	J.Briceno	APIN	75	80	75	100	52	52	100	177	250	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	NO				
	2	19:00	J.Briceno	APIN	75	80	75	100	58	52	100	170	260	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	NO			2	
2	21:00	J.Briceno	APIN	75	80	75	100	62	52	100	172	270	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	NO		170			
2	23:00	J.Briceno	APIN	75	80	75	100	58	52	100	166	260	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	NO					
3	01:00	Jlopez	APIN	75	80	75	100	58	52	100	174	286	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	NO					
3	03:00	Jlopez	APIN	75	80	75	100	60	50	100	175	285	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	NO					
3	05:00	Jlopez	APIN	75	80	75	100	61	51	100	174	285	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	NO	2	160		1	

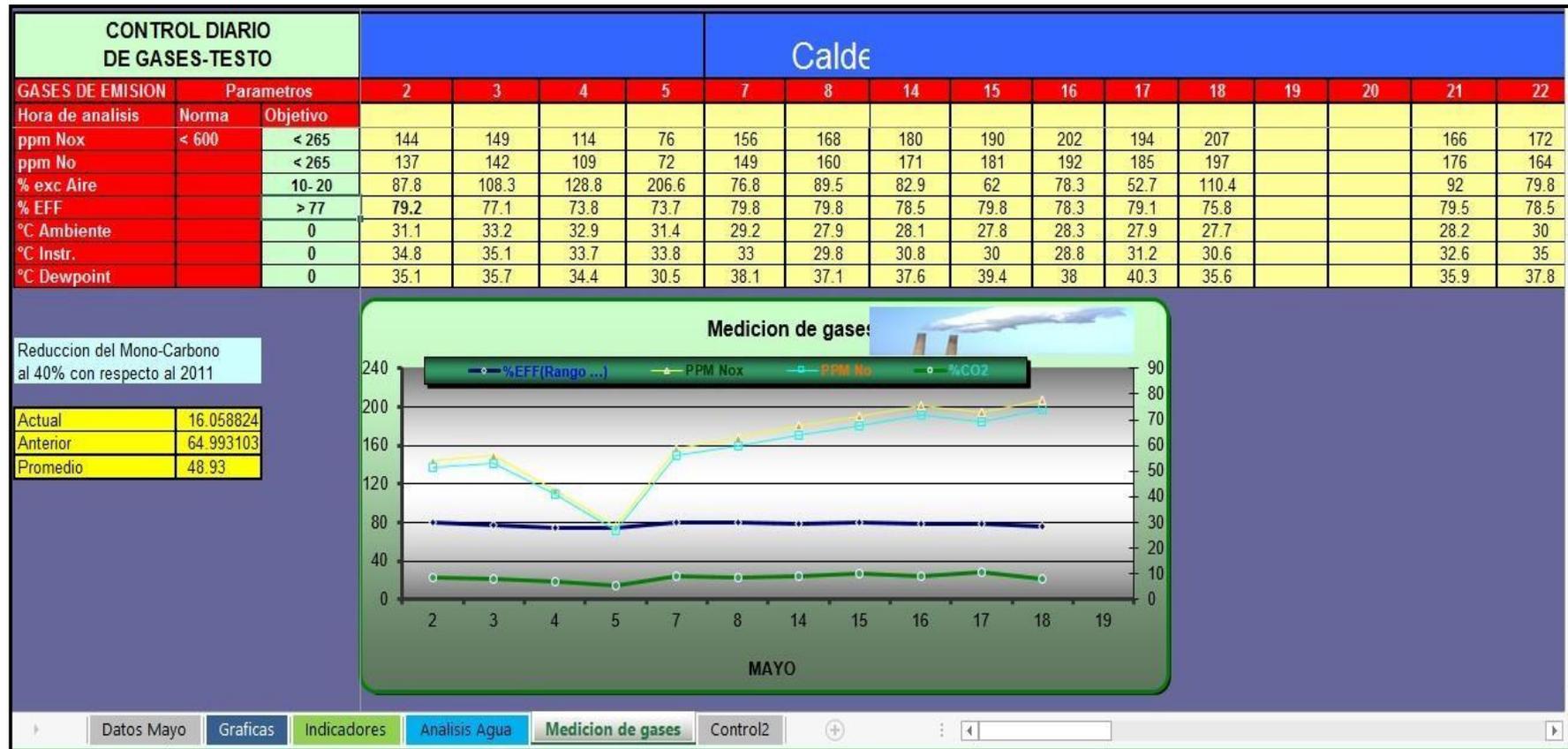
A.7.2 TABLA 02 CONTROL DE PROCESOS DE LA PLANTAA VAPOR

MES MAYO	Cons. vapor Peletiz. (Ton)	Cons. vapor Extruido (Ton)	Total Vapor Gener. (Ton)	Cons. Petroleo o Peletiz. (gln)	Cons. Petroleo Extruido (gln)	Cons. Petroleo Total (gln)	ACUM	Prod. Peletiz. (Ton)	Prod. Extruido (Ton)	Prod. Total (Ton)	ACUM	(gln/Ton. vapor) Peletiz.	(gln/Ton. vapor) Extruido	(TN Vp/TN) Peletiz. Obj = 0.145	(TN Vp/TN) Extruido. Obj = 0.850	Eficiencia Gener. (Gln/TN Vp) Obj = 20	Eficiencia Uso (Gln/TN PT) Obj = 3.3	Total (TN Vp/TN PT) Obj = 0.175
4	71.68	27.26	98.95	1,340	510	1,850	7,013	565.4	40.255	605.66	2,146.04	18.70	18.70	0.127	0.677	20.72	3.27	0.163
5	66.21	19.59	85.80	1,455	431	1,886	8,899	571.6	30.070	601.67	2,747.71	21.98	21.98	0.116	0.651	20.97	3.24	0.143
6	70.96	29.64	100.60	1,394	582	1,976	10,875	541.3	37.830	579.09	3,326.80	19.64	19.64	0.131	0.783	20.72	3.27	0.174
7	63.12	22.76	85.88	647	233	880	11,755	458.0	30.390	488.39	3,815.19	10.25	10.25	0.138	0.749	19.25	3.08	0.176
8	68.74	22.42	91.16	1,357	443	1,800	13,555	489.9	30.330	520.23	4,335.42	19.75	19.75	0.140	0.739	19.31	3.13	0.175
9	76.76	32.00	108.76	1,306	544	1,850	15,405	521.7	55.680	577.38	4,912.80	17.01	17.01	0.147	0.575	19.00	3.14	0.188
10	68.82	29.49	98.31	1,376	590	1,850	17,255	493.0	45.706	538.71	5,451.50	20.00	20.00	0.140	0.645	18.98	3.17	0.182
11	74.22	19.64	93.86	1,516	401	1,917	19,172	546.2	28.881	575.08	6,026.58	20.42	20.42	0.136	0.680	19.12	3.18	0.163
12	63.70	28.83	92.53	1,326	600	1,926	21,098	491.4	41.238	532.64	6,559.22	20.81	20.81	0.130	0.699	19.26	3.22	0.174
13	66.11	14.17	80.28	1,421	305	1,726	22,824	577.0	24.390	601.42	7,160.64	21.50	21.50	0.115	0.581	19.41	3.19	0.133
14	60.37	13.26	73.63	1,309	287	1,596	24,420	478.6	14.840	493.44	7,654.08	21.68	21.68	0.126	0.893	19.55	3.19	0.149
15	74.03	16.26	90.29	1,620	356	1,976	26,396	582.2	25.235	607.44	8,261.52	21.89	21.89	0.127	0.644	19.70	3.20	0.149
16	74.00	31.04	105.05	1,370	574	1,944	28,340	500.9	41.645	542.55	8,804.06	18.51	18.51	0.148	0.745	19.62	3.22	0.194
17	69.32	24.34	93.66	1,369	481	1,850	30,190	544.3	27.555	571.86	9,375.92	19.75	19.75	0.127	0.883	19.63	3.22	0.164
18	65.91	13.04	78.95	1,503	297	1,800	31,990	492.7	24.740	517.40	9,893.32	22.80	22.80	0.134	0.527	19.78	3.23	0.153
19	79.21	28.53	107.74	1,570	565	2,135	34,125	637.0	42.110	679.11	10,572.43	19.82	19.82	0.124	0.677	19.78	3.23	0.159
20	65.79	20.68	86.47	1,255	395	1,650	35,775	509.9	29.680	539.58	11,112.01	19.08	19.08	0.129	0.697	19.75	3.22	0.160
21	62.30	19.21	81.51	1,315	405	1,720	37,495	484.6	27.255	511.86	11,623.86	21.10	21.10	0.129	0.705	19.81	3.23	0.159
22	68.56	17.20	85.76	1,159	291	1,450	38,945	577.2	20.930	598.13	12,221.99	16.91	16.91	0.119	0.822	19.68	3.19	0.143
23	67.64	11.83	79.47	1,549	271	1,820	40,765	559.0	13.872	572.87	12,794.86	22.90	22.90	0.121	0.853	19.81	3.19	0.139
24	63.83	11.95	75.78	1,799	337	2,136	42,901	538.1	15.930	553.98	13,348.84	28.19	28.19	0.119	0.750	20.10	3.21	0.137
25	67.17	23.13	90.30	1,314	452	1,766	44,667	525.6	34.234	559.83	13,908.68	19.56	19.56	0.128	0.676	20.08	3.21	0.161
26	69.90	32.73	102.63	1,278	598	1,876	46,543	627.6		627.60	14,536.28	18.28	18.28	0.111	0.000	20.00	3.20	0.164
27	70.85	19.26	90.11	1,533	417	1,950	48,493	642.2		642.20	15,178.48	21.64	21.64	0.110	0.000	20.06	3.19	0.140
28	63.98	12.49	76.48	1,380	270	1,650	50,143	573.2	21.660	594.86	15,773.34	21.58	21.58	0.112	0.577	20.11	3.18	0.129
29	65.88	27.96	93.84	1,492	633	2,125	52,268	581.3	33.795	615.10	16,388.43	22.65	22.65	0.113	0.827	20.20	3.19	0.153
30	67.17	27.98	95.16	1,235	515	1,750	54,018			0.00	16,388.43	18.39	18.39	0.000	0.000	20.14	3.30	0.000
ultado a: /06/2015	-3,305	-1,104	-4,409	42,235	13,375	55,494	55,494	15,551	837	16,388	16,388			-0.213	-1.319	-12.59	3.39	-0.269

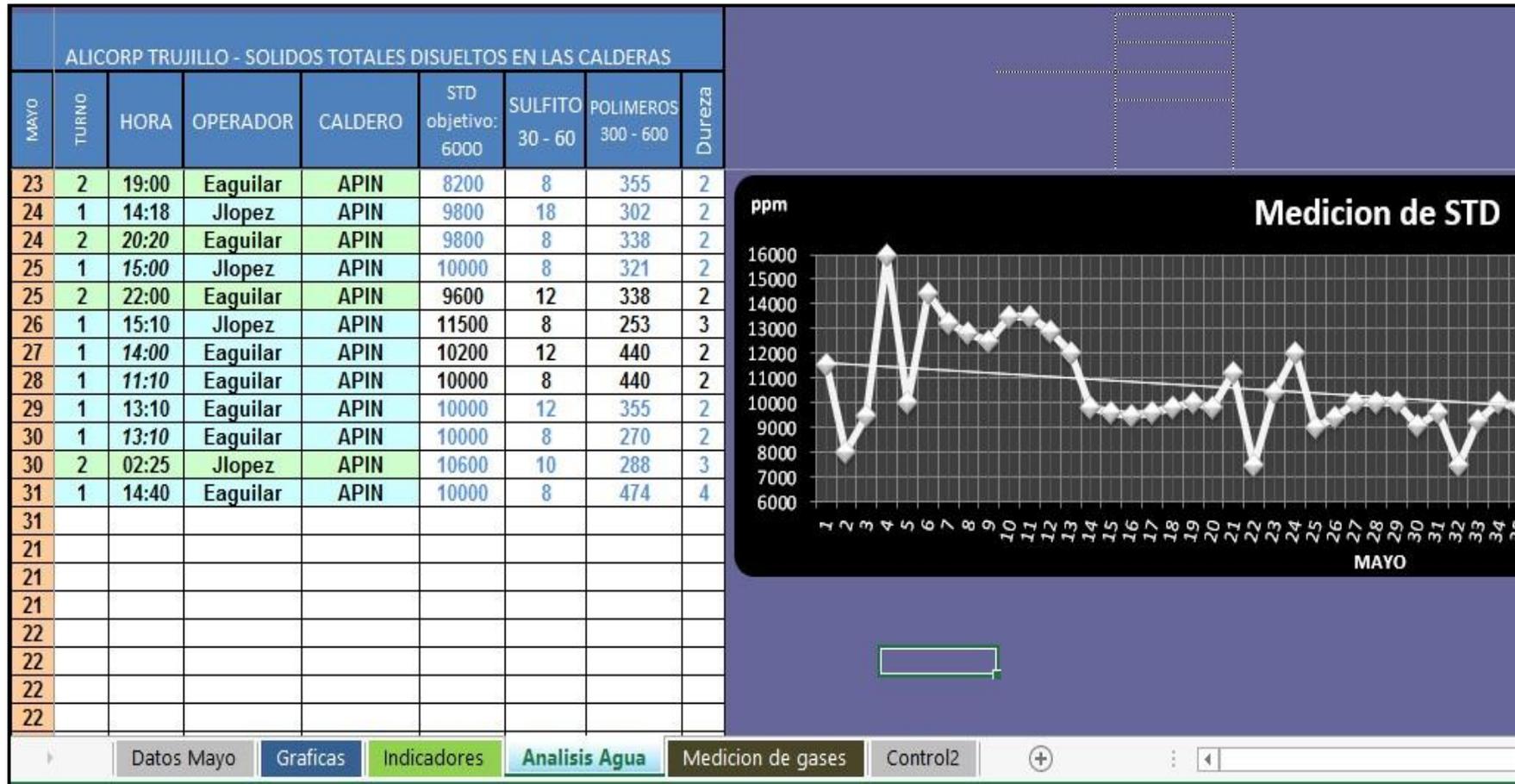
A.7.3. TABLA 03 REGISTROS DEL CONSUMO DE VAPOR Y PETROLEO

alicorp SAA					CONSUMO VAPOR Planta Pelletizado				CONSUMO VAPOR Planta Extruido				PETROLEO (Gln)			PETROLEO Gln / TN Vp		VAPOR GENER (TN)	CONSUM O PETROLE O (Gln) Pelletizad o	CONSUM O PETROLE O (Gln) Extruido
DATOS DIAS					ACUM.	Consumo (Kg Vp)	Consumo Turno (TN Vp)	Consumo Dia (TN Vp)	ACUM.	Consumo (Kg Vp)	Consumo Turno (TN Vp)	Consumo Dia (TN Vp)	ACUM.	Consumo (Gln) Item	Consumo (Gln) Dia	Turno	Dia			
FECHA	TURNO	HORA	OPERADOR	Caldero																
	3	03:00	Jlopez	APIN	4163370	6550	26.178		1407267	1192	3.575		225	148		25.2				
	3	05:00	Jlopez	APIN	4174560	11190		1407267	0	0		225								
	3	07:00	Jlopez	APIN	4177420	2860		1407267	0	-250		250								
14	1	09:00	J.Briceno	APIN	4182564	5144	20.323	60.4	1407267	0	0.000	13.3	1350	126	1596	23.4	21.68	73.627	1309	287
	1	11:00	J.Briceno	APIN	4185919	3355			1407267	0			1200	150						
	1	13:00	J.Briceno	APIN	4192274	6355			1407267	0			1100	100						
	1	15:00	J.Briceno	APIN	4197743	5469			1407267	0			1000	100						
	2	17:00	Jlopez	APIN	4202991	5248			1408568	1301			888	112						
	2	19:00	Jlopez	APIN	4208068	5077			1411000	2432			756	132						
	2	21:00	Jlopez	APIN	4212636	4568			1413352	2352			618	138						
	2	23:00	Jlopez	APIN	4216999	4363			1415001	1649			500	118						
	3	01:00	E.Aguilar	APIN	4220660	3661			1415960	959			400	100						
	3	03:00	E.Aguilar	APIN	4226060	5400			1415960	0			300	100						
	3	05:00	E.Aguilar	APIN	4231020	4960			1417865	1905			0	300						
3	07:00	E.Aguilar	APIN	4237792	6772	1420522	2657	-120	120											
15	1	09:00	J.Briceno	APIN	4244057	6265	25.469	74.0	1423297	2775	6.898	16.3	1350	126	1976	20.1	21.89	90.287	1620	356
	1	11:00	J.Briceno	APIN	4250022	5965			1425472	2175			1200	150						
	1	13:00	J.Briceno	APIN	4256877	6855			1427420	1948			1100	100						
	1	15:00	J.Briceno	APIN	4263261	6384			1427420	0			1000	100						
	2	17:00	Jlopez	APIN	4268690	5429			1427420	0			879	121						
	2	19:00	Jlopez	APIN	4275320	6630			1429140	1720			755	124						
2	21:00	Jlopez	APIN	4280921	5601	1429140	0	620	135											

A.7.4 TABLA 04 CONTROL DIARIO DE GASES-TESTO



A.7.5. TABLA 05 CONTROL DE SOLIDOS TOTLES DISUELTOS



A.8. SENAMHI

WEB: <http://www.senamhi.gob.pe/>

The screenshot displays the Senamhi website interface. At the top, there is a navigation bar with links for Inicio, Buscador, Mapa de sitio, Enlaces, and contáctenos. Below this, the Senamhi logo and the text 'Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú' are visible. A secondary navigation bar includes links for Tiempo, Clima, Agua, Medio Ambiente, and Agrometeo. On the left side, a vertical menu lists services such as Atención al Público, Publicaciones, and Proyectos y Convenios. The main content area features a 'Información del Tiempo Clima y Agua' section with a map of Peru showing weather icons for various cities like Tumbes, Piura, Chiclayo, Trujillo, Huaraz, Pasco, Pucallpa, Lima, Ica, Ayacucho, Cusco, and Puno. A 'RADIACION ULTRAVIOLETA' warning is also present. To the right, there are sections for 'Avisos' (Meteorológico and Hidrológica), 'Actualidad' (Proximos Eventos Científicos and Convocatorias de Empleo), and 'Información Turística' (Localidades Cercanas a Lima, Principales ciudades del Perú, and Principales ciudades del Perú (mensual)). A 'Portal de Transparencia Estandar' link is also visible.

ATLAS DE ENERGIA SOLAR DEL PERU

Anexo 3: Relación de estaciones meteorológicas utilizadas

CODIGO	ESTACION	DEPARTAMENTO	PROVINCIA	LAT	LONG	ALT (msnm)
				(S)	(W)	
110110	El Estrecho	Loreto	Maynas	2°35'	72°45'	240
110130	Rica Playa	Tumbes	Tumbes	3°48'	80°27'	29
110132	Puerto Pizarro	Tumbes	Tumbes	3°30'	80°28'	1
110133	Zarumilla	Tumbes	Zarumilla	3°30'	80°17'	1
110134	Papayal	Tumbes	Zarumilla	3°34'	80°14'	1
110135	El Salto	Tumbes	Zarumilla	3°26'	80°19'	1
110136	Cafalveral	Tumbes	C. Villar	3°56'	80°39'	1
110172	Tamshiyacu	Loreto	Maynas	4°00'	73°09'	141
110176	San Roque	Loreto	Maynas	3°45'	73°15'	126
110390	Juancito	Loreto	Requena	6°02'	74°52'	150
110398	Salpo	La Libertad	Otuzco	8°00'	78°37'	3400
110412	Tayabamba	La Libertad	Pataz	8°17'	77°17'	3250
110441	Recusay	Ancash	Recusay	9°43'	77°27'	3462
110445	Chavin	Ancash	Huari	9°35'	77°10'	3140
110463	Tocache	San Martin	Tocache	8°11'	76°31'	512
110466	La Morada	Huanuco	Huacaybamba	8°45'	76°09'	542
110467	Panao (los Molinos)	Huanuco	Pachitea	9°55'	76°03'	2600
110480	Toumavista	Huanuco	Puerto Inca	8°50'	74°45'	185
110240	Tabaconas	Cajamarca	San Ignacio	5°20'	79°17'	1800
110241	El Limon	Cajamarca	Jaen	5°55'	79°19'	1133
110242	San Ignacio	Cajamarca	Jaen	5°08'	78°59'	1283
110247	San Miguel	Piura	Piura	5°14'	80°41'	29
110250	Chontali	Cajamarca	Jaen	5°21'	80°42'	476
110253	Bagua Chica	Amazonas	Utcubamba	5°39'	78°32'	434
110255	Chulucanas	Piura	Monropon	5°06'	80°10'	95

CODIGO	ESTACION	DEPARTAMENTO	PROVINCIA	LAT	LONG	ALT (msnm)
				(S)	(W)	
110601	La Punta	Lima	Callao	12°04'	77°10'	13
110631	La Capilla 2	Lima	Cañete	12°31'	76°33'	468
110632	Isla Chincha Norte	Ica	Pisco	13°38'	76°23'	20
120301	Lambayeque	Lambayeque	Lambayeque	6°42'	79°55'	18
120325	Talla (Guadalupe)	La Libertad	Pacasmayo	7°16'	79°25'	150
120343	Huambos	Cajamarca	Chota	6°27'	78°57'	2294
120362	Bambamarca	Cajamarca	Hualgayoc	6°40'	78°31'	2536
110681	Ocobamba	Cuzco	La Convención	12°50'	72°26'	1900
110686	Paruro	Cuzco	Paruro	13°46'	71°50'	3084
110689	Paucartambo	Cuzco	Paucartambo	13°19'	71°35'	3042
110691	Pilcopata	Cuzco	Paucartambo	13°05'	71°01'	900
110693	Quincemil	Cuzco	Quispicanchi	13°13'	70°45'	850
110698	Rio Grande	Ica	Palpa	14°32'	75°13'	280
110702	San Borja	Ica	Palpa	14°31'	75°10'	370
110703	Pangaravi	Ica	Nazca	14°50'	74°37'	550
110710	Condorama	Arequipa	Caylloma	15°24'	71°18'	4160
110714	Pedregal	Ayacucho	Lucanas	14°25'	74°26'	4100
110715	Huayllapampa	Cuzco	Cuzco	13°34'	71°26'	3230
110727	Copara	Ica	Nazca	14°58'	74°54'	620
110730	Ocucaje	Ica	Ica	14°23'	75°40'	330
110736	Puquio	Ayacucho	Lucanas	14°42'	74°08'	3215
110737	Andamarca	Ayacucho	Lucanas	14°23'	73°58'	3490
110741	Chaparra	Arequipa	Caraveli	15°45'	73°52'	1140
110743	Coracora	Ayacucho	Parinacochas	15°01'	73°47'	3200
110744	Incuyc	Ayacucho	Parinacochas	15°15'	73°34'	3296

Anexo 4: Promedios climáticos de temperaturas extremas (máxima y mínima) de las estaciones meteorológicas utilizadas

N°	CODIGO	ESTACION	TEMPERATURAS EXTREMAS			
			Máxima		Mínima	
			Promedio	Desv.Estánd.	Promedio	Desv.Estánd.
1	110110	El Estrecho	31,3	1,8	21,7	1,1
2	110130	Rica Playa	32,6	2,0	21,3	1,9
56	110398	Salpo	17,1	1,7	7,3	2,0
57	110412	Tayabamba	16,6	1,8	6,5	1,4

N°	CODIGO	ESTACION	TEMPERATURAS EXTREMAS			
			Máxima		Mínima	
			Promedio	Desv.Estánd.	Promedio	Desv.Estánd.
100	110736	Puquio	17,3	1,9	4,2	2,5
101	110737	Andamarca	21,4	2,5	3,2	2,8
150	120325	Talla	27,7	2,6	16,9	3,2
151	120343	Huambos	19,5	2,2	11,6	1,2

