



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE
INGENIERÍA EN ENERGÍA**



**“ESTUDIO DE LA REDUCCIÓN DEL CONSUMO DE
COMBUSTIBLE MEDIANTE EL EMPLEO DE COLECTORES
SOLARES PARA EL PRECALENTAMIENTO DEL AGUA EN
CALDERAS PIROTUBULARES - HOSPITAL REGIONAL
ELEAZAR GUZMÁN BARRÓN - NVO. CHIMBOTE”**

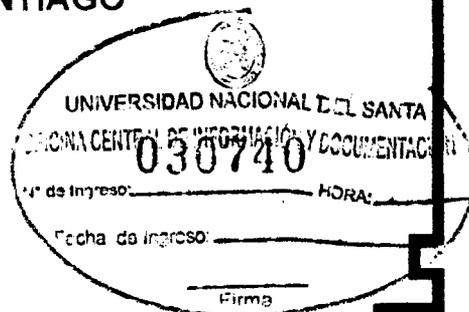
**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO EN ENERGÍA**

AUTORES:

**Bach. FRANK CRISTOPHER OVIEDO MARCHÁN
Bach. EMERSON VARGAS SANTIAGO**

ASESOR :

Ing. NEIL VELÁSQUEZ DÍAZ



**CHIMBOTE - PERÚ
2014**



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERIA

ESCUELA ACADEMICO PROFESIONAL DE INGENIERIA EN ENERGÍA

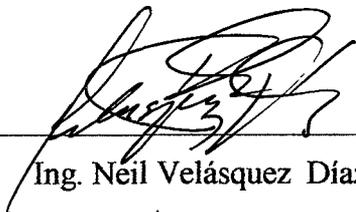
CARTA DE CONFORMIDAD DEL ASESOR

La presente tesis ha sido revisada y desarrollada en cumplimiento del objetivo propuesto y reúne las condiciones formales y metodológicas, estando elaborada dentro de las áreas y líneas de investigación conforme al Reglamento General para obtener el Título Profesional en la Universidad Nacional del Santa (Resolución N° 471-2002-CU-R-UNS). De acuerdo a la denominación siguiente:

TESIS PARA OPTAR EL TITULO DE INGENIERO EN ENERGÍA

TÍTULO: “ESTUDIO DE LA REDUCCIÓN DEL CONSUMO DE COMBUSTIBLE MEDIANTE EL EMPLEO DE COLECTORES SOLARES PARA EL PRECALENTAMIENTO DEL AGUA EN CALDERAS PIROTUBULARES – HOSPITAL REGIONAL ELEAZAR GUZMÁN BARRÓN – NVO. CHIMBOTE”

**AUTOR (ES): Bach. Frank Christopher OVIEDO MARCHÁN
Bach. Emerson VARGAS SANTIAGO**



Ing. Neil Velásquez Díaz
Asesor

NUEVO CHIMBOTE, 2014



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERIA

ESCUELA ACADEMICO PROFESIONAL DE INGENIERIA EN ENERGÍA

CARTA DE CONFORMIDAD DEL JURADO EVALUADOR DE TESIS

Damos conformidad del presente informe, desarrollado en cumplimiento del objetivo propuesto y presentado conforme el Reglamento General para obtener el Grado Académico de Bachiller y Título Profesional en la Universidad Nacional del Santa (Resolución N° 210-2010-UNS-CFI), titulado:

**“ESTUDIO DE LA REDUCCIÓN DEL CONSUMO DE COMBUSTIBLE
MEDIANTE EL EMPLEO DE COLECTORES SOLARES PARA EL
PRECALENTAMIENTO DEL AGUA EN CALDERAS PIROTUBULARES –
HOSPITAL REGIONAL ELEAZAR GUZMÁN BARRÓN – NVO.
CHIMBOTE”**

TESIS PARA OPTAR EL TITULO DE INGENIERO EN ENERGÍA

Presentado por: **Bach. Frank Cristopher OVIEDO MARCHÁN**
Bach. Emerson VARGAS SANTIAGO

Revisada y Evaluada por el siguiente Jurado Evaluador:

Mg. Robert Guevara Chinchayán
Presidente

Mg. Francisco Risco Franco
Secretario

Mg. Pedro Paredes Gonzales
Accesitario

NUEVO CHIMBOTE, 2014

INDICE

Hoja de Conformidad del Asesor	i
Hoja de Conformidad del jurado evaluador de la tesis	ii
Índice	iii
Resumen	ix
Abstract	x
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Antecedentes	2
1.2. Importancia y Justificación	4
1.3. Lugar donde se realizó la investigación	4
1.4. Planteamiento del Problema	5
1.5. Formulación de la Hipótesis	5
1.6. Objetivos	6
1.6.1 General	6
1.6.2 Específicos	6
II. MARCO TEÓRICO	7
1. Combustible Diesel B5	8
1.1 Características del combustible Diesel B5	8
1.2 Usos del combustible Diesel B5	8
2. Caldera	9
3. Clasificación de las Calderas	11
3.1 Clasificación por la presión de trabajo	11
3.2 Clasificación por el tipo de combustible	11
3.3 Clasificación por el tipo de fluido	11
3.4 Clasificación por la estructura	12

3.5	Clasificación por el contenido de los tubos	12
4.	Calderas de agua o acuotubulares	12
5.	Calderas de tubo de fuego o pirotubulares	13
5.1	Componentes de una caldera pirotubular	14
5.2	Indicadores de comportamiento	18
6.	Balance térmico de las calderas según NTP con número 350.300.2008	20
7.	Ahorro de energía en caldera pirotubular	21
7.1	Importancia	21
7.2	Técnica de ahorro de energía	22
8.	Energía Solar Térmica	22
9.	Colector Solar	22
10.	Tipos de Colectores Solares	23
10.1	Colectores de baja temperatura	24
10.2	Colectores de media temperatura	24
10.3	Colectores de alta temperatura	24
11.	Colectores de Placa Plana	25
11.1	Funcionamiento de un colector de placa plana	25
12.	Colectores de tubo de vacío	26
12.1	Funcionamiento de un colector de tubo de vacío	27
13.	Esquema y componentes de una instalación	28
13.1	Conexiones en Paralelo	28
13.2	Conexiones en Serie	29
14.	Principio de conexionado e interconexionado de colectores	30
15.	Principales técnicas de conversión de la energía térmica	34
16.	Elementos de una Instalación Solar de Baja Temperatura	35

16.1	Fluido Caloportador	35
16.2	Red de Tuberías	37
16.3	Acumulador de ACS	37
16.4	Otros elementos de la instalación	38
17.	Usos y Aplicaciones de la Energía Solar Térmica	39
III.	MATERIALES Y MÉTODOS	40
1.	Materiales y Equipos	41
2.	Metodología	41
2.1	Determinación de la eficiencia del generador de vapor	41
2.2	Determinación del número de colectores	47
IV.	RESULTADOS	49
1.	Características del lugar y de las necesidades de calentamiento del agua	50
1.1	Características de las necesidades de agua caliente	50
2.	Selección de un colector solar adecuado	50
2.1	Características del colector solar de placa plana	50
2.2	Características del colector solar de tubo de vacío	53
3.	Dimensionado del acumulador	55
4.	Características de la Bomba	56
5.	Balance de energía en la caldera	57
5.1	Hallando la eficiencia por el método indirecto	57
6.	Cálculo del ahorro de combustible	60
7.	Estudio económico del proyecto	62
7.1	Presupuesto del Proyecto	62
7.2	Rentabilidad del Proyecto	65
V.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	70

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	73
ANEXOS	76
Anexo A: MAPA DE LOCALIZACIÓN	
Anexo B: VALORES MES A MES DE LA TEMPERATURA AMBIENTE	
Anexo C: PROMEDIO MENSUAL DE LA RADIACION SOLAR EN CHIMBOTE	
Anexo D: VALORES MES A MES DE LA TEMPERATURA DE AGUA BLANDA	
Anexo E: LISTA DE PRECIOS DE COMBUSTIBLE	
Anexo F: PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS DEL DIESEL B5	
Anexo G: VALORES TÍPICOS DE LA CONSTANTE DE SIEGERT, K	
Anexo H: CONTENIDO DE HUMEDAD Y PCS PARA ALGUNOS COMBUSTIBLES	
Anexo I: VALORES DE LA CONSTANTE K1	
Anexo J: EMISIVIDAD PARA ALGUNAS SUPERFICIES	
Anexo K: RELACIÓN ENTRE EL ÍNDICE DE BACHARACH Y LA CALIDAD DE LA COMBUSTIÓN	
Anexo L: CURVA CARACTERÍSTICA DE UN COLECTOR PLANO	

ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura N°1: Generación de vapor saturado en una caldera pirotubular.
- Figura N°2: Generación de vapor recalentado en una caldera pirotubular.
- Figura N°3: Caldera acuotubular.
- Figura N°4: Corte de un caldero pirotubular.
- Figura N°5: Corte de la Cámara Principal del Caldero Pirotubular.
- Figura N°6: Componentes de un caldero pirotubular.
- Figura N°7: Tipos de Colectores Solares
- Figura N°8: Corte esquemático de un colector de placa plana.
- Figura N°9: Colector de Tubo de Vacío.
- Figura N°10: Esquema de funcionamiento de un colector solar de tubo de vacío
- Figura N°11: Conexión de Colectores en Paralelo.
- Figura N°12: Conexión de Colectores en serie.
- Figura N°13: Conexión de un colector con el resto del sistema.
- Figura N°14: Interconexionado en paralelo con retorno invertido.
- Figura N°15: Interconexionado en paralelo con tubería exterior y retorno invertido.
- Figura N°16: Interconexionado en paralelo con tubería exterior y equilibrada con válvulas.
- Figura N°17. Interconexionado en serie.
- Figura N°18. Interconexionado en paralelo/serie.
- Figura N°19. Tanque de acumulación.
- Figura N°20. Electrocirculadores o bombas.

ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO N°1: Características de las calderas a las cuales se aplica la NTP
350.300.2008

CUADRO N°2: Rangos y categorías de eficiencia térmica (combustible/vapor) para
calderas de vapor saturado

CUADRO N°3: Características Técnicas del Generadores de Vapor de 50BHP en el
Hospital Regional.

CUADRO N°4: Ecuaciones que gobiernan a las pérdidas de calor.

CUADRO N°5: Precios actuales de los colectores solares.

CUADRO N°6: Presupuesto para la construcción del tanque de alimentación.

CUADRO N°7: Cuadro de inversión.

CUADRO N°9: Costo de operación y mantenimiento.

RESUMEN

El Hospital Regional Eleazar Guzmán Barrón actualmente tiene dos calderas pirotubulares de 50 y 70 BHP de las cuales sólo se encuentra operando el caldero de 50 BHP, que genera vapor a partir de 1250 litros de agua diarios, con una temperatura de ingreso del agua alimentación de 70 °C, y una presión de diseño 13 kg/cm². El proceso consume 13 galones por hora diarios de combustible en una jornada laboral de 10 horas para generar vapor la cual posee una temperatura de 164 °C. El sistema cuenta con un precalentamiento del agua de alimentación, resultado de la recuperación de condensado, la cual alcanza los 70 °C. El vapor producido es distribuido a los diversos usos del hospital tales como: Cocina, lavandería y central de esterilización.

El suministro de Diesel B5 se realiza a través de una bomba, que cuenta con 1 tanque cisterna de 2500 galones de capacidad.

Para reducir el consumo de combustible Diesel B5 del sistema se hace un estudio para seleccionar la mejor alternativa del empleo de colectores solares entre colector de placa plana y tubo al vacío, obteniéndose como la mejor opción el uso de colectores de tubo al vacío, dimensionándose un sistema con 16 colectores en total, disponiéndolos en 2 grupos de 8 colectores en paralelo. Con ello se lograría un ahorro del combustible aproximadamente de 3.37% de las condiciones actuales, lo que significa un ahorro económico de S. /15 584.51 al año. La inversión inicial del proyecto es de S./ 69 552.19 con un tiempo de recuperación de 6 años, lo cual significa que es rentable realizarlo.

Palabra clave: reducción de combustible / colector solar

ABSTRAC

Eleazar Guzman Barron Regional Hospital currently has two fire-tube boilers 50 and 70 BHP which is operating only 50 BHP cauldron, which generates steam from 1250 liters of water with a temperature of feed water ingress 70°C , and a design pressure of 13 kg/cm^2 . The process consumes 13 gallons per hour of fuel daily in a 10-hour workday to generate steam which has a temperature of 164°C . The system comprises a feed water preheating, resulting condensate recovery, which reaches 70°C . The steam produced is distributed to the various uses of the hospital such as kitchen, laundry and central sterilization.

Diesel B5 supply is via a pump, which has 1 tanker 2500 gallon capacity.

To reduce fuel consumption Diesel B5 system a study was done to select the best alternative employment between solar collectors flat plate collector and evacuated tube, yielding the best option to use vacuum tube collectors, one dimensioned collector system 16 in total, arranging in two groups of 8 parallel manifolds. This fuel savings of approximately 3.37% of the current conditions is achieved, which means a cost savings of S. / 15 584.51 per year. The initial investment of the project is S. / 69 552.19 with a recovery time of 6 years, which means that it is profitable to do it.

Keyword: reducing fuel / solar collector

CAPITULO I
INTRODUCCIÓN

1.1. ANTECEDENTES

(E. VARAS ARTEAGA, 2006). Presentó un proyecto de investigación, titulado “Abastecimiento de agua caliente usando colectores solares para un hotel rural en la ciudad de Chimbote”. En este trabajo se plantea, el estudio de la factibilidad los sistemas de calentamiento de agua tradicionales: calderas diesel, calentadores eléctricos y calderas de gas, usados en hoteles, hospitales, industrias, círculos infantiles, etc., por sistemas solares de calentamiento de agua, demostrándose la reducción de la contaminación del medio ambiente, su eficiencia, ahorro energético, económico y de mantenimiento.

(ELIEZER, ROJAS, & MIRANDA, 2011). Presentaron un proyecto, el cual trató en el “Uso de la energía térmica con sistemas solares en el Hospital Lenin Fonseca”. El proyecto planteó la alternativa técnica económica de cómo obtener un ahorro energético, a través de la implementación de un sistema de precalentamiento de agua en el Hospital Antonio Lenin Fonseca, mediante el uso de un sistema de colectores solares. El agua es precalentada de 25°C a 95°C y luego es inyectada a la caldera, en donde se incrementa la temperatura hasta el punto de vaporización, que se utiliza para esterilizar los instrumentos quirúrgicos, cocina, lavandería y otros. Con la implementación de este sistema se llegó a obtener un ahorro aproximado del 25% del combustible bunker utilizado en este proceso.

(HI ALARCÓN, 1992). Presentó el proyecto “Análisis de la factibilidad de utilizar colectores solares planos en el calentamiento de agua, usada para el lavado de botellas de vidrio en industrias refresqueras mexicanas”. La industria refresquera utilizaba agua caliente para el lavado de botellas; este calentamiento de agua se hacía por medio de una caldera cuyo combustible, además, de ser altamente contaminante, estaba sujeto a

un incremento en costo. Como alternativa se propuso utilizar colectores solares planos en el calentamiento del agua obteniendo así un ahorro de combustible.

(LÓPEZ EDWIN, 2003). Presentó un proyecto de investigación, titulado “Aplicación de un sistema solar de agua caliente sanitaria para demanda múltiple”. En este informe de trabajo de suficiencia profesional se aplica la tecnología solar para satisfacer la demanda de agua caliente, determinar el recurso solar, describir la tecnología de colectores solares térmicos, diseñar el sistema de abastecimiento de ACS, seleccionar los equipos y materiales y calcular el ahorro del sistema solar de abastecimiento de agua caliente sanitaria comparativo frente a un sistema convencional.

(MARIÑOS A., 2005). Presentó el proyecto “Diseño, construcción y evaluación del funcionamiento de una terma solar de placa plana para ser instalada en un domicilio de la urb. El Carmen – Chimbote”. El presente informe fue elaborado con la finalidad de evaluar el recurso solar en forma directa para el calentamiento de agua en una casa familiar en la ciudad de Chimbote, a fin de considerar la posibilidad de su aprovechamiento, así como determinar las mejores condiciones para su explotación, a fin de cubrir demandas menores.

1.2. IMPORTANCIA Y JUSTIFICACIÓN

La implementación de un sistema de calentamiento de agua a través de colectores solares contribuirá al fortalecimiento del Hospital Regional Eleazar Guzmán Barrón debido a la reducción directa o ahorro energético de combustible, de igual forma el impacto por la disminución del consumo del combustible se verá reflejado en el costo anual.

Se realizará un estudio del sistema de calentamiento de agua y se comparará con los datos de la instalación del sistema con el objetivo de validar el porcentaje estimado en la reducción del consumo de combustible diesel B5 para el calentamiento de agua y la reducción de los costos de operación y mantenimiento, entre otros. Este análisis servirá de base para replicar este sistema en otros hospitales y/o empresas.

1.3. LUGAR DONDE SE REALIZÓ LA INVESTIGACIÓN

El Hospital Regional Eleazar Guzmán Barrón ubicado en el distrito de Nuevo Chimbote, av. Brasil S/N

1.4. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Dado que los costos de operación de la generación de vapor son altos se busca una alternativa de solución para disminuirlos, frente a ello se plantea el problema:

¿En cuánto se reducirá el consumo del combustible mediante el empleo de colectores solares debido al precalentamiento del agua en las calderas pirotubulares del Hospital Regional Eleazar Guzmán Barrón – Nvo. Chimbote?

1.5. FORMULACIÓN DE LA HIPOTESIS

Una alternativa de solución al problema planteado es la siguiente hipótesis:

“Con el precalentamiento del agua mediante el empleo de colectores solares se logrará reducir en un 20% el consumo del combustible en las calderas pirotubulares del Hospital Regional Eleazar Guzmán Barrón – Nvo. Chimbote”.

1.6. OBJETIVOS:

1.6.1 OBJETIVO GENERAL:

Realizar un estudio de la reducción del consumo de combustible Diesel B5, mediante el empleo de colectores solares para el precalentamiento del agua, en la caldera pirotubular del Hospital Regional Eleazar Guzmán Barrón – Nvo. Chimbote.

1.6.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Determinar la eficiencia de consumo de combustible diesel B5 en las calderas del Hospital Regional Eleazar Guzmán Barrón – Nvo. Chimbote.
- Determinar la demanda de agua para las calderas del hospital regional Eleazar Guzmán Barrón – Nvo. Chimbote.
- Seleccionar el colector óptimo y rentable para el proceso de precalentamiento de agua.
- Cuantificar el ahorro de combustible con la implementación de los colectores solares.
- Realizar un análisis económico del proyecto.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

1. Combustible Diesel B5

Es un combustible líquido de baja emisión que obedece a una nueva generación de combustibles limpios de alto rendimiento. El Diesel B5 es un combustible constituido por una mezcla de Diesel N°2 y 5% en volumen de Biodiesel (B100).

- Diesel N°2.- Combustible derivado de hidrocarburos, destilado medio, obtenido de procesos de refinación.
- Biodiesel (B100).- Combustible diesel derivado de recursos renovables, puede ser obtenido a partir de aceites vegetales o grasas animales. Cumple con las especificaciones de calidad establecidas en la norma nacional e internacional. Este combustible prácticamente no contiene azufre.

1.1. Características del combustible Diesel B5:

- Elevado índice de cetano.
- Elevada estabilidad química, que evita su oxidación.
- Elevado poder calorífico y balanceado rango de destilación, que garantiza una eficiente combustión minimizando así la emisión de gases tóxicos e hidrocarburos no quemados.
- Máxima economía. Al proporcionar un mayor rendimiento del combustible y reducción de costos de mantenimiento.

1.2. Usos del combustible Diesel B5:

- En motores diesel de vehículos para el transporte terrestre (automóviles, camiones, ómnibus, etc).
- En plantas de generación eléctrica.
- En equipos para la industria en general (minería, pesquería, construcción, sector agrícola, etc).

2. Caldera

Aparato a presión en donde el calor procedente de cualquier fuente de energía se transforma en utilizable, en forma de energía térmica, a través de un medio de transporte en fase líquida o vapor.

La definición de caldera industrial señala que son dispositivos empleados para calentar agua o generar vapor a una presión muy superior a la atmosférica. (WEB)

Este vapor se genera a través de la transferencia de calor hacia el fluido, originalmente en fase líquido, se calienta y finalmente se vaporiza; es un recipiente de presión.

Debido a las amplias aplicaciones que tiene el vapor, principalmente de agua, la caldera es muy utilizada en la industria, a fin de darle aplicaciones como:

- Esterilización: era común encontrar calderas en los hospitales, las cuales generaban vapor para "esterilizar" los instrumentos médicos; también en los comedores, con capacidad industrial, se genera vapor para esterilizar los cubiertos, así como para elaborar alimentos en marmitas (antes se creyó que esta era una técnica de esterilización).
- Calentar otros fluidos, por ejemplo, en la industria petrolera se calienta a los petróleos pesados para mejorar su fluidez.
- Generar electricidad a través de un ciclo Rankine. La caldera es parte fundamental de las centrales termoeléctricas.
- Es común la confusión entre caldera y generador de vapor, pero su diferencia es que el segundo genera vapor sobrecalentado.

Vapor: Es el agua convertida en gas cuando ha llegado al punto de ebullición 100°C

Clase de vapor:

Vapor saturado: es aquel que está en contacto directo con el agua, de la cual ha sido emanado.

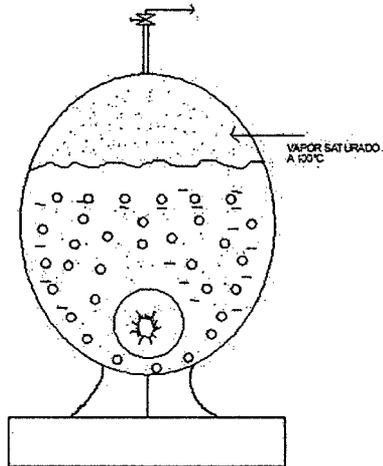


Figura N°1. Generación de vapor saturado en una caldera pirotubular

Fuente: SPYRAX SARCO

Vapor sobrecalentado: es el vapor saturado que no está en contacto con el agua y que es recalentado por encima de su temperatura de saturación, este vapor fluye a través de los serpentines o recalentadores, normalmente se encuentra a más temperatura y presión.

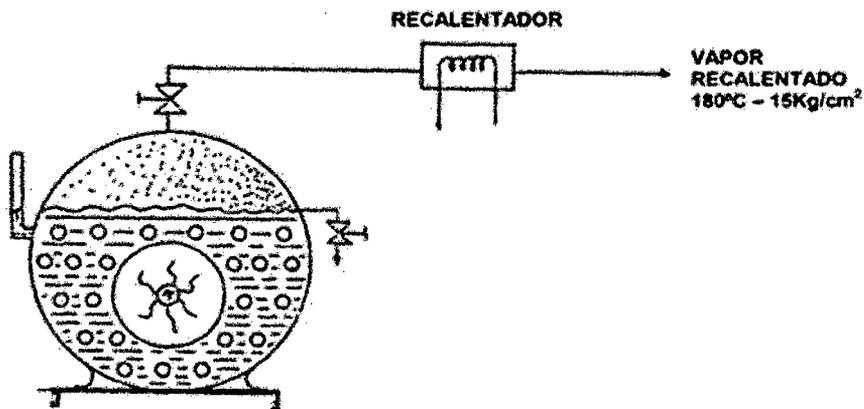


Figura N°2. Generación de vapor recalentado en una caldera pirotubular

Fuente: SPYRAX SARCO

3. Clasificación de las Calderas:

3.1 Clasificación por la presión de trabajo:

- Caldera de calefacción de baja presión: comprenden todas las calderas de vapor que no exceden de 1 kg/cm² y todas las calderas de agua caliente que operan a presiones que no exceden de 11.25 kg/cm² y cuyas temperaturas no sobrepasen los 121 °C.
- Calderas de baja y media presión: de 0 – 200 Psi baja presión y de 201 – 500 Psi media presión.
- Calderas de alta presión y supercríticas: de 501 – 2000 Psi alta presión (grandes industrias), de 2001 – 3209 Psi muy alta presión (centrales eléctricas) y más de 3219 Psi calderas supercríticas.

3.2 Clasificación por el tipo de combustible:

- Sólidos: difícil de operar por la alimentación, cenizas y suciedad que generan y el difícil control de la combustión.
- Líquidos: el combustible debe ser pulverizado o vaporizado para que reaccione con el aire.
- Gaseosos: de combustión más fácil.

3.3 Clasificación por el tipo de fluido:

- Caldera de vapor: es toda caldera en la que el medio de transporte es vapor de agua.
- Caldera de agua caliente: es toda caldera en la que el medio de transporte es agua a temperatura inferior a 110°C.
- Caldera de agua sobrecalentada: es toda caldera en la que el medio de transporte es agua a temperatura superior a 110°C.

- Caldera de fluido térmico: es toda caldera en la que el medio de transporte es un líquido distinto del agua (aceites, metales líquidos, etc.).

3.4 Clasificación por la estructura:

- Caldera tipo paquete: forma una unidad compacta con aparatos accesorios autocontenidos, son armados totalmente en la fábrica. La unidad está montada sobre un armazón de acero estructural lista para su instalación.
- Calderas automáticas: son aquellas calderas que realizan su ciclo normal en funcionamiento sin precisar de acción manual alguna, salvo en su puesta inicial de servicio o en caso de haber actuado un órgano de seguridad de corte de aportación calórica.

3.5 Clasificación por el contenido de los tubos:

- Pirotubular: los gases circulan por los tubos.
- Acuotubular: el agua circula por los tubos.

4. Caldera de agua o acuotubulares:

En este tipo de unidad, los productos de la combustión rodean a los bancos de tubos y el agua circula por el interior de dichos tubos. Manejan presiones de operación de 0-150 bares (0-2200 PSIG).

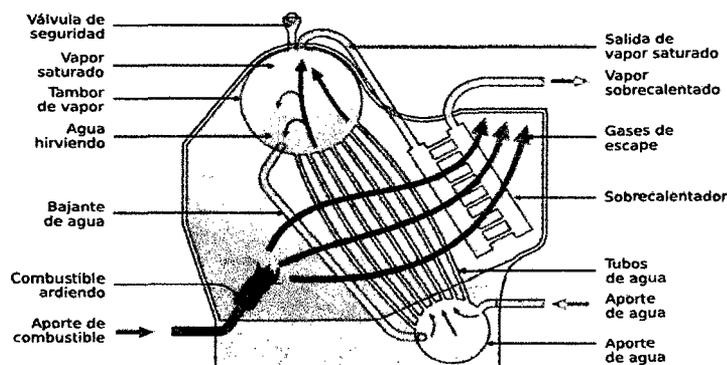


Figura N°3. Caldera acuotubular
Fuente: (THOMASSET, 2011)

Ventajas:

- Pueden ser puestas en marcha rápidamente y trabajan a 300 PSI o más.

Desventajas:

- Mayor tamaño y peso.
- Mayor costo.
- Debe ser alimentada con agua de gran pureza.

5. Calderas de tubos de fuego o pirotubulares:

Son aquellos calderos de tipo paquete que se caracterizan por que los gases calientes de la combustión fluyen a través de los tubos, mientras que el agua está contenido en un deposito que contiene a los tubos, produciéndose la transferencia de calor desde dentro de los tubos hacia a fuera. El agua absorbe el calor necesario de los tubos radiantes generando vapor saturado.

Estas calderas se definen como el paso del recorrido de los gases de combustión a lo largo de la caldera. Son de 3 a 4 pasos.

Su aplicación es a bajas presiones y capacidades, rango de presiones hasta 250 PSI y rango de capacidad hasta 27608 lb/h – 35000 lb/h, produce vapor saturado.

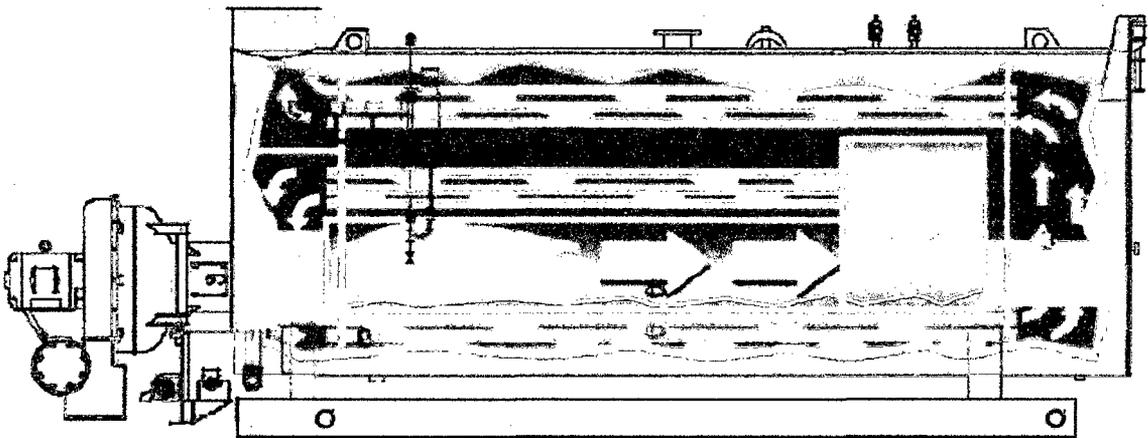


Figura N°4. Corte de un caldero pirotubular

Fuente: INTESA

Ventajas:

- Menor costo inicial debido a la simplicidad de su diseño. Mayor flexibilidad de operación.
- Menores exigencias de pureza en el agua de alimentación.
- Son pequeñas y eficientes.

Desventajas:

- Mayor tiempo para subir presión y entrar en funcionamiento.
- No se deben usar para altas presiones.

5.1 Componentes de una caldera pirotubular:

- HOGAR:** También llamada FLUE o cámara de combustión, es el espacio donde se realiza la combustión y en donde soporta las más altas temperaturas de combustión. Generalmente es corrugada (para poder compensar los esfuerzos térmicos) tipo Morrison en lámina de acero al carbono en calidad ASTM A 285 grado C.
- BANCO DE TUBOS :** Está conformado por tubos de acero al carbono sin costura, generalmente cedula 40 (de 2 a 2 ½" generalmente para calderos de mediana y gran capacidad , para calderos de pequeña capacidad se usan tuberías de ½") en calidad certificada ASTM A 192, están fijados en los espejos del caldero de la siguiente forma:
 - En la parte frontal van expandidos.
 - En la parte posterior van expandidos y electro soldados.
- TAMBOR O CILINDRO:** Es el cilindro que conforma la parte exterior y da forma al caldero, está compuesto por:

- **Cámara de agua:** Es el volumen de la caldera que está ocupado por el agua que contiene y tiene como límite superior un cierto nivel mínimo del que no debe descender nunca el agua durante su funcionamiento.
- **Cámara de vapor:** Es el espacio o volumen que queda sobre el nivel superior máximo de agua y en el cual se almacena el vapor generado por la caldera. Mientras más variable sea el consumo de vapor, tanto mayor debe ser el volumen de esta cámara.

En este espacio o cámara, el vapor debe separarse de las partículas de agua que lleva en suspensión. Por esta razón, algunas calderas tienen un pequeño cilindro en la parte superior de esta cámara, llamada “domo”, y que contribuye a mejorar la calidad del vapor (hacerlo más seco).

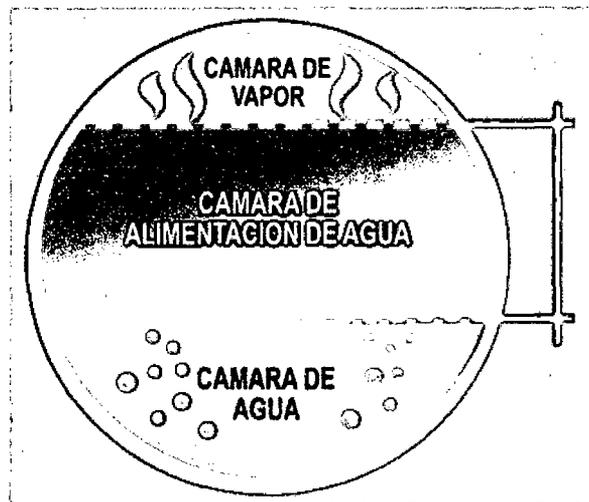


Figura N°5. Corte de la Cámara Principal del Caldero Piro-tubular

Fuente: SPYRAX SARCO

- d) **ESPEJOS:** O también llamadas placa tubos, fabricadas de lámina de acero al carbono en calidad ASTM A 285 grado C o 515 grado 70.
- e) **CAMARAS DE HUMO:** Corresponde al espacio de la caldera en el cual se juntan los humos y gases, después de haber entregado su calor y antes de salir por la chimenea.

- f) MAMPOSTERIA:** Se llama mampostería a la construcción de ladrillos refractarios o comunes que tienen como objeto:
- Cubrir la caldera para evitar pérdidas de calor.
 - Guiar los gases y humos calientes en su recorrido.
- g) PUERTAS DE EXPLOSIÓN:** Son puertas metálicas con contrapeso o resortes, ubicadas generalmente en la caja de humos y que se abren en caso de exceso de presión en la cámara de combustión, permitiendo la salida de los gases y eliminando la presión. Solo son utilizables en calderas que trabajen con combustibles líquidos o gaseosos.
- h) REGISTROS:** También llamados registros de hombres, los cuales son tapas elípticas que se ponen en los fondos del cilindro del caldero o en la parte baja: Permiten la entrada de un hombre, con el fin de hacer un mantenimiento interno o inspeccionar ocularmente.
- i) CHIMENEA:** Es el conducto de salida de los gases y humos de la combustión hacia la atmósfera. El dámper es una compuerta metálica instalada en el conducto de humo que comunica con la chimenea o bien en la chimenea misma. Tiene por objeto dar mayor o menor paso a la salida de los gases y humos de la combustión.
- j) SISTEMAS AUXILIARES:**
- Sistemas de Combustión.
 - Sistemas de suministro de Combustible.
 - Sistema de suministro de aire.
 - Sistema de suministro de agua.
 - Sistema de retiro de vapor.
 - Sistema de purgas de fondo y nivel.

k) SISTEMAS DE SEGURIDAD; CONTROL Y MANDO:

- Sistemas de Control de Nivel de Agua.
- Sistemas de Control de Presión.
- Sistemas de Control y Mando.
- Sistemas de Regulación de Aire/Combustible.

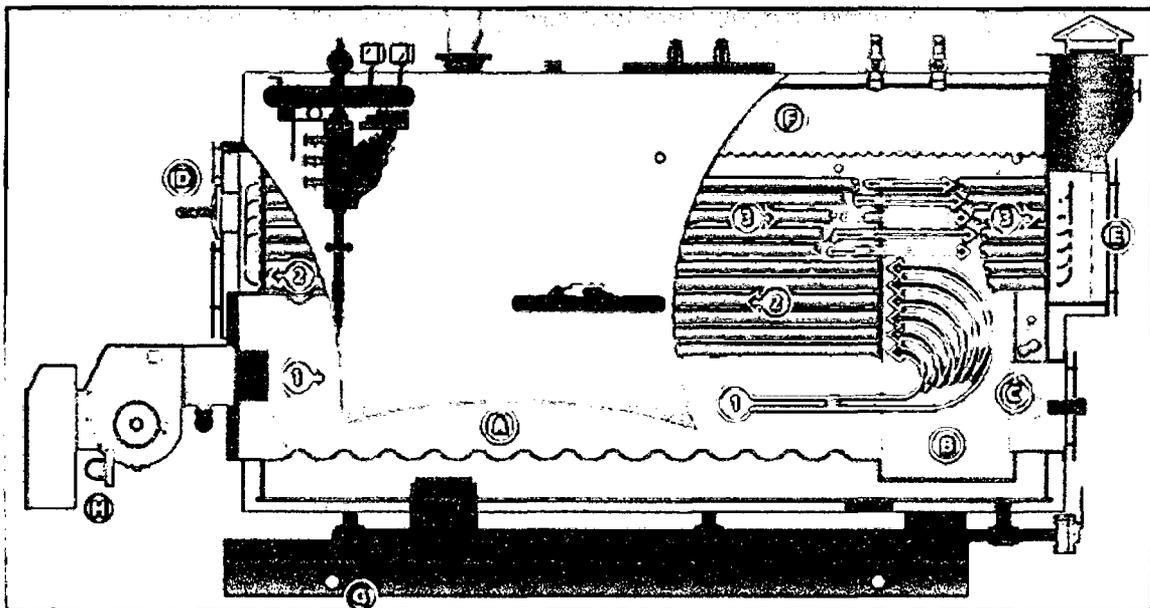


Figura N°6. Componentes de un caldero piro-tubular

Fuente: (Guevara Chinchayan, 2013)

A	flue	B	Caja de humos posterior
C	visor	D	Puerta de explosión
E	Cámara de humos posterior	F	Cámara de vapor
G	Base	H	Quemador
1	1 paso	2	2 paso
3	3 paso		

5.2 Indicadores de comportamiento:

A. BOILER HOURSE POWER:

La potencia de la caldera viene dada por HP de caldera (BHP), tal como fue establecida en 1889 por la ASME. Esto corresponde a la evaporación de 15.65 kg (34.5 lb) de agua por hora a 100 °C (212 °F), lo cual significa la conversión de 15.65 kg de agua por hora a 100 °C en vapor saturado a 100 °C, a la presión atmosférica normal (1.033 kg/cm²), dentro un Área de transferencia de calor de 0.929 m². Existen calderos desde 1 BHP hasta 2,500 BHP. Es un parámetro de comparación solo entre calderos pirotubulares.

1 BHP = 15.65 kg/h * 538.9 kcal/kg = 8,437 Kcal/h = 9.81 kW.

B. CAPACIDAD MAXIMA DE GENERACION DE UN GENERADOR DE VAPOR:

En función a la Potencia del Caldero y la Presión de diseño, se obtiene la máxima capacidad de generación de vapor saturado, según la siguiente ecuación:

$$\text{maxima capacidad de generacion de vapor} = \frac{\text{potencia del caldero}}{h_2 - h_1} \dots (1)$$

Dónde:

h_2 : Es la entalpia final del vapor saturado a la presión de diseño.

h_1 : Es la entalpia inicial del agua a la presión de diseño y a la temperatura de ingreso del agua al caldero.

- **Capacidad nominal:** es la capacidad relacionada a un nivel de referencia (100°C). se indica en las tablas de especificaciones de los calderos en función de la potencia.

- **Capacidad real de una caldera:** es la cantidad de vapor producido por la caldera en las condiciones de operación: presión, temperatura de vapor, temperatura de alimentación del agua.

C. FACTOR DE CARGA:

Es un parámetro de comparación entre los BHP reales o de operación y los BHP nominales, con la finalidad de poder determinar el grado de utilización del caldero en relación a su máxima capacidad de operación.

$$FACTOR DE CARGA DE UN CALDERO = \frac{BHP \text{ reales}}{BHP \text{ nominales}} \dots (2)$$

Es recomendable operar un caldero con un Factor de Carga entre el 85 al 90 %, valor en el cual se alcanza el máximo rendimiento del equipo.

D. TERMINOS EN CALDERAS:

- **Superficie de calefacción:** es toda superficie de una caldera que está en contacto por un lado con el agua y por el otro está expuesta al fuego o a la corriente de los gases de combustión. Se mide en el lado de los gases en m² o ft² en las calderas pirotubulares y por el lado del agua en las calderas acuotubulares.
- **Presión de trabajo:** es la presión pre establecida por el usuario, en la cual trabaja la caldera en condiciones normales de régimen. Se expresa en kg/cm² o PSI.
- **Presión máxima de trabajo:** es el valor máximo que puede alcanzar la presión dentro de la caldera en condiciones admisibles de seguridad (kg/cm²)
- **Presión de diseño:** es la presión que se toma para los cálculos de resistencia de la caldera (kg/cm²).
- **Presión de sellado:** es la presión con la que se regula y sellan todas las válvulas de seguridad instaladas.

- **Temperatura máxima de trabajo:** es la máxima temperatura que puede alcanzar el vapor sobrecalentado, o el agua dentro de las calderas de agua caliente en condiciones admisibles de seguridad (°C).
- **Temperatura de trabajo:** es la temperatura pre establecida por el usuario con la cual trabaja la caldera en condiciones normales de régimen (°C).
- **Consumo de combustible:** es la cantidad de combustible, expresadas en peso o en volumen que se puede quemar en la caldera en 1 hora.

6. BALANCE TERMICO DE LAS CALDERAS SEGÚN NTP CON NUMERO 350.300.2008

Esta norma técnica peruana se aplica a las calderas tipo paquete de tubo de humo (pirotubular) y de tubo de agua (acuotubular) sin equipo de recuperación de calor que utilizan combustibles líquidos o gaseosos derivados del petróleo.

CUADRO N°1: Características de las calderas a las cuales se aplica la NTP 350.300.2008

POTENCIA	De 98 – 11772 KW (10 a 1200 BHP)
Presión manométrica	Hasta 2069 KPa (300 Psig) para las calderas pirotubulares Hasta 3103 KPa (450 Psig) para las calderas acuotubular
Temperatura	De saturación

Fuente: NTP 350.300.2008

Esta norma técnica peruana con número 350.300.2008 fue aprobado el 26 de octubre del 2009 por el sub. Comité de calderas industriales del comité técnico de normalización de uso racional de energía y eficiencia energética.

La eficiencia de una caldera es la relación entre el calor aprovechado por el fluido (agua y vapor) y el calor que suministra el combustible, en una hora.

La eficiencia de una caldera es determinada por los siguientes dos factores:

1. Diseño de la caldera y limpieza de las superficies de calefacción, tanto del lado del agua como el lado de los gases, son los factores que permiten la transferencia de calor al agua.
2. Diseño del quemador y habilidad de este para ser ajustado y sostener la relación aire-combustible.

A continuación se muestra los rangos y categoría para calderas de vapor saturado, descrita en la NTP 350.301.2009.

CUADRO N°2: rangos y categorías de eficiencia térmica (combustible/vapor) para calderas de vapor saturado

CATEGORIA	RANGO DE EFICIENCIA TERMICA (n)
A	Mayor de 82%
B	$80 < n \leq 82 \%$
C	$78 < n \leq 80 \%$

Fuente: NTP 350.301.2009

7. Ahorro de energía en caldera pirotubular

7.1. Importancia:

Un uso más eficiente y racional de la energía permite un mejor aprovechamiento de los recursos energéticos como económicos. Además, los procesos de producción pueden ser más competitivos, permitiendo con una misma cantidad de energía incrementar la producción.

El ahorro de energía térmica se enfoca a la utilización más eficiente del vapor u otra forma intermedia de energía como medio de calentamiento y al ahorro de combustible como recurso energético. Esto conlleva a reducir las emisiones gaseosas de CO₂ a atmosfera.

7.2. Técnica:

- ✓ **Reducción del consumo de combustible:** La eficiencia de la caldera aumenta con la elevación de la temperatura del agua de alimentación al necesitarse menos energía para producir el vapor. De esta manera manteniendo constante la eficiencia y elevando la temperatura del agua de alimentación se obtiene una reducción del consumo de combustible.

- ✓ **Calentamiento del agua de alimentación:** para el calentamiento del agua de alimentación se puede utilizar colectores solares, de este modo se debería analizar todo el proceso de generación de vapor para calcular la cantidad exacta de colectores que se debería emplear para elevar la temperatura del agua de alimentación.

8. Energía Solar Térmica

La energía solar térmica consiste en la captación de la radiación del sol y su transformación en calor para su aprovechamiento en diversas aplicaciones. Esta transformación se realiza por medio de unos dispositivos específicamente diseñados denominados colectores solares.

9. Colector Solar

Un colector solar es un dispositivo capaz de captar la energía que aporta la radiación solar, utilizándola para calentar un determinado fluido (generalmente agua) a una cierta temperatura. En función de la misma, los colectores pueden ser

de alta, media o baja temperatura, siendo estos últimos, los que han adquirido un mayor desarrollo comercial.

El colector solar es el elemento fundamental de todo sistema y es el encargado de transformar toda la energía solar térmica, la cual puede ser usada directamente como en el caso del calentamiento del agua o para producir vapor en una planta de generación eléctrica.

De acuerdo a su geometría se les ha clasificado como planos y de concentración, habiendo aparecido en los últimos años geometrías que combinan las propiedades de ambos.

10. Tipos de colectores solares

En la actualidad existen tres grandes grupos de colectores solares en función de la temperatura a la que sean capaces de calentar el fluido baja (menos de 100°C), media (entre 100 y 400°C), y alta temperatura (más de 400°C).

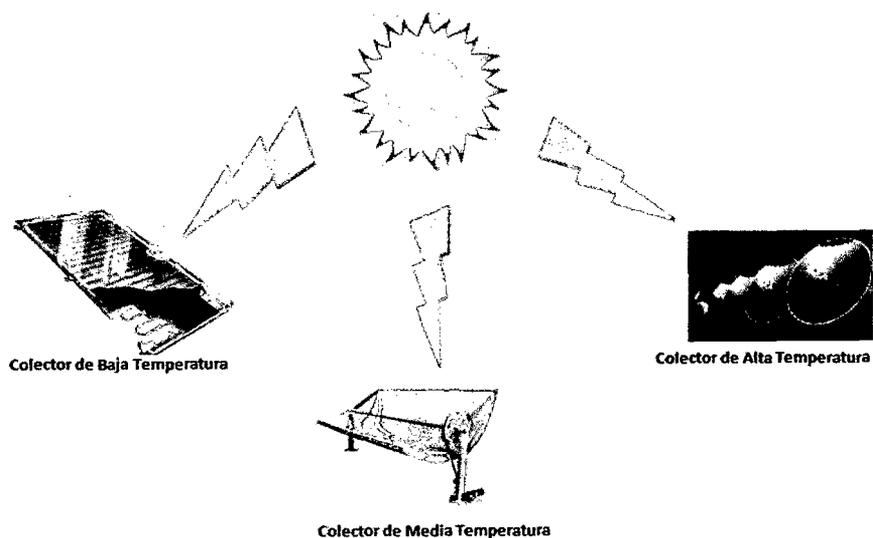


Figura N°7. Tipos de colectores solares

Fuente: Elaboración propia

10.1. Colectores de baja temperatura:

Estos colectores realizan la captación de forma directa, sin concentración de los rayos solares. Además la temperatura del fluido a calentar está siempre por debajo del punto de ebullición del agua. Según los materiales y técnicas de captación empleadas se pueden distinguir tres tipos de colectores de baja temperatura:

- Colectores de placa plana de caucho.
- Colectores de placa plana.
- Colectores de tubo de vacío.

10.2. Colectores de media temperatura:

Estos colectores tienen un bajo índice de concentración de rayos solares, consiguiendo, de este modo, temperaturas muy elevadas al aumentar la humedad por radiación de superficie. La temperatura de trabajo se sitúa en un rango de 100-400°C. Los más representativos son:

- Colectores de Cilindros - Parabólicos (CPC).

10.3. Colectores de alta temperatura:

Estos colectores tienen un alto índice de concentración de la radiación solar, consiguiendo temperaturas de trabajo por encima de 400 °C. En la actualidad se utilizan sólo en instalaciones de ensayo y demostración aplicadas a la generación eléctrica, el ensayo de materiales industriales, la desalinización de agua marina por evaporación, etc. Los más representativos son:

- Colector Solar Helióstatos.
- Discos Parabólicos.

11. Colectores de Placa Plana

El colector de placa plana es denominado así por presentar un aspecto de rectángulo plano cuando se le observa desde una cierta distancia. En realidad es un paralelepípedo rectangular. Normalmente una de sus caras está constituida por una cubierta transparente o translúcida de vidrio o plástico, aunque en algunos modelos dicha cubierta no existe.

Elementos principales: el absorbedor, la carcasa, el aislamiento y la cubierta transparente. Lo mostramos en la figura siguiente:

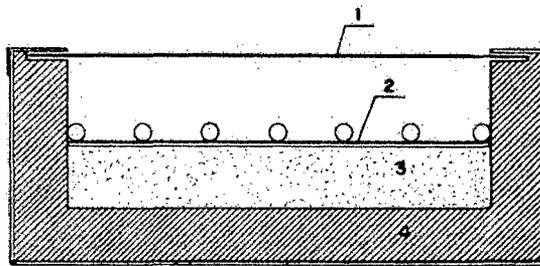


Figura N°8. Corte esquemático de un colector de placa plana. 1 cubierta. 2 absorbedor. 3 aislantes. 4 carcasa.

Fuente: (Censolar, 2006)

11.1. Funcionamiento de un colector de placa plana

Si se expone un colector al sol sin circulación de fluido en su interior, la temperatura de la placa captadora o absorbente irá aumentando progresivamente. Dicha placa irá almacenando el calor al mismo tiempo que tendrá unas pérdidas, debido a los fenómenos de conducción, convección y radiación, las cuales aumentan con la temperatura.

Llega un momento en que las pérdidas se equiparan a la energía que recibe la placa del sol y la temperatura se estabiliza, alcanzándose la denominada temperatura de equilibrio estática, que depende de las condiciones exteriores a las que esté

sometida la placa (cuanto más frío sea el ambiente y más viento haya, más baja será ésta).

Si en ese momento se hace circular un fluido por el colector, éste recibirá el calor de la placa captadora e irá aumentando la temperatura. Por el contrario, la temperatura de la placa disminuirá.

Manteniendo la circulación del fluido estacionaria o constante, llegará un momento en que se alcance una nueva temperatura de equilibrio llamada temperatura de equilibrio dinámica, la cual es siempre inferior a la estática.

La máxima temperatura que un colector instalado que puede alcanzar es la temperatura de equilibrio estática, que es necesario conocer por dos razones:

- a) Será la temperatura que la instalación solar alcanzará cuando esté parada.
- b) La temperatura máxima teórica de utilización de la instalación será siempre inferior a la temperatura de equilibrio estático.

12. Colectores de tubo de vacío

Los colectores de tubo de vacío poseen un mejor rendimiento y proporcionan mayores temperaturas que los colectores de placa plana, pudiendo llegar a temperaturas de trabajo de 100°C. Por ello, la aplicación más habitual de este tipo de colectores es la generación de agua caliente para su aprovechamiento en procesos industriales o bien en una instalación de calefacción por radiaciones convencionales, y para el precalentamiento del fluido de entrada en una caldera.

Los principales inconvenientes que presentan estos colectores frente a los de placa plana son de elevado precio, y la mayor laboriosidad y cuidado que requiere su montaje.

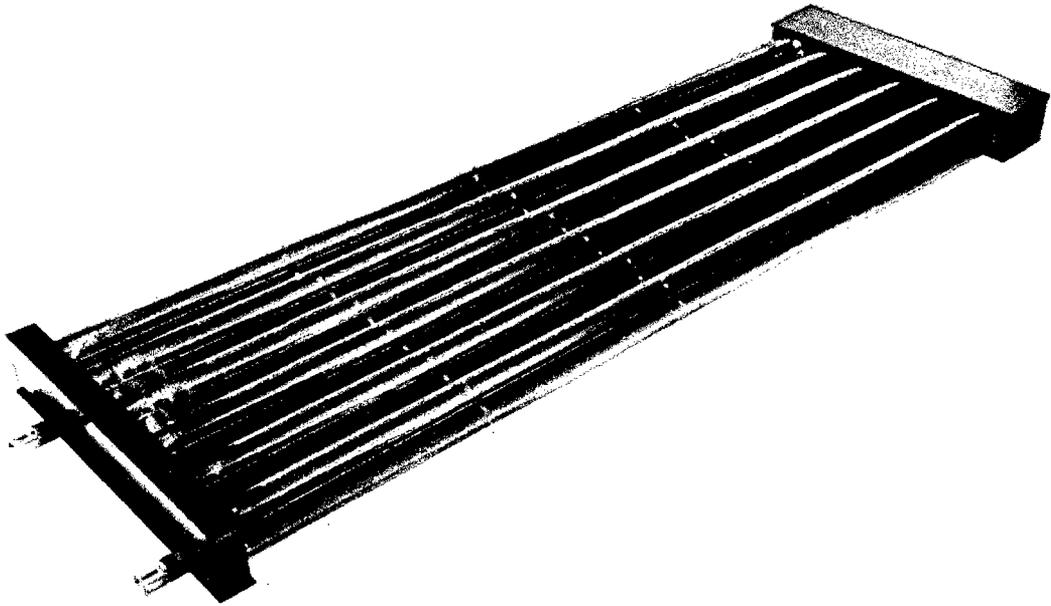


Figura N°9. Colector de Tubo de Vacío

12.1. Funcionamiento de un colector de tubo de vacío

Estos colectores están formados por 10-20 tubos de vidrio en cuyo interior se ha hecho el vacío. En el interior de cada tubo hay una tubería de cobre soldada a una placa rectangular, que absorbe la radiación solar y cede calor al fluido que circula por la tubería. Al igual que los colectores de placa plana, el funcionamiento de este tipo de colectores se basa en el efecto invernadero que se produce cuando la radiación solar atraviesa un vidrio. La diferencia, en este caso, está en que no se requiere de un material aislante, ya que el propio vacío de los tubos elimina totalmente las pérdidas térmicas hacia el exterior del vidrio por ellos su rendimiento es siempre superior al de los colectores de placa plana, especialmente en condiciones de baja radiación solar.

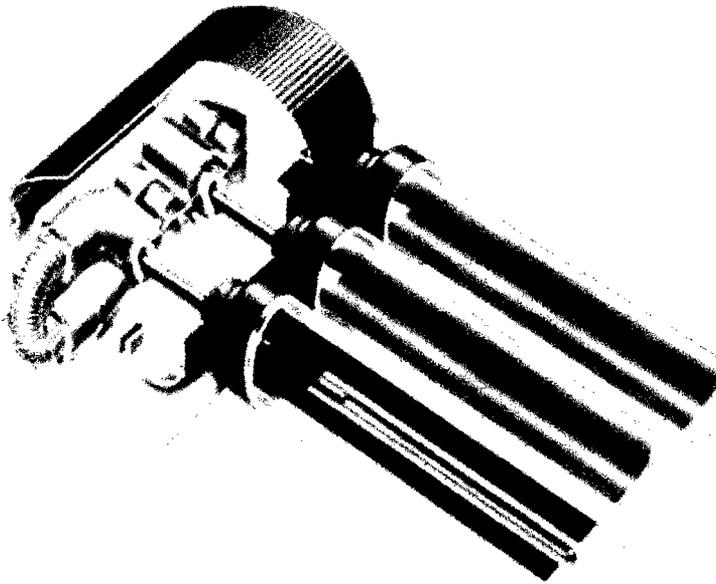


Figura N°10. Esquema de funcionamiento de un colector solar de tubos de vacío

13. Esquema y componentes de una instalación

En general una instalación de baja temperatura está formada por un subsistema de captación formado por varios colectores solares conectados en serie y/o paralelo que capta la energía solar, un subsistema de acumulación formado por uno o más depósitos de almacenamiento de agua caliente que adapta en el tiempo la disponibilidad de energía y la demanda, y un subsistema de distribución formado por el equipo de regulación, tuberías, bombas, elementos de seguridad, etc. que traslada a los puntos de consumo el agua caliente producida.

13.1 Conexiones en Paralelo

La conexión en paralelo es mucho más efectiva puesto que la resistencia al paso del agua es mucho menor. Incluso si un colector dejara de funcionar los demás no se verían afectados.

Se diferencia de la conexión en serie en que cada módulo funciona independientemente, toman el agua de un conducto general que le suministra, por separado, a los distintos elementos que componen la superficie colectora. Atravesado el circuito y ya caliente, el agua va a parar a otro conducto general, encargado de transportarla hasta el acumulador. También se le denomina conexión en batería.

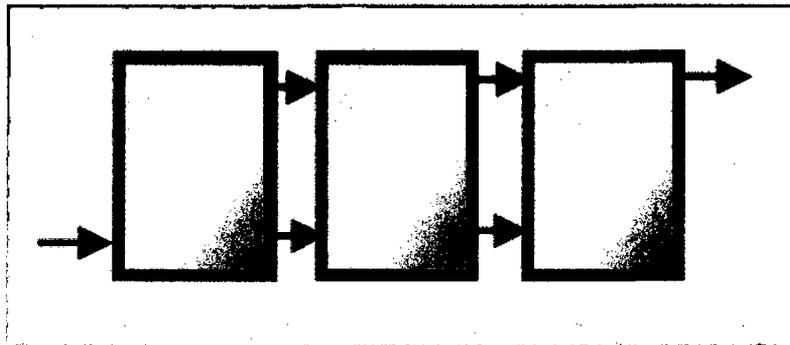


Figura N°11. Conexión de Colectores en Paralelo

13.2 Conexiones en Serie

En la conexión en serie el agua atraviesa todos los colectores para realizar un ciclo, adquiriendo mayor temperatura. Los inconvenientes que se presentan son que el agua debe vencer una resistencia mayor para atravesar los circuitos. Además en cada colector la temperatura del agua iría en aumento hasta llegar al último colector donde se producirían muchas pérdidas de calor.

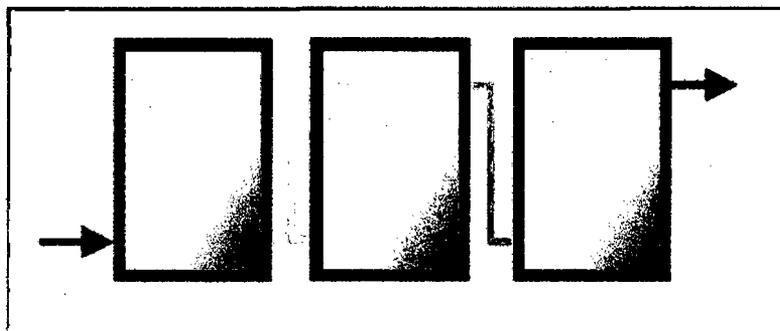


Figura N°12. Conexión de Colectores en serie

14. Principio de conexionado e interconexionado de colectores

El conexionado debe realizarse respetando ciertos principios que permiten que el caudal que circula por todos los colectores sea el mismo, evitando que unos trabajen con más flujo que otros debido a que el fluido tiende a recorrer prioritariamente el camino más fácil. De este modo conseguiremos que todos los colectores trabajen con rendimiento similar, provocando en el fluido saltos térmicos aproximadamente iguales entre la entrada del panel y salida.

Cualitativamente estos principios son:

- Todos los colectores de un mismo sistema de captación deben ser iguales.
- La entrada del flujo se hará por una de la toma inferior, y la salida por la superior opuesta. Esto es de importancia capital en los sistemas convectivos.

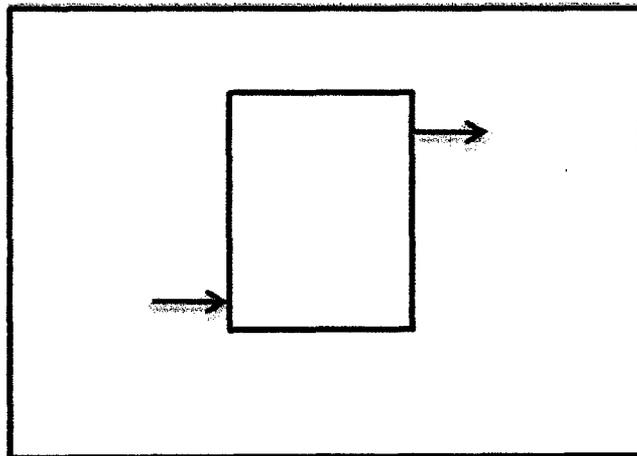


Figura N°13. Conexión de un colector con el resto del sistema

- El inter conexionado habitual es en paralelo con retorno invertido. Esto evita la instalación de válvulas de equilibrado de caudal (detectores).

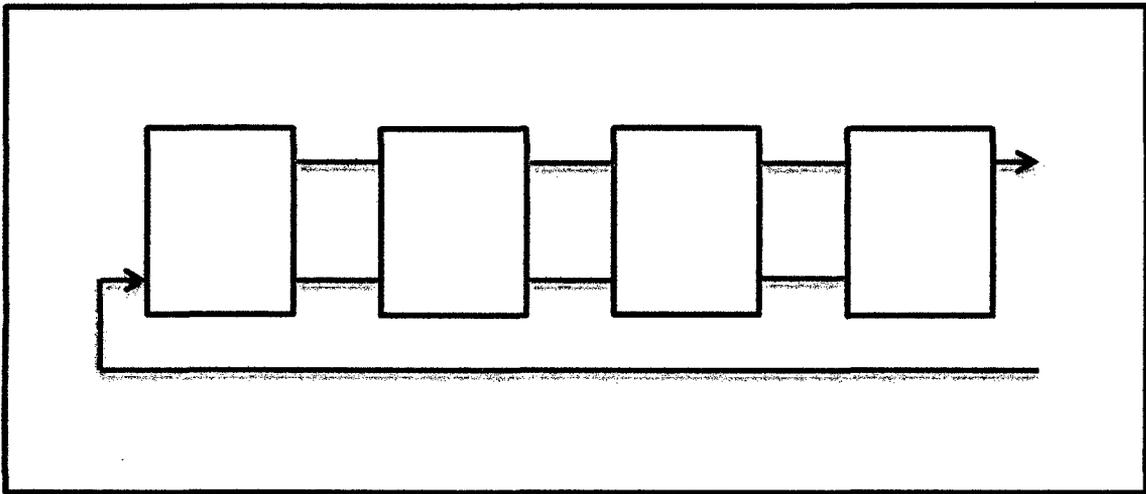


Figura N°14. Interconexionado en paralelo con retorno invertido

- El conexionado en paralelo puede hacerse con tubería exterior cuando los caudales sean elevados y sea necesario que la tubería de reparto y recogida sea de más diámetro que la que traen de fábrica los captadores.

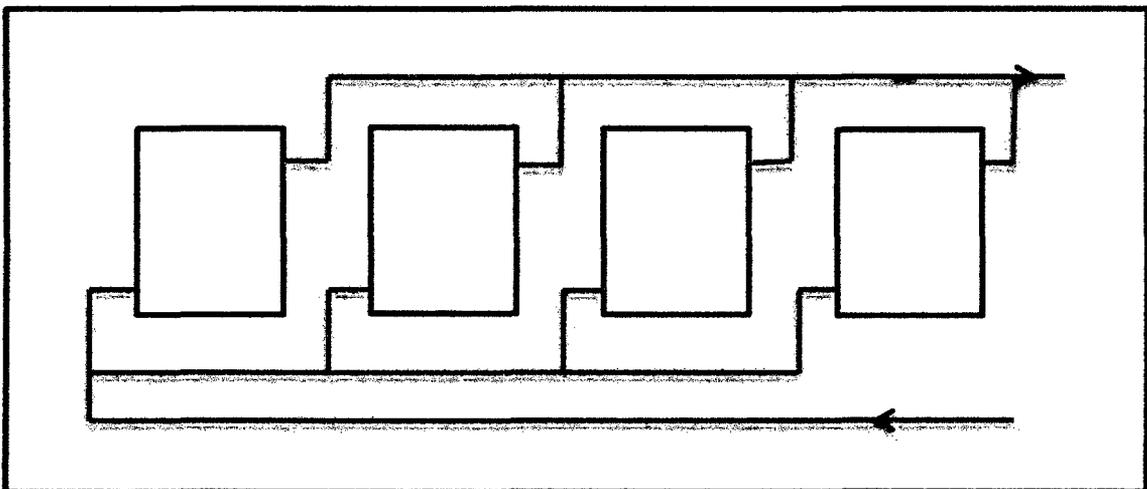
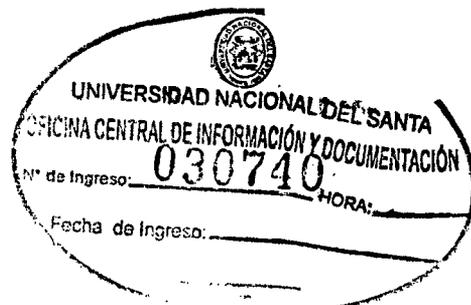


Figura N°15. Interconexionado en paralelo con tubería exterior y retorno invertido

- Si no se usa retorno invertido es necesario instalar caudalímetros y válvulas de equilibrado.



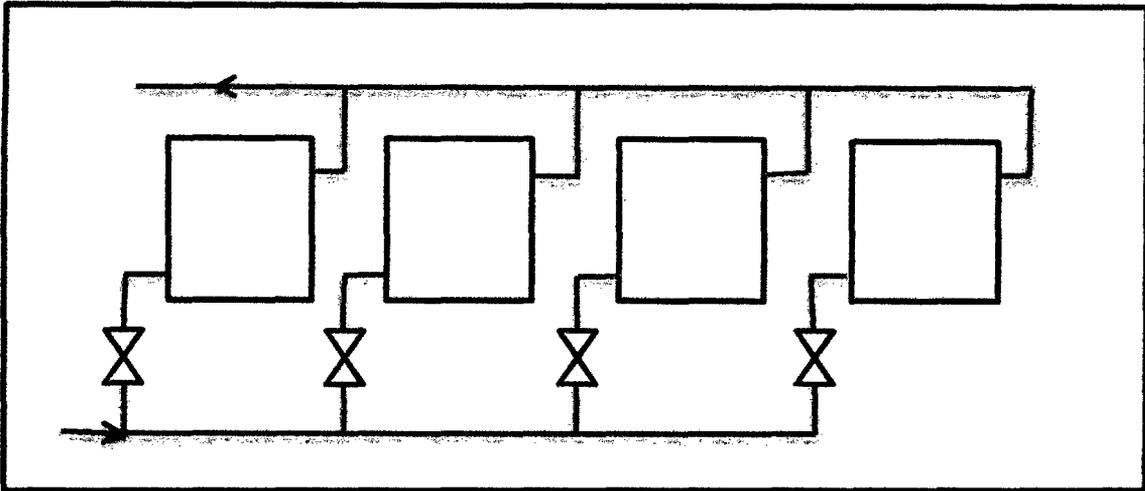


Figura N°16. Interconexión en paralelo con tubería exterior y equilibrada con válvulas

- Como norma general, no debemos conectar más de 10 colectores o conjunto de colectores en paralelo. Los colectores situados en el centro de las filas trabajan con menos caudal que los externos, incluso estando conectado con retorno invertido.
- Se puede conectar los colectores en serie pero no es habitual. Se usa esta conexión para provocar mayores saltos térmicos y temperaturas de fluido más altas. Esto sin embargo, provoca pérdidas de rendimiento en las instalaciones.
- No conectaremos en serie más de tres (3) colectores o conjunto de colectores en paralelo. El salto térmico va disminuyendo a medida que aumentamos el número de unidades en serie, ya que por la elevación de la temperatura se van las pérdidas con las ganancias.

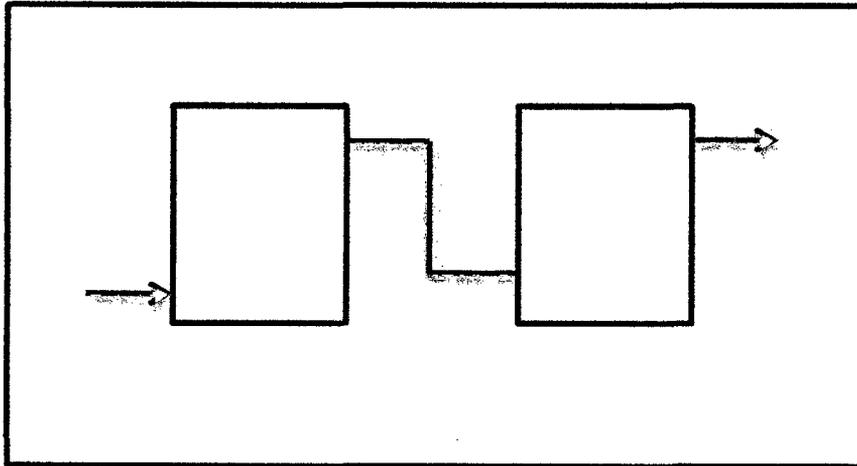


Figura N°17. Interconexión en serie

- Todos los conjuntos conectados en serio deben tener el mismo número de colectores en paralelo. Así el caudal es el mismo en cada conjunto y salto térmico también. Es lo que se llama conexiónado serie/paralelo.

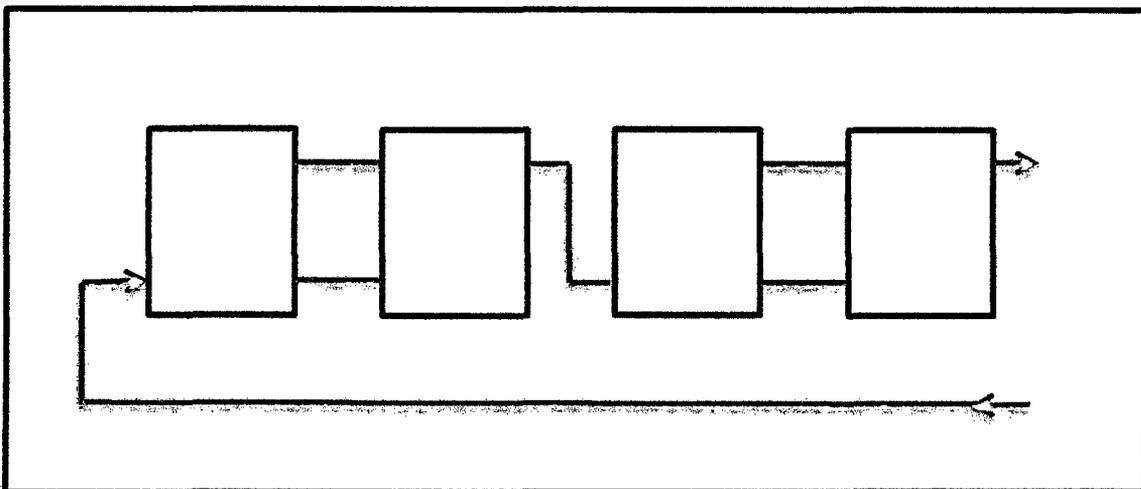


Figura N°18. Interconexión Paralelo/Serie

En general hay que facilitar la circulación natural del fluido al calentarse en la placa absorbente, y evitar los puntos de acumulación de aire de difícil evacuación o instalar purgadores automáticos o manuales. Limitar al máximo el número de codos, curvas y accesorios, evitar los cambios bruscos de dirección y de sección, y

utilizar la mínima cantidad de tubería posible evitando recorridos inútiles. Estos principios son de obligado cumplimiento en las instalaciones por termosifón, además de no colocar tramos de circulación descendente del fluido caliente que bloquearían la circulación natural.

15. Principales técnicas de conversión de la energía solar térmica

La tecnología solar térmica permite el aprovechamiento de la radiación solar para la producción de energía a través del calentamiento de un fluido sin residuos contaminantes. Existen varias tecnologías para el aprovechamiento de la energía solar, pero las principales son:

- A. Circulación natural:** es el caso de un sistema termosifónico. En este caso el depósito debe colocarse en un nivel superior a los colectores para permitir la convección por diferencia de temperatura. Para facilitar el movimiento del agua tiene que haber una diferencia suficiente de temperatura entre el colector y el acumulador y una altura entre el acumulador y los colectores mayor de 30 centímetros. Para evitar el riesgo de temperaturas elevadas en el depósito este se diseña con volúmenes mayores de 70 l/m² de colector.
- B. Circulación forzada:** Es el caso de un sistema con electrocirculador. Esta instalación evita los defectos propios de los sistemas de circulación natural. Como inconvenientes se encuentran las necesidades de energía eléctrica y de regulación y control de la circulación. Cuando el intercambiador está a una altura inferior a los colectores, el electrocirculador es imprescindible. Hay que incluir además una válvula antiretorno para evitar el posible efecto termosifónico nocturno.

16. Elementos de una Instalación Solar de Baja Temperatura

Normalmente, una instalación solar térmica de baja temperatura cuenta con varios circuitos conectados entre sí para que puedan cederse el calor desde la captación hasta el suministro final. Y pueden ser:

- Circuito primario: Comprende los captadores solares por los que circula el fluido que se calienta por efecto del Sol, y la red de tuberías que lo llevan hasta el intercambiador de calor.
- Circuito secundario: El fluido calo portador, accede a ese intercambiador donde cede el potencial térmico acumulado a otra red de tuberías que porta otro fluido, que puede ser directamente el agua de consumo.
- Circuito terciario: En caso de existir un acumulador de agua caliente al final del circuito secundario, comprendería la red de tuberías que saliendo del mismo terminan en los diferentes puntos de consumo.

16.1 Fluido Caloportador

El fluido calo portador pasa a través del absorbedor y transfiere a la parte del sistema de aprovechamiento térmico (acumulador o interacumulador) la energía. Los tipos más usados son el agua y la mezcla de anticongelante, pueden ser también aceites de silicona o líquidos orgánicos sintéticos.

Los anticongelantes son glicoles y los más usados son el etilenglicol y el propilaglicol.

Las características fundamentales de los anticongelantes son:

- Son tóxicos – Debido a que llevan una sustancia que se conoce como inhibidores de la corrosión que es beneficioso para los dispositivos de la instalación. Se debe impedir que se mezcle con el agua de consumo (haciendo la presión del

secundario mayor que la del primario, por prevención ante una posible rotura del intercambiador).

- Son muy viscosos – Al ser más espesos le cuesta al líquido más avanzar, aumentando la pérdida de carga, factor a tener en cuenta a la hora de elegir la electrobomba que suele ser de mayor potencia.
- Dilata más que el agua cuando se calienta - Para evitar las sobrepresiones se utiliza el vaso de expansión. Si se diseña el vaso como para que aguante una presión como si fuese sólo agua, la membrana del vaso llega un punto en el que no da más de sí y se produciría la sobrepresión en el circuito.
- Es inestable a más de 120°C – Si alcanzase más de esta temperatura, se degrada convirtiéndose en un ácido muy corrosivo que afectaría a la vida de los elementos de la instalación. Además pierde sus propiedades por lo que deja de evitar la congelación. Los hay que aguantan más temperatura pero son más caros.
- La temperatura de ebullición disminuye a la del agua – Podría verse como una ventaja porque significa que absorbe más energía.
- El calor específico disminuye al del agua. Por absorber más energía, tarda también más en perderla o entregarla, por lo que la ventaja anterior se anula al no transferir todo el calor que ha ganado.

Para calcular la cantidad de anticongelante que hay que añadir a una instalación, primeramente hay que consultar en la tabla de temperaturas históricas cuál es la mínima temperatura registrada en esa ciudad. Una vez que se conoce se va a la gráfica de los glicoles que suministra el fabricante y se traslada el valor para indicarnos cuál es el porcentaje.

16.2 Red de Tuberías

Se puede decir que es el esqueleto de la instalación solar, por el que pasa el fluido calor portador y/o el agua desde la captación hasta el punto de consumo. Las tuberías pueden ser de cobre o acero inoxidable, e incluso de materiales plásticos (PVC) en el tramo final (de consumo). La máxima que debe guiar el diseño de esta red de tuberías, es la que dice que el agua caliente debe hacer el menor recorrido posible, para evitar pérdidas innecesarias, y además tiene que aislarse convenientemente por ese mismo motivo.

16.3 Acumulador de ACS

Por lo general el agua caliente no siempre se utiliza cuando hay radiación solar disponible, por lo que se hace necesario su previsión en prácticamente la totalidad de instalaciones solares térmicas. Se llaman acumuladores de inercia térmica porque deben conservar el calor durante el mayor tiempo posible, es decir, que sus aislamientos han de ser lo suficientemente efectivos como para mantener una capacidad calorífica elevada en el interior del depósito. Además han de presentar una alta resistencia mecánica (normalmente con doble pared), pues suelen contener grandes volúmenes de agua, y la durabilidad de sus materiales ha de quedar garantizada (suele emplearse acero inoxidable en su construcción).

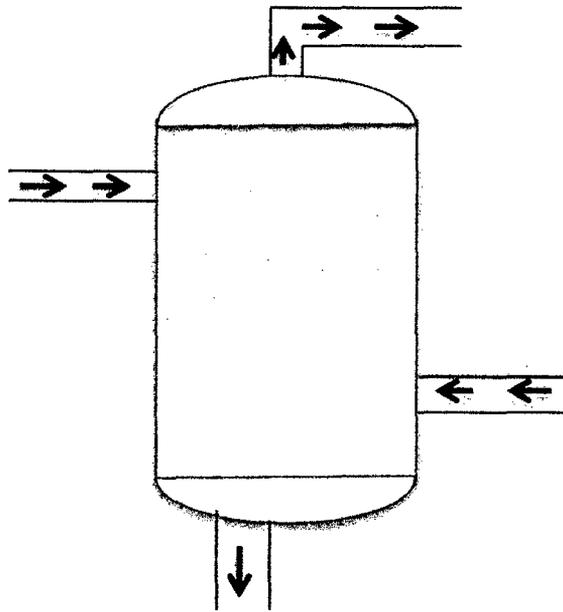


Figura N°19. Tanque de acumulación

16.4 Otros elementos de la instalación

16.4.1 Bombas de Impulsión

Facilitan el transporte del fluido calo portador desde los colectores hasta el almacenamiento y luego al consumo. Accionados por un motor eléctrico que suministran al fluido la energía necesaria para transportarlo por el circuito a una determinada presión. El caudal mínimo necesario debe ser de 50 litros por hora y m² de colector, optando por mayores caudales en caso de que el fluido a impulsar no sea agua.

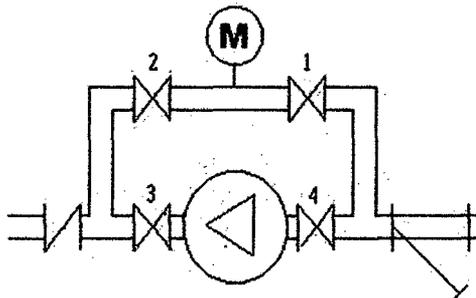


Figura N°20. Electrocirculadores o bombas

16.4.2 Depósito de Expansión

Su función es absorber las dilataciones del agua en las instalaciones de agua caliente sanitaria. Cuando crece la presión en la instalación debido a la dilatación del fluido calor portador (aumento de temperatura), el fluido sobrante entra en el vaso y empuja la membrana. Puede ser del tipo abierto o cerrado, dependiendo de si tiene contacto con la atmósfera.

16.4.3 Sistema de Regulación

El sistema de regulación está compuesto por termostatos, reguladores proporcionales, sensores (termopares y/o termo resistencias), elementos actuadores (relés y contactores). Existe una gran variedad de sistemas de regulación para una instalación solar en función a su aplicación, si bien, el sistema más usual es por medio de termostato diferencial. En este método, el regulador compara la temperatura del colector con la del acumulador, y en caso de que la sobrepase en más de un cierto nivel ($5-6^{\circ}\text{C}$) pone en marcha la bomba del primario, mientras que cuando la temperatura baja por debajo de ese nivel apaga dicha bomba.

17. Usos y Aplicaciones de la Energía Solar Térmica

La energía solar térmica, en sentido amplio, tienen las posibilidades de aplicación ilimitadas, que van desde obtener agua caliente en una vivienda a generar electricidad en una gran instalación, aquí nos ceñiremos a sus aplicaciones prácticas en la gama de baja temperatura, que fundamentalmente son:

- Agua caliente y precalentamiento de agua de proceso.
- Calefacción.
- Aire caliente.
- Refrigeración.

CAPITULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

1 Materiales y Equipos:

Para la realización del presente trabajo se utilizaron los siguientes equipos de medición y materiales:

- 1 anemómetro digital.
- 1 manómetro bourdon.
- 2 termómetros bimetalicos.
- 1 Analizador de gases de combustión.
- 1 computadora.

2 Metodología:

Para la realización de los cálculos se procedió de la siguiente manera:

2.1 Determinación de la eficiencia del generador de vapor.

La Institución cuenta con 02 calderos piro tubulares, uno de 70 BHP y otro de 50 BHP; para el presente estudio se consideró la caldera de 50 BHP. A continuación se detalla sus características y los métodos para determinar la eficiencia de la caldera según la **NTP 350.300.2008**

CUADRO N° 3. Características Técnicas del Generadores de Vapor de 50BHP en el Hospital Regional.

Descripción	Característica
Tipo	Pirotubular
Fabricante	ATTSU
Modelo	RL800/13
País de Origen	España
Potencia	50 BHP
Presión de Diseño	13 Kg/cm2
Temperatura de vapor	194.2°C
Producción de vapor	12001b/hr
Superficie de calefacción	256 ft2
Capacidad calorífica	850 Mbtu/hr
Consumo de combustible	65 gal /8hr
Año de fabricación	1994
Tipo de combustible	Diesel B5

Fuente: ATTSU.

A. Por el Método Directo:

El rendimiento se evalúa en función a la energía útil o calor aprovechado en relación al calor o energía suministrada. De modo que la eficiencia térmica se calcula:

$$n = \frac{\text{Energía o Potencia Calorífica Util}}{\text{Energía o Potencia Calorífica Suministrada}} * 100\%$$

$$n = \frac{\dot{m}_v(h_2 - h_1)}{\dot{m}_c * P_{ci}} * 100\% \quad \dots (3)$$

Dónde:

\dot{m}_v : Flujo de vapor generado por hora.

$(h_2 - h_1)$: Variación de entalpia de vapor.

\dot{m}_c : Consumo de combustible.

Pci: Poder calorífico inferior del combustible.

B. Por el Método Indirecto:

La eficiencia por el método indirecto se determina restando de 100 las pérdidas de calor más significativas de la caldera.

$$n = 100 - (P1 + P2 + P3 + P4 + P5 + P6) \quad \dots (4)$$

Dónde:

P1: Pérdida por la entalpía de los gases de escape secos %

P2: Pérdida por la entalpía del vapor de agua en los gases %

P3: Pérdida por inquemados gaseosos %

P4: Pérdida por inquemados sólidos %

P5: Pérdida por convección %

P6: Pérdida por radiación %

CUADRO N° 4: Ecuaciones que gobiernan a las pérdidas de calor

NOM.	DENOMINACIÓN	ECUACIONES																				
P1	Pérdida por la entalpía de los gases de escape secos	$P1 = k * \left\{ \frac{(T_g - T_a)}{[CO_2]} \right\} \dots (5)$ <p>Dónde la constante de Siegert k está en función al tipo de Combustible.</p> <p>Tabla N° 5: Propiedades de los Combustibles</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Tipo</th> <th>Cte. de siegert (k)</th> <th>CO₂ máx. %</th> <th>constante (k_1)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Residuales</td> <td>0.53</td> <td>15.8</td> <td>54</td> </tr> <tr> <td>Diesel</td> <td>0.49</td> <td>13.8</td> <td>53</td> </tr> <tr> <td>Glp</td> <td>0.4</td> <td>13.8</td> <td>48</td> </tr> <tr> <td>Gas natural</td> <td>0.35</td> <td>11.9</td> <td>40</td> </tr> </tbody> </table>	Tipo	Cte. de siegert (k)	CO ₂ máx. %	constante (k_1)	Residuales	0.53	15.8	54	Diesel	0.49	13.8	53	Glp	0.4	13.8	48	Gas natural	0.35	11.9	40
Tipo	Cte. de siegert (k)	CO ₂ máx. %	constante (k_1)																			
Residuales	0.53	15.8	54																			
Diesel	0.49	13.8	53																			
Glp	0.4	13.8	48																			
Gas natural	0.35	11.9	40																			
P2	Pérdida por la entalpía del vapor de agua en los gases	$P2 = \frac{\{([H_2O] + 9 * [H]) * (2488 - 4,2 * T_a + 2,1 * T_g)\}}{PCS} \dots (6)$																				
P3	Pérdida por inquemados gaseosos	$P3 = K_1 * \left\{ \frac{[CO]}{([CO_2] + [CO])} \right\} \dots (7)$ <p>Dónde K_1 es la constante de Inquemados del Combustible. (Ver Tabla N° 5).</p>																				

$$P4 = 0.4 * B^2 + 0.8 * B + 0.07 \quad \dots (8)$$

Tabla N° 6: Índice de Bacharach

Índice de bacharach	calificación	Efectos
1	Excelente	no hay hollín
2	Buena	hollín muy reucido
3	Regular	Cierta cant. de hollín
4	Pobre	hollín visible
5	muy pobre	hollina muy visible
6 a 9	Pobrísima	hollín muy muy visible

P4

Pérdida por
inquemados sólidos

$$P5 = 80 * \left(\frac{Q_{P5}}{W_C} \right) \quad \dots (9)$$

Dónde:

$$Q_{P5} = h_{cf} * A_f * (T_{sf} - T_a) + h_{cg} * A_g * (T_{sg} - T_a)$$

$$h_{cf} = 1.973 * 10^{-3} * (T_{sf} - T_a)^{0.25} * (2.857 * v + 1)^{0.5}$$

$$h_{cg} = 1.973 * 10^{-3} * (T_{sg} - T_a)^{0.25} * (2.857 * v + 1)^{0.5}$$

$$W_C = 9.81 * BHP$$

P5

Pérdida por
convección

$$P6 = 80 * (Q_{P6}/W_C) \quad \dots (10)$$

Dónde:

$$Q_{P6} = (q_{rf} * A_f) + (q_{rg} * A_g)$$

$$q_{rf} = 5.763 * 10^{-11} * e * \left[(T_{sf} + 273)^4 - (T_a + 273)^4 \right]$$

$$q_{rg} = 5.763 * 10^{-11} * e * \left[(T_{sg} + 273)^4 - (T_a + 273)^4 \right]$$

$$W_C = 9.81 * BHP$$

P6

Pérdida por
radiación

Dónde:

T_g : Temperatura de los gases de la combustión.

T_a : Temperatura del medio ambiente.

$[CO_2]$: % de Dióxido de Carbono en los gases de la combustión.

$[H_2O]$: % de Agua en los gases de la combustión.

$[H]$: % de Hidrogeno en los gases de la combustión.

PCS : Poder calorífico Superior del Combustible.

$[CO]$: % de Monóxido de Carbono en los gases de la combustión.

T_{sf} : Temperatura exterior de la caldera, lado del fluido (se asume la temperatura exterior del tambor o cilindro del caldero). En grados °K.

T_{sg} : Temperatura exterior de la caldera, lado de los gases (se asume la temperatura exterior de la chimenea). En grados °K.

A_f : Superficie exterior que cubre al fluido (se asume la superficie exterior del caldero) en m².

A_g : Superficie exterior que cubre los gases de la combustión (se asume la superficie exterior de la chimenea) en m²

v : Es la velocidad del viento (m/sg) que fluye por la parte exterior al caldero.

e : Emisividad del material que cubre al caldero.

h_{cf} : Coeficiente convectivo por el lado del fluido.

h_{cg} : Coeficiente convectivo por el lado de los gases.

W_C : Potencia de la caldera

Q_{P5} : Calor perdido por convección, en KW

Q_{P6} : Calor perdido por radiación, en KW

q_{rf} : Flujo de calor radiante que cubre el fluido de trabajo en caldera KW/m²

q_{rg} : Flujo de calor radiante que cubre a los gases combustión en la caldera KW/m²

2.2 Determinación del número de colectores:

Para calcular el número de colectores se tuvo que tener en cuenta los siguientes parámetros: Datos de lugar, latitud, radiación, características del colector.

Para garantizar nuestro abastecimiento de agua caliente, los cálculos se realizaron en función del mes con menos promedio de radiación solar. A continuación se detallan las respectivas ecuaciones:

Área de captación del colector

Es el área necesaria para satisfacer la demanda energética, está relacionada con la radiación global y la eficiencia total del sistema de calentamiento de agua.

$$A_{cap} = \frac{E}{\bar{H}_p \times \eta_g} \quad \dots (11)$$

Dónde:

\bar{H}_p : Radiación solar promedio ($\text{kJ/m}^2 \cdot \text{día}$)

η_g : Eficiencia del colector (%)

Y además

$$E = MC_e(T_{AC} - T_{H2O}) \quad \dots (12)$$

Dónde:

E: energía calorífica requerida (kJ/día)

M: masa de agua a calentar en un día (kg/día)

C_e : calor específico del agua ($4.18 \text{ kJ/kg} \cdot ^\circ\text{C}$)

T_{H2O} : temperatura inicial del agua ($^\circ\text{C}$)

T_{AC} : temperatura del agua caliente ($^\circ\text{C}$)

Número de Colectores:

La cantidad de colectores necesarios para satisfacer la demanda energética está determinada por la relación:

$$N_C = \frac{A_{cap} \times F.S}{A_C} \quad \dots (13)$$

Dónde:

N_C : Número de colectores

A_{cap} : Área de captación (m^2)

A_C : Área de un colector (m^2)

$F.S$: Factor de seguridad ó de proyección de demanda (F.S. [1 – 1.5])

CAPITULO IV

RESULTADOS

1. Características del lugar y de las necesidades de calentamiento del agua

1.1 Características de las necesidades de agua caliente

El hospital regional “Eliazar guzmán barrón” es una institución pública de servicio que se encuentra ubicado en nuevo Chimbote.

- Las coordenadas geográficas del lugar son:

Latitud : 9.04° S

Longitud: 78.35° O

Altitud : 4 *msnm*

- En cuanto a las características climáticas medias anuales del lugar se tienen:

Humedad relativa : 78 %

Temperatura mínima promedio : 17 °C

Temperatura máxima promedio : 27.73 °C

Clima : cálido

Velocidad del viento promedio anual : 2 m/s.

- El agua que va a ser calentada a través de los colectores solares será previamente almacenada en un tanque de acumulación.
- Necesidades energéticas de agua caliente del tanque de almacenamiento:
 - ✓ Temperatura requerida en el tanque de almacenamiento: 90°C
 - ✓ Volumen del tanque de almacenamiento: 2.5 m³
 - ✓ Total de agua a calentar: 1250 lt/día

2. Selección de un colector solar adecuado

2.1 Características del colector solar de placa plana

Para las capacidades de agua que se necesita precalentar se ha seleccionado el siguiente colector solar de placa plana “SK500” y sus características son las siguientes:

CAPTADOR SOLAR Y ABSORCIÓN SK500: Adaptado para cada tipo de posición, el mayor mérito del SK500 es el de ser un captador universal. El absorvedor estructurado de cobre macizo en toda su superficie con revestimiento de vacío altamente selectivo, la alta calidad de aislamiento y resistente cuba de aluminio hacen del SK500 uno de los mejores captadores en su clase.

Datos técnicos colector solar placa plana “SK500”:

- Superficie de absorvedor: 2,2 m²
- Presión máx. de trabajo: 10 bares
- Temperatura de parada: 180°C más la temperatura ambiente
- Caudal recomendado: 15-50 lt/h por m²
- Conexión de módulos: Máx 6 unidades en serie
- Inclinación min. Del captador: 15°C
- Inclinación máx. Del captador: 75°C

Ventajas del colector solar placa plana “SK500”:

- Módulos de 2,5 m², adecuados para todos los tipos de montaje
- Alta temperatura del agua caliente en poco tiempo gracias al revestimiento de vacío altamente selectivo del absorvedor.
- Vidrio solar resistente al granizo.
- Vida útil de 20 años, gracias a sus materiales, resistentes a sus cambios climáticos.
- Absorvedor de cobre estructurado macizo, revestimiento altamente selectivo.
- Cuba de aluminio embutido de bella forma.
- Aislamientos de las paredes laterales.

A. Hallando el área de captación del colector:

Dónde:

\bar{H}_p : Radiación solar promedio (10500 kJ/m²*día) - Anexo C

η_g : Eficiencia del colector (50%) - anexo K

E: Energía calorífica requerida (kJ/día)

M: Masa de agua a calentar en un día (1250 kg/día)

C_e : Calor específico del agua (4.18 kJ/ kg °C)

T_{H2O} : Temperatura inicial del agua blanda (16.5°C – Anexo “C”)

T_{AC} : Temperatura del agua caliente (90°C)

Reemplazando en la ecuación (12) y (11)

$$E = MC_e(T_{AC} - T_{H2O})$$

$$E = 1250 \frac{kg}{dia} \times 4.18 \frac{kJ}{kg^{\circ}C} \times (90 - 16.5)^{\circ}C$$

$$E = 384037.5 \frac{kJ}{dia}$$

$$A_{cap} = \frac{384037.5 \frac{kJ}{dia}}{(10500 \frac{kJ}{m^2 * dia}) \times 0.50}$$

$$A_{cap} = 73.15 m^2$$

B. Número de colectores

Dónde:

N_C : Número de colectores

A_{cap} : Área de captación (73.15m²)

Consideraremos para área de colector de:

A_C : Área de un colector (2.5 m²)

$F.S$: Factor de seguridad o de proyección de demanda (F.S. [1 – 1.5])

Consideraremos un $F.S = 1$.

Reemplazamos en la ecuación (13):

$$N_c = \frac{A_{cap} \times F.S}{A_c}$$

Entonces: $N_c = 29,26$ colectores

Redondeando a **30 colectores** para tener un arreglo adecuado.

2.2 Característica del colector solar de tubo de vacío

Para las capacidades de agua que se necesita precalentar se ha seleccionado el siguiente colector solar de tubo de vacío “**VITOSOL 200-T, MÓDELO D20**” y sus características son las siguientes:

VITOSOL 200-T, MÓDELO D20: Colector solar adecuado para calentar el agua sanitaria, calefacciones a bajas temperaturas y el agua de piscinas con un intercambiador de calor. Apto para el montaje en cubiertas inclinadas, planas y en fachadas.

Datos técnicos colector solar tubo de vacío “VITOSOL 200-T, MÓDELO D20”:

- Número de tubos: 20
- Superficie de instalación: 2.94 m²
- Dimensiones: Anchura: 1,490 mm
Altura: 2,028 mm
- Peso: 45 kg
- Contenido Líquido (medio portador de calor): 4 lt
- Presión máxima de servicio admisible: 6 bares
- Máxima temperatura de inactividad: 300°C
- Inclinación mínima: 20°

- Inclinação máxima: 70°
- Rendimiento del colector: 85%

Ventajas del colector solar tubo de vacío “VITOSOL 200-T, MÓDELO D20”:

- Máxima fiabilidad y larga vida útil gracias a la aplicación de materiales de alta calidad resistentes a la corrosión como, p. ej. Cobre, acero inoxidable, vidrio solar especial. Combinación duradera y a prueba de vacío de vidrio y metal.
- Elevado rendimiento gracias al absorbedor de circulación directa con recubrimiento de titanio y a los tubos de colectores de vacío para la reducción de pérdidas de calor.
- Tiempo de instalación muy reducido gracias al eficaz sistema de empalme para interconectar varios colectores en una batería de colectores con una superficie máxima de 6 m².
- Montaje sencillo gracias a la sujeción de tubo doble flexible de los tubos de vacío a la impulsión y al retorno con una unión de anillos opresores y con tubos flexibles.

A. Área de captación del colector

Dónde:

\bar{H}_p : Radiación solar promedio (10500 kJ/m²*día) - Anexo C

η_g : Eficiencia del colector (85%)

E: energía calorífica requerida (kJ/día)

M: masa de agua a calentar en un día (1250 kg/día)

C_e : calor específico del agua (4.18 kJ / kg °C)

T_{H_2O} : temperatura inicial del agua (16.5°C)

T_{AC} : temperatura del agua caliente (90 °C)

Reemplazando en la ecuación (12) y (11)

$$E = MC_e(T_{AC} - T_{H2O})$$

$$E = 1250 \frac{kg}{dia} \times 4.18 \frac{kJ}{kg^{\circ}C} \times (90 - 16.5)^{\circ}C$$

$$E = 384037.5 \frac{kJ}{dia}$$

$$A_{cap} = \frac{384037.5 \frac{kJ}{dia}}{(10500 \frac{kJ}{m^2 * dia}) \times 0.85}$$

$$A_{cap} = 43.03 m^2$$

B. Número de colectores

Dónde:

N_C : Número de colectores

A_{cap} : Área de captación (38.05 m²)

Consideraremos para área de colector de:

A_C : Área de un colector (2,94 m²)

$F.S$: Factor de seguridad o de proyección de demanda (F.S. [1 – 1.5])

Consideraremos un $F.S = 1$.

Reemplazamos en la ecuación (13):

$$N_C = \frac{A_{cap} \times F.S}{A_C}$$

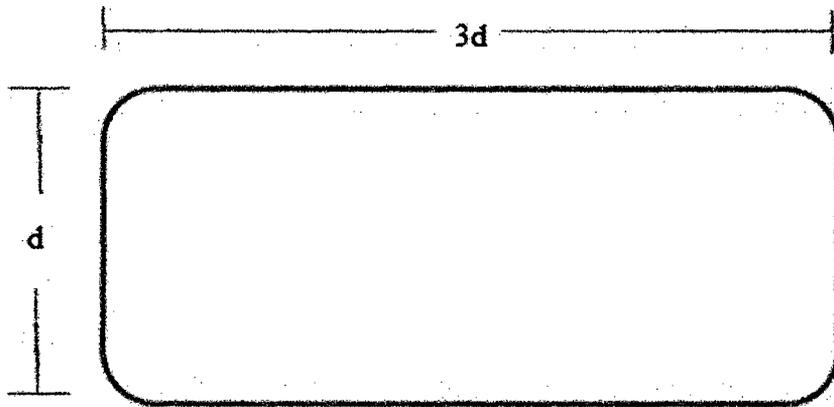
Entonces: $N_C = 14,64$ colectores

Redondeando a 16 colectores para tener un arreglo adecuado.

3. Dimensionado del acumulador.

Para dar respuesta al consumo de agua para calentamiento de 2.5 m³ aproximadamente con un almacenamiento de 1250 lt diarios de agua del Hospital Regional Eleazar

Guzmán Barrón, se ha estimado preliminarmente la necesidad de instalar 1 termotanque. El diseño apropiado es como se muestra en el esquema:



Dónde:

d: Diámetro del tanque de alimentación de la caldera

$$V = \frac{\pi d^2}{4} \times 3d = 2.5 \text{ m}^3$$

$$d = 1.0199 \text{ m}$$

$$L = 3d = 3.0598 \text{ m}$$

El aislante será de fibra de vidrio de 2" de espesor. Éste tipo de aislante es el más adecuado para resistir temperaturas elevadas de calor.

4. Características de la Bomba

$$P_{dc} = 13 \text{ kg/cm}^2 = 130 \text{ mH}_2\text{O}$$

$$Q = 125 \frac{\text{lt}}{\text{h}} = 3.472 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$P_{Hid} = Q\rho gH = (3.472 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s})(1000 \text{ kg/m}^3)(9.8 \text{ m}^2/\text{s})(130 \text{ m})$$

$$P_{Teorica} = 44.3 \text{ W}$$

$$P_{real} = \frac{44.3}{0.8} = 55.38 \text{ W}$$

Dónde:

Q : Caudal (m^3/sg)

ρ : Densidad del agua ($1000kg/m^3$)

g : Gravedad específica ($9.81 m^2/sg$)

H : Altura de bombeo (m)

P_{Hid} : Potencia Hidráulica (W)

5. Balance de energía en la caldera.

5.1 Hallando la eficiencia por el método indirecto.

- **Pérdida por la entalpía de los gases de escape secos, P1**

Dónde:

k : 0.49

T_g : 215°C

T_a : 20°C

$[CO_2]$: 13%

Reemplazando en la ecuación (5):

$$P1 = k * \left\{ \frac{(T_g - T_a)}{[CO_2]} \right\}$$

P1= 7.35%

- **Pérdida por la entalpía del vapor de agua en los gases, P2**

Dónde:

$[H_2O]$: 0%

[H]: 13.4%

PCS: 45329Kj/kg

Reemplazando en la ecuación (6):

$$P2 = \frac{\{([H_2O] + 9 * [H]) * (2488 - 4,2 * T_a + 2,1 * T_g)\}}{PCS}$$

P2= 7.60%

- **Pérdida por inquemados gaseosos, P3**

Dónde:

K_1 : 53%

[CO]: 0.5%

[CO₂]: 13%

Reemplazando en la ecuación (7):

$$P3 = K_1 * \left\{ \frac{[CO]}{([CO_2] + [CO])} \right\}$$

P3= 2%

- **Pérdida por inquemados sólidos, P4**

Dónde:

B: 2

Reemplazando en la ecuación (8):

$$P4 = 0.4 * B^2 + 0.8 * B + 0.07$$

P4= 3.27%

- **Pérdida por convección, P5**

Dónde:

Q_{P5} : 9.55862998kW

W_C : 490.5 kW

Reemplazando en la ecuación (9):

$$P5 = 80 * \left(\frac{Q_{P5}}{W_C} \right)$$

$$P5 = 1.56\%$$

- **Pérdida por radiación, P6**

Dónde:

$$Q_{P6}: 0.9089 \text{ kW}$$

$$W_C: 490.5 \text{ kW}$$

Reemplazando en la ecuación (10):

$$P6 = 80 * (Q_{P6}/W_C)$$

$$P6 = 0.158\%$$

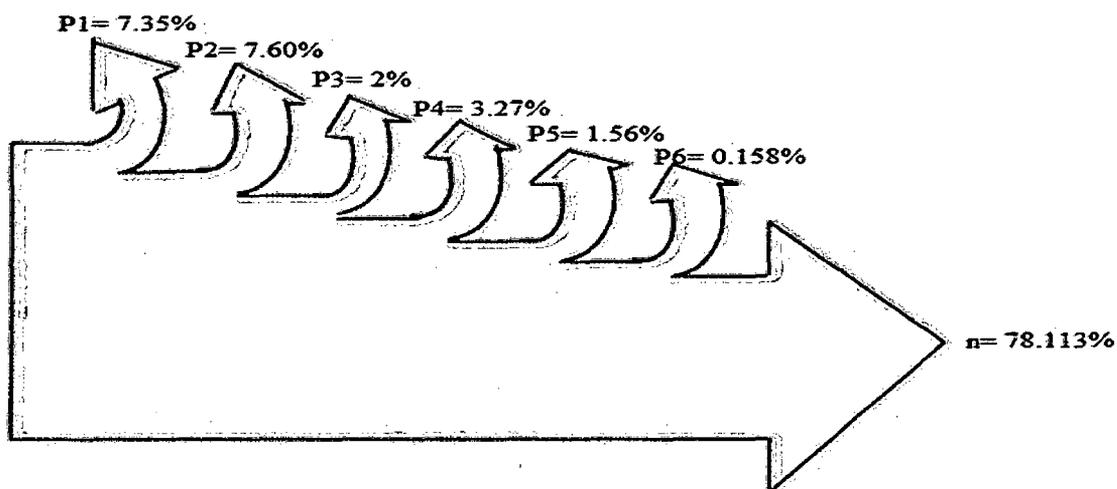
➤ **Eficiencia de la caldera :**

Reemplazando en la ecuación (4):

$$n = 100 - (P1 + P2 + P3 + P4 + P5 + P6)$$

$$n = 78.113\%$$

Diagrama de Sunkey



6. Cálculo del ahorro de combustible.

Reemplazando en la ecuación (3):

$$\eta = \frac{m_v(h_2 - h_1)}{m_c \times PCI}$$

Dónde:

m_v : Flujo de vapor (kg/h)

m_c : Flujo de combustible (13G1/h = 41.786 kg/h)

PCI : Poder calorífico inferior (43 062 kJ/kg)

h_2 : Es la entalpia final del vapor saturado a la presión de diseño.

h_1 : Es la entalpia inicial del agua a la presión de diseño y a la temperatura de ingreso del agua al caldero.

Comprobación mediante cálculo:

Temperatura de ingreso: 70°C	Temperatura de ingreso: 90°C
<ul style="list-style-type: none"> Flujo de vapor generado: <p>$h_1: 294 \text{ kJ/kg}$ (Tabla P = 13bar y T = 70°C)</p> <p>$h_2: 2785.4 \text{ kJ/kg}$ (Tabla P = 13bar)</p> <p>Despejando la ecuación (3):</p> <p>$m_v = 564.16 \text{ kg/h}$</p> <ul style="list-style-type: none"> BHP_{real}: $BHP_{real} = \frac{P_{caldero}}{1BHP}, 1BHP = 8437 \text{ kcal/h}$ $P_{caldero} = m_v(h_2 - h_1)$ <p>$BHP_{real} = 39.9$</p> <ul style="list-style-type: none"> Factor de carga: $F.C = \frac{BHP_{real}}{BHP_{nominal}}$ <p>$F.C = 0.80$</p> <ul style="list-style-type: none"> Indicadores energéticos: $IET = m_c/m_v$ <p>$IEE = IET \times \text{Costo}_{comb}$, donde:</p> $\rho_{comb} = 0.87 \text{ kg/lt}$ <p>$1Gln = 3.785 \text{ lt}$</p> <p>$m_c = 13 \text{ gl/h}$</p> <p>$m_v = 0.5641604 \text{ ton/h}$</p> <p>$\text{Costo}_{comb} = 9.38 \text{ s//gln}$</p> <p>$IET = 22.4927764 \text{ gal. comb/ton vapor}$</p> <p>$IEE = 210.98 \text{ s./ton vapor}$</p>	<ul style="list-style-type: none"> Nuevo flujo de combustible: <p>$h_1: 377.9 \text{ kJ/kg}$ (Tabla P = 13bar y T = 90°C)</p> <p>$h_2: 2785.4 \text{ kJ/kg}$ (Tabla P = 13bar)</p> <p>Despejando la ecuación (3):</p> <p>$m'_c = 40.38 \text{ kg/h}$</p> <ul style="list-style-type: none"> BHP_{real}: $BHP_{real} = \frac{P_{caldero}}{1BHP}, 1BHP = 8437 \text{ kcal/h}$ $P_{caldero} = m_v(h_2 - h_1)$ <p>$BHP_{real} = 38.51$</p> <ul style="list-style-type: none"> Factor de carga: $F.C = \frac{BHP_{real}}{BHP_{nominal}}$ <p>$F.C = 0.77$</p> <ul style="list-style-type: none"> Indicadores energéticos: $IET = m_c/m_v$ <p>$IEE = IET \times \text{Costo}_{comb}$, donde:</p> $\rho_{comb} = 0.87 \text{ kg/lt}$ <p>$1Gln = 3.785 \text{ lt}$</p> <p>$m_c = 12.26 \text{ gl/h}$</p> <p>$m_v = 0.5641604 \text{ ton/h}$</p> <p>$\text{Costo}_{comb} = 9.38 \text{ s//gln}$</p> <p>$IET = 21.7353132 \text{ gal. comb/ton vapor}$</p> <p>$IEE = 268.43 \text{ s./ton vapor}$</p>

- Ahorro de combustible = $m_c - m'_c$
Ahorro de combustible = 1.41 kg/h
- Ahorro económico al día = 48.10 s./día
- Ahorro económico al mes = 1298.71 s./mes
- Ahorro económico al año = 15 584.5138 $\frac{s}{año}$

7. Estudio económico del proyecto

7.1 Presupuesto del proyecto.

7.1.1 Vida del colector

Se estima una vida útil de 20 años, gracias a la aplicación de materiales de alta calidad resistentes a la corrosión y cambios climáticos

7.1.2 Importes parciales

Para determinar este costo habrá que considerar, en primer lugar todas las inversiones que serán necesarias para la compra e instalación del equipo.

a. Costos fijos si se compran el conjunto colectores

CUADRO N°5: Precios actuales de colectores solares

Marca, Modelo	Precio (US\$/colector)	Precios del conjunto de CSP (US\$)	País
CAPTADOR SOLAR Y ABSORCIÓN SK500 /CPP – 2.5m² (30 colectores)	495.03	14350.9	España

VITOSOL 200-T, MÓDELO D20 / Tubo de Vacío -2.94m² (16 colectores)	863.26	13812.16	España
---	--------	----------	--------

b. Presupuesto para la construcción del tanque de almacenamiento

CUADRO N°6: Presupuesto para la construcción del tanque de almacenamiento

ESPECIFICACIONES	METRADO		COSTO (US\$)	
	UNIDAD	CANT.	P.UNIT	P. PARCIAL
Plancha Acero Inox de 3,06m x 1,02m; de 1/8" espesor	Unid	2	18.90	37.80
Cortado y rolado de la plancha de acero inox.	Unid	2	8.75	17.50
Lana fibra de vidrio 2" de espesor	m	5	4.25	21.25
Mano de obra	Glb	1	18.50	18.50
Otros	Glb	1	12.86	12.86
Costo Total				107.91

c. Costos fijos de instalación, operación y mantenimiento

CUADRO N°7: Cuadro de inversión

INVERSIONES	MONTO (US\$)	
	C.P.P	Tubo de Vacío
Sistema Colectores Solares Térmicos	14350.9	13812.16
Termo tanque con aislamiento de fibra de vidrio	107.91	107.91
Bomba, Tubería, válvulas, accesorios de instalación, estructura, aislamiento	2 500	2 350
Sistema de monitoreo y control (incluye equipos de medición)	4 000	4 000
Instalación de sistemas	3 570	3 570
Supervisión de obras	1 000	1 000
Total	25 528.81	24 840.07
	S/. 71 480.67	S/. 69 552.19

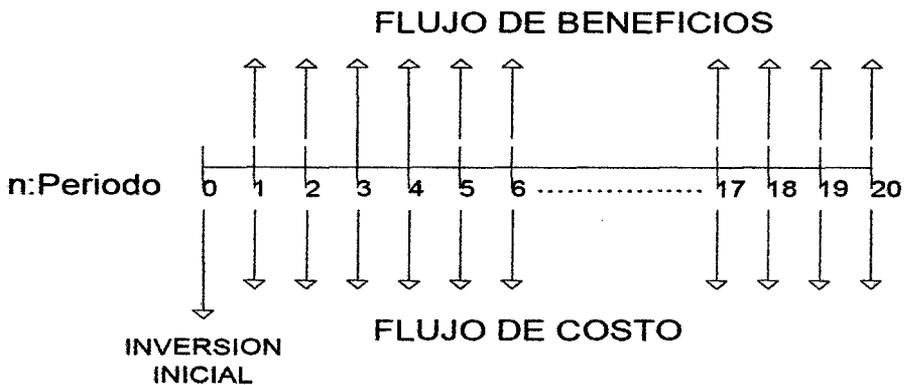
CUADRO N°8: Costo de Operación y Mantenimiento

O & M	OPERACIÓN	MANTTO	TOTAL (US\$)	TOTAL (S/.)
CAPTADOR SOLAR Y ABSORCIÓN SK500 /CPP	450	600	1050	2940
VITOSOL 200-T, MÓDELO D20 / Tubo de Vacío	550	700	1250	3375

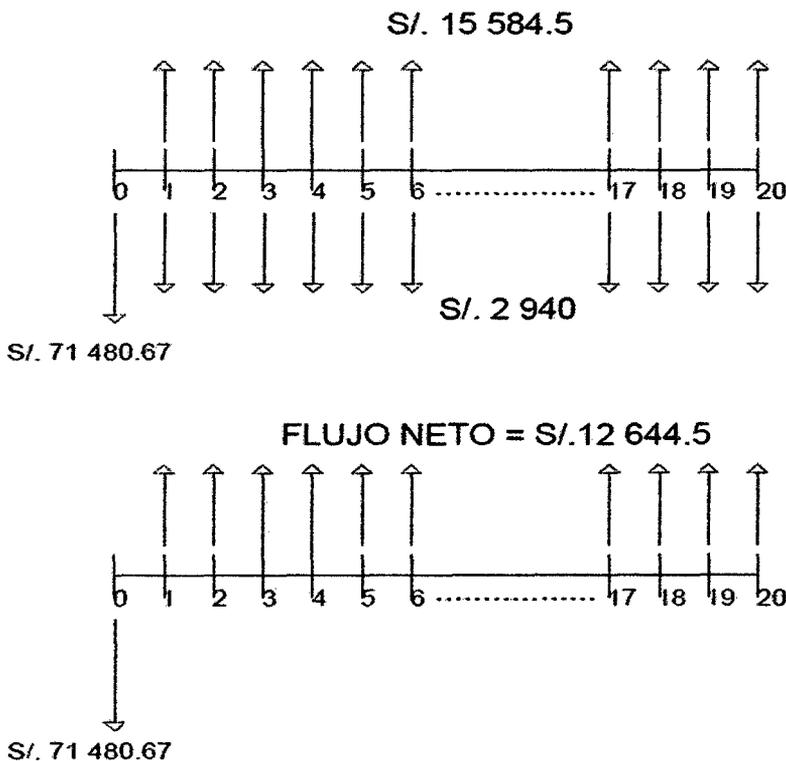
7.2 Rentabilidad del Proyecto

Con los colectores solares instalados en el Hospital Regional Eleazar Guzmán Barrón y una capacidad de producción calorífica de 43 062 kJ/kg necesarios para ahorrar 5 482. 08 kg/año de Diesel B5 que valorados al precio de 2.85 s/. /kg resulta un ahorro anual de S/. 15 584.514 al año

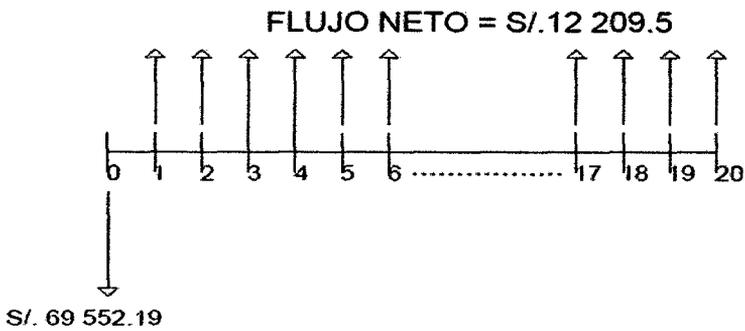
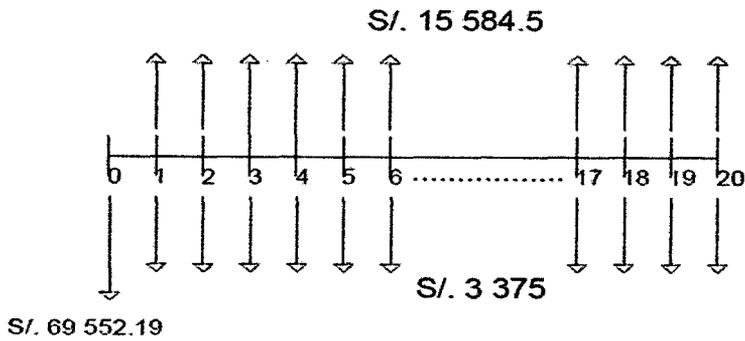
Figura N°21: Flujo de fondos económicos (S/.)



Flujo de fondos económicos para el CAPTADOR SOLAR Y ABSORCIÓN SK500 /CPP (S/.)



Flujo de fondos económicos para el VITOSOL 200-T, MÓDELO D20 / Tubo de Vacío (S/.)



El análisis de la rentabilidad se realizará, sin incluir el valor de salvamento de la instalación y teniendo en cuenta los siguientes índices económicos:

7.2.1 Valor Actual Neto VAN

Se define como la sumatoria de los flujos netos anuales actualizados menos la Inversión inicial. Este indicador de evaluación representa el valor del dinero actual que va reportará el proyecto en el futuro, a una tasa de interés y un periodo determinado.

El VAN se determina de la expresión:

$$VAN = -I_0 + \sum_{K=1}^{K=n} \frac{(B_K - C_K)}{(1 + i)^K} \quad \dots (14)$$

Dónde:

I_0 : Inversión inicial

B_K : Beneficio o ingresos netos del periodo k (año k)

C_K : Costos netos del periodo K

i : tasa de interés (llamada tasa de descuento)

n : años de duración del Proyecto

Un valor significativo se produce para $VAN = 0$ y que representa que el proyecto cumple con las exigencias del inversionista, es decir es la alternativa mejor que las del mercado en ese momento. Los criterios para la toma de decisión son:

- $VAN > 0$, el proyecto es rentable
- $VAN = 0$, es indiferente realizar
- $VAN < 0$, el proyecto no es rentable

CAPTADOR SOLAR Y ABSORCIÓN SK500 /CPP (S/.)	VITOSOL 200-T, MÓDELO D20 / Tubo de Vacío
$VAN = 22\ 966.71$ (Proyecto es rentable)	$VAN = 21\ 645.98$ (Proyecto es rentable)

7.2.2 Tasa Interna de Retorno TIR

Se define como la tasa de descuento que hace que el VAN sea igual a cero. La TIR se determina de la expresión:

$$0 = -I_0 + \sum_{K=1}^{K=n} \frac{(B_K - C_K)}{(1 + TIR)^K} \quad \dots (15)$$

Los indicadores relevantes son:

- $TIR > i$, el proyecto es rentable
- $TIR = i$, es indiferente su realización
- $TIR < i$, el proyecto no es rentable

CAPTADOR SOLAR Y ABSORCIÓN SK500 /CPP (S/.)	VITOSOL 200-T, MÓDELO D20 / Tubo de Vacío
TIR = 16.92% (Proyecto es rentable)	TIR = 17.52% (Proyecto es rentable)

7.2.3 Razón de beneficios a costos B/C

La relación entre beneficio y costo muestra la cantidad de dinero actualizado que recibirá el Proyecto por cada unidad monetaria invertida. Se determina dividiendo los ingresos brutos actualizados (beneficios) entre los costos actualizados. Para el cálculo generalmente se emplea la misma tasa que la aplicada en el VAN.

$$B/C = \frac{\text{Valor actual de beneficios}}{\text{Valor actual de los costos}} \quad \dots (16)$$

Este indicador mide la relación que existe entre los ingresos de un Proyecto y los costos incurridos a lo largo de su vida útil incluyendo la Inversión total.

- $B/C > 1$, el proyecto es rentable, ya que el beneficio es superior al costo.
- $B/C = 1$, es indiferente realizar el proyecto, porque no hay beneficio ni pérdidas.
- $B/C < 1$, el proyecto no es rentable y debe rechazarse.

CAPTADOR SOLAR Y ABSORCIÓN SK500 /CPP (S/.)	VITOSOL 200-T, MÓDELO D20 / Tubo de Vacío
B/C = 1.246	B/C = 1.230

7.2.4 Periodo de recuperación del capital PRC

Determina los años requeridos para recuperar el capital invertido.

$$-I_0 + \sum_{K=1}^{K=T} \frac{(B_K - C_K)}{(1+i)^K} = 0 \quad \dots (17)$$

Donde la expresión a la izquierda de la igualdad representa los flujos actualizados desde el año 0 (donde se realiza la inversión I_0) hasta el año T que hace que el flujo total sea cero. En este caso se dice que:

$$T = \text{PRC}$$

CAPTADOR SOLAR Y ABSORCIÓN SK500 /CPP (S/.)	VITOSOL 200-T, MÓDELO D20 / Tubo de Vacío
PRC = 5.65 años ≈ 6 años	PRC = 5.72 años ≈ 6 años

Por lo tanto se implementará colectores de tubo de vacío por ser de menor inversión y de mayor eficiencia.

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1 CONCLUSIONES:

- Con 16 colectores de tubo de vacío se puede obtener un ahorro de combustible de 5 482. 08 kg (1 664.79 Gal) al año de Diesel B5 lo que representa un 3.37% de ahorro.
- De acuerdo a la NTP 350.300.2008 y habiendo realizado los cálculos por el método indirecto se determinó para la caldera de 50 BHP una eficiencia de 78,11%. Con este valor obtenido se encuentra que la caldera está dentro del rango de eficiencia (78 – 80) %, siendo su categoría C.
- La demanda de agua es 1250 lt/día, entrando al tanque de alimentación de 10 - 14 lt cada 3 minutos y nuevamente esa agua será recuperada al tanque de alimentación por eso se le considerará constante.
- Utilizando como dato de entrada la radiación solar estimada en el informe de tesis “Bach. Varas Arteaga, E. J. (2006)”, y los datos técnicos del colector solar óptimo seleccionado de CENSOLAR tomo VI, se procedió hallar el área de captación y por ende el número de colectores.
- Con la implementación de los colectores solares de tubo de vacío para precalentar el agua de alimentación se puede obtener un ahorro de s/. 15 584.51 al año y una tasa de rentabilidad del 17.52 % lo cual garantiza que es rentable este proyecto.

2 RECOMENDACIONES:

- La inclinación óptima de los colectores serán de 20° orientados con la cara hacia el norte. Esta inclinación garantiza una adecuada circulación de flujo de agua.
- Al hacer las conexiones de los colectores entre sí, según el esquema hidráulico, se verificará la igualdad del recorrido.
- Los colectores estarán conectados en paralelo separados en 40 cm uno del otro para evitar que se haga sombra.
- Tener en cuenta que se debe realizar un estudio netamente del diseño del tanque de almacenamiento.
- El aislante será de fibra de vidrio de 2" de espesor, este es el más adecuado por resistir temperaturas elevadas de calor.
- Establecer un plan de mantenimiento preventivo para evitar que el sistema disminuya su tiempo de vida útil.
- Realizar mantenimiento preventivo de la caldera cada 4 meses, para evitar las acumulaciones de hollín y cenizas.
- Fomentar capacitación activa, técnico práctico del personal que labora por área a fin de cumplir con las nuevas exigencias tecnológicas para el mejoramiento de la eficiencia productiva en caso de realizarse el proyecto.

CAPITULO VI

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

TEXTOS:

1. Duffie, J., & Beckman, W. (1980). *Solar Radiation, available Solar Radiation y flat - plate Collectors. en Solar Engineering of Thermal Processes* (págs. 5 - 25, 68 - 122 Y 250 - 291). Madison, Wisconsin.
2. Guevara Chinchayan, R. (2013). *Generadores de vapor pirotubulares. chimbote: plantas consumidoras de energia, UNS.*
3. Hapaya Barrientos, J. (2005). *Generadores de vapor. UNI.*
4. NTP 350.300.2008. (2008). *Calderas industriales. procedimiento para la determinacion de la eficiencia termica de calderas industriales. lima.*
5. NTP 350.301.2009. (2009). *Calderas industriales. estandares de eficiencia termica y etiquetado. lima.*
6. NTP 399.404.2006. (2006). *Sistema de calentamiento de agua con energia solar. fundamentos para su dimensionamiento eficiente. lima.*
7. SPIRAX SARCO. (2010). *guia tecnica de calderas a vapor y accesorios.*
8. PhD Baigorria Paz, G. (2003). *Atlas de energia solar del Perú. Perú.*
9. Censolar. (2006). *Sistema de aprovechamiento solar. Tomo VI y Tomo III . España.*

TESIS REVISADAS:

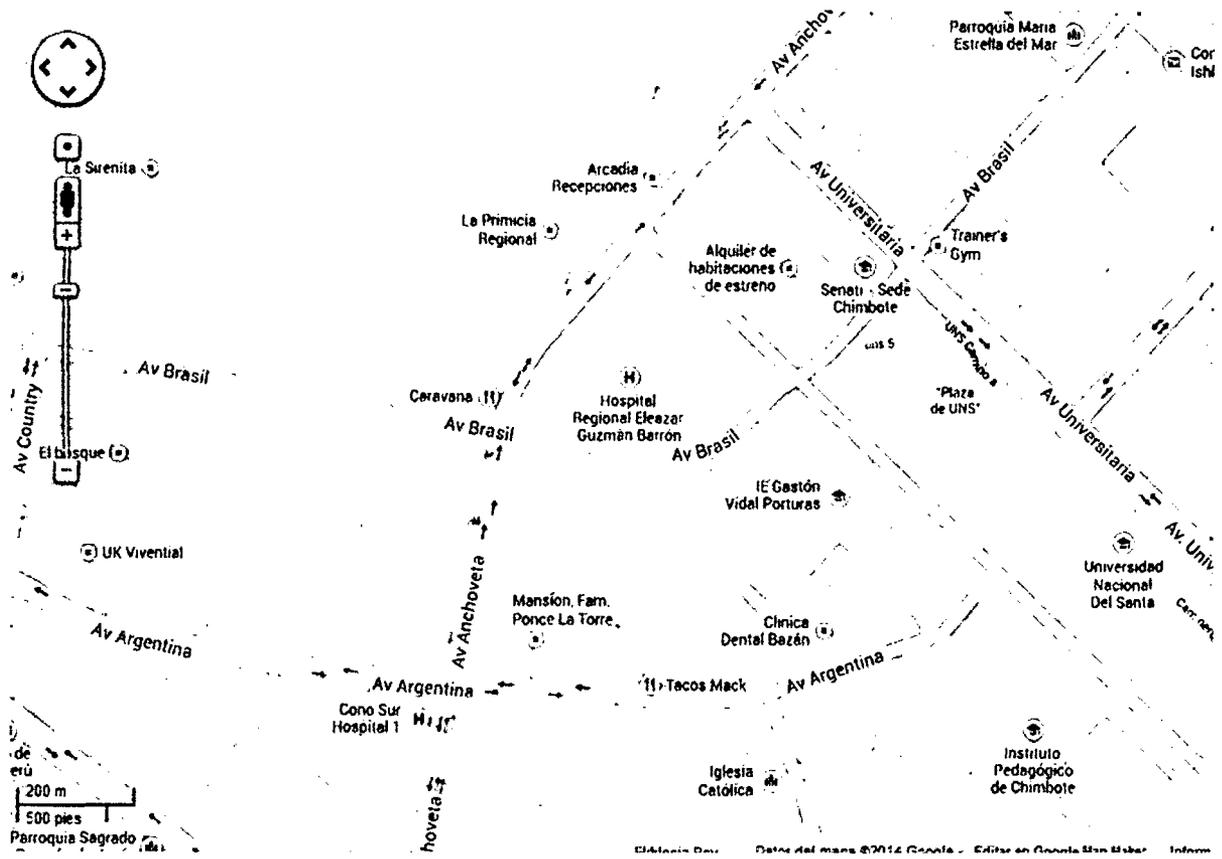
1. Bach. Varas Arteaga, E. J. (2006). *Abastecimiento de agua caliente usando colectores solares para un hotel rural en la ciudad de Chimbote. Chimbote.*

2. Eliezar, J., Rojas, H., & Miranda, O. (2011). *Producción de energía térmica con sistemas solares en Hospital Lenin Fonseca. Nicaragua.*
3. Alarcón, H. (2011). *Análisis de la factibilidad de la factibilidad de utilizar colectores solares planos en el calentamiento de agua, usada para el lavado de botellas de vidrio en industrias refresqueras mexicanas. Mexico.*
4. Lopez, V., & Edwin, A. (2003). *Aplicacion de un Sistema solar de Agua caliente Sanitaria para Demanda Multiple. Nuevo Chimbote.*
5. Mariños Castillo, A. (2005). *Diseño, Construcción y Evaluación del Funcionamiento de una Terma Solar de Placa Plana para ser instalado en un domicilio de la Urb. El Carmen - Chimbote. chimbote.*

ANEXOS

Anexo A

MAPA DE LOCALIZACIÓN



Anexo B

VALORES MES A MES DE LA TEMPERATURA AMBIENTE

MESES	T _{ambiente} (°C)
ENERO	23.34
FEBRERO	23.73
MARZO	22.96
ABRIL	21.80
MAYO	20.99
JUNIO	16.50
JULIO	18.28
AGOSTO	17.96
SEPTIEMBRE	18.75
OCTUBRE	19.82
NOVIEMBRE	19.97
DICIEMBRE	20.12

Fuente: SENAMHI.

Anexo C

VALORES MES A MES DE LA TEMPERATURA DEL AGUA BLANDA



Hospital Regional
Eleazar Guzmán Barrón

MESES	T _{agua blanda}
ENERO	22.7
FEBRERO	23
MARZO	22.01
ABRIL	21
MAYO	20.02
JUNIO	16.5
JULIO	17.2
AGOSTO	16.78
SEPTIEMBRE	17.65
OCTUBRE	18.91
NOVIEMBRE	18.92
DICIEMBRE	19.45

Fuente: HOSPITAL REGIONAL E.G.B - 2013

Anexo D

PROMEDIO MENSUAL DE RADIACIÓN SOLAR EN CHIMBOTE

MESES	H_0 (MJ/m ² *día)	H (MJ/m ² *día)
ENERO	39.38	13.98
FEBRERO	39.31	13.94
MARZO	37.98	13.49
ABRIL	34.99	12.42
MAYO	31.61	11.23
JUNIO	29.65	10.50
JULIO	30.45	10.82
AGOSTO	33.31	11.75
SEPTIEMBRE	36.84	12.97
OCTUBRE	38.54	13.61
NOVIEMBRE	39.21	13.93
DICIEMBRE	39.20	13.94
PROMEDIO ANUAL	35.87	12.72

La radiación más baja en la ciudad de Chimbote es en el mes de **junio**.

(Fuente: Bach. Varas Arteaga, E. J. (2006). *Abastecimiento de agua caliente usando colectores solares para un hotel rural en la ciudad d Chimbote.*)

LISTA DE PRECIOS DE COMBUSTIBLES

PRECIOS NETOS PETROPERÚ

LISTA COMB-01-2014
VIGENCIA A PARTIR DEL 01.01.2014

		SOLES/GLN							
	PLANTAS	GLP-E SOLES/KG	GLP-G SOLES/KG	GASOLINA SUPER 90 SP	GASOLINA S+ SP	DIESEL B5 UV	DIESEL B5 [***]	PETROPERU INDUSTRIAL N° 6 [***]	PETROPERU INDUSTRIAL 500 [***]
12	TALARA	1.8030	2.1930	8.4000	8.0800	9.2100	9.2100	6.9800	6.8800
13	PIURA			8.4850	8.2100	9.2700	9.2700		
14	ETEN			8.4950	8.2200	9.2900	9.2900	7.0350	6.8800
18	SALAVERRY			8.5150	8.2700	9.3300	9.3300	7.0650	
19	CHIMBOTE				8.2850	9.3800	9.3800	7.0750	6.9850
25	SUPE			8.5100	8.2600	9.3500	9.3500	7.0350	6.9250
20	CALLAO	1.8030	2.1930	8.2400	7.9600			6.8100	6.7000
28	CONCHAN			8.2300	7.9500			6.7900	6.6800
35	C. DE PASCO			8.6750	8.4450	9.6100	9.6100		
31	PISCO			8.5450	8.2600	9.3900	9.3900		7.0150
41	MOLLENDO			8.4950	8.2400			7.0450	6.9450
47	JULIACA				8.5300				
49	CUSCO				8.6500				
45	ILO				8.2700	9.3900	9.3900	7.0550	
77	EL MILAGRO			8.8200	8.2700	9.3400	9.3400	7.3600	
67	TARAPOTO			8.9000	8.4700	9.5650	9.5650		

IMPUESTOS APLICABLES A ESTAS PLANTAS

	RODAJE % (*)			8	8				
	ISC (Soles/Calón) (**)			1.5700	1.1700	1.2000	1.2000	0.3900	0.3800
	IGV %	18	18	18	18	18	18	18	18

(*) El Impuesto del rodaje se aplica sobre el valor de venta de las gasolinas sin incluir el ISC y el IGV.

(**) Impuesto Selectivo al Consumo en aplicación del D.S. N°097-2011-EF.

(***) El ISC del Diesel B5 ha sido aprobado con D.S. N°270-2010-EF, en aplicación del Reglamento de Comercialización de Biocombustibles aprobado con D.S. N°021-2007-EM. El Diesel B5 y el Diesel B5 S-50 serán comercializados a partir del 01 de Enero del 2011.

A LOS PRECIOS DE LISTA DE LOS COMBUSTIBLES DESPUÉS DE IMPUESTOS SE LE ADICIONARÁ EL FISE EN APLICACIÓN DE LA LEY N° 29852, MODIFICADA CON LEY N° 30114 D EL 02 DE DICIEMBRE DEL 2013 "LEY DE PRESUPUESTO DEL SECTOR PÚBLICO PARA EL AÑO FISCAL 2014.

EL PRECIO DE VENTA DEL GLP-E, GLP-G y GLP-PD EN TERMINAL CALLAO Y TALARA INCLUIRÁ ADEMÁS DEL PRECIO DE LISTA, EL TRASLADO DEL RECARGO AL TRANSPORTE POR DUCTO DE ACUERDO A LEY N° 29852.

Anexo F

PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL DIESEL B5

Aspecto: Líquido oleoso.	pH: NP
Color: NP	Olor: Característico.
Punto de ebullición: PIE 149 °C. PFE: 385 máx. (ASTM D-86)	Punto de fusión/congelación: NP
Punto de inflamación/Inflamabilidad: 52 °C min. (ASTM D-93)	Autoinflamabilidad: 257 °C
Propiedades explosivas: Limite inferior explosivo: 1.3% Limite superior explosivo: 6 %	Propiedades comburentes: NP
Presión de vapor: (Reid) 0.004 Atm.	Densidad: 0.87 g/cm ³ a 15 °C (ASTM D-1298)
Tensión superficial: 25 dinas/cm ² a 25 °C	Viscosidad: 1.7-4.1 cSt. a 40 °C (ASTM D-445)
Densidad de vapor: 3.4 (aire: 1)	Coef. reparto (n-octanol/agua): NP
Hidrosolubilidad: Muy baja.	Solubilidad: En disolventes del petróleo.
Otros datos: Punto de obstrucción filtro frío: -6 °C (verano e invierno) Calor de combustión: -45500 KJ/Kg (ASTM D-240) Azufre: 0.5 % masa máx. (ASTM D-4294)	

Fuente: Petroperú

Anexo G

VALORES TÍPICOS DE LA CONSTANTE DE SIEGERT, K

Combustible	k	[H] (%)
Diesel 2	0,49	13,4
Residuales	0,53	11,5
GLP	0,40	17,5
Gas Natural	0,35	25 (*)
(*) Segin procedencia		

Fuente: NTP 350.300.2008

Anexo H

CONTENIDO DE HUMEDAD Y PCS PARA ALGUNOS COMBUSTIBLES

<i>Combustible</i>	<i>[H₂O] (%)</i>	<i>PCS (kJ/kg)</i>
<i>Diesel 2</i>	<i>0,00</i>	<i>45 329</i>
<i>Residual 5</i>	<i>0,05</i>	<i>43 068</i>
<i>Residual 6</i>	<i>0,10</i>	<i>42 099</i>
<i>Residual 500</i>	<i>0,10</i>	<i>42 283</i>
<i>GLP</i>	<i>0,00</i>	<i>52 123</i>
<i>Gas natural</i>	<i>0,00</i>	<i>53 913</i>

Fuente: NTP 350.300.2008

Anexo I

VALORES DE LA CONSTANTE K_f

<i>Combustible</i>	<i>k_f</i>	<i>PCS (kJ/kg)</i>
<i>Diesel 2</i>	<i>53</i>	<i>45 329</i>
<i>Residual 5</i>	<i>54</i>	<i>43 068</i>
<i>Residual 6</i>	<i>54</i>	<i>42 099</i>
<i>Residual 500</i>	<i>54</i>	<i>42 283</i>
<i>GLP</i>	<i>48</i>	<i>52 123</i>
<i>Gas natural</i>	<i>40</i>	<i>53 913</i>

Fuente: NTP 350.300.2008

Anexo J

EMISIVIDAD PARA ALGUNAS SUPERFICIES

<i>Color de la superficie</i>	<i>Emisividad</i>
<i>Negro</i>	<i>0,96 - 0,98</i>
<i>Varias pinturas</i>	<i>0,92 - 0,96</i>
<i>Acero Inoxidable</i>	<i>0,08 - 0,26</i>

Fuente: NTP 350.300.200

Anexo K

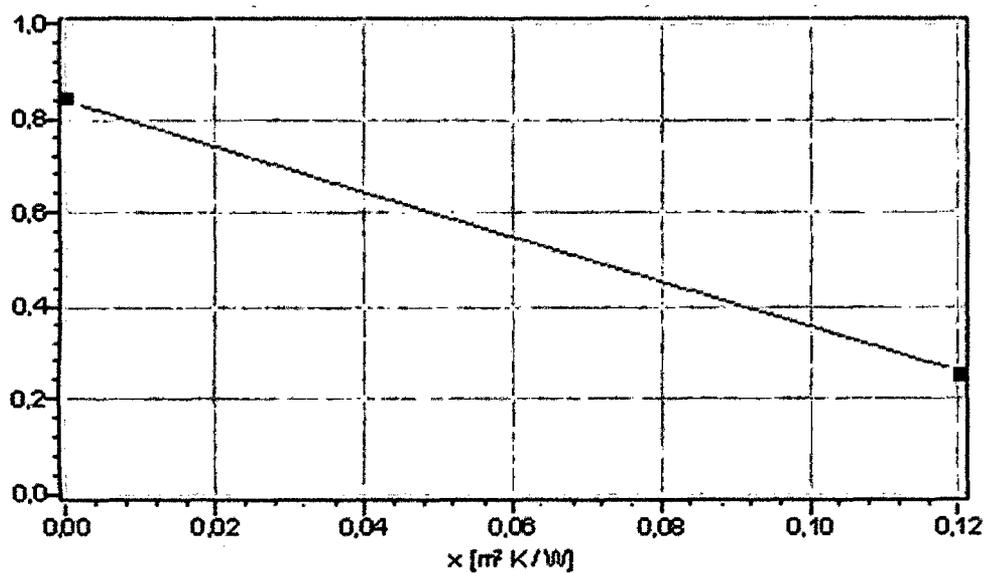
RELACIÓN ENTRE EL ÍNDICE DE BACHARACH Y LA CALIDAD DE LA COMBUSTIÓN

Índice de Bacharach	Calidad de la combustión
1	Excelente (poco o nada de hollín)
2	Bueno (ligeramente hollín)
3	Regular (hollín algo considerable)
4	Pobre (límite aceptable de hollín)
5	Muy pobre (Abundante hollín. puede requerir varias limpiezas)
6	Extremadamente pobre (Puede haber daño en el control de chimenea)

Fuente: NTP 350.300.2008

Anexo L

CURVA CARACTERÍSTICA DEL COLECTOR SK500



Fuente: Catálogo LusoSol