

**UNIVERSIDAD NACIONAL TECNOLÓGICA DE LIMA SUR**

**FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA, ELECTRÓNICA Y  
AMBIENTAL**

**CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA**



**“DISEÑO, INSTALACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE CALENTADOR  
SOLAR TÉRMICO DE AGUA SANITARIA PARA EL HOSPITAL  
REGIONAL DE MOQUEGUA”**

**TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL**

Para optar el Título Profesional de

**INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

**PRESENTADO POR EL BACHILLER**

TORRES ESCOBAR, JUAN CARLOS

**Villa El Salvador  
2016**

"Año de la Diversificación Productiva y del Fortalecimiento de la Educación"

**FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA, ELECTRÓNICA Y AMBIENTAL**

**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TEMA DE ACTUALIDAD PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

En Villa El Salvador siendo las 12:45 del día martes, 17 de noviembre de 2015, se reunieron en el Salón de Grados los Miembros del Jurado Evaluador del Tema de Actualidad integrado por:

Presidente : Ing. ROGER MANUEL JESÚS SILVA MARES  
Secretario : Ing. CARLOS VIDAL DÁVILA IGNACIO  
Vocal : Ing. CÉSAR AUGUSTO SANTOS MEJÍA

CIP N° 58169  
CIP N° 96353  
CIP N° 71065

Nombrados según RESOLUCIÓN DE FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA, ELECTRÓNICA Y AMBIENTAL N° 369-2015-CO-P-FIMEA, de fecha 10 de noviembre de 2015

Se inició la Sesión Pública de Sustentación y Evaluación correspondiente, para obtener el Título Profesional en Ingeniero Mecánico Electricista, bajo la modalidad de Actualización Profesional. (Resolución de Comisión Organizadora N° 023-2012-UNTECS de fecha 20 de setiembre 2012, donde se APROBÓ la ratificación del Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Nacional Tecnológica del Cono Sur de Lima y el Reglamento del Examen de Suficiencia Profesional para la Obtención de Título Profesional, siendo que el Art. 6° del precitado Reglamento del Examen de Suficiencia Profesional para la Obtención de Título Profesional establece que "El Examen de Suficiencia Profesional comprende dos etapas: a) Examen de Conocimientos Profesionales y b) Sustentación de un Tema Especifico de Actualidad"), en la que

El bachiller: **TORRES ESCOBAR, Juan Carlos**

Sustentó su tema de Actualidad:

**DISEÑO, INSTALACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE CALENTADOR SOLAR TÉRMICO DE AGUA SANITARIA PARA EL HOSPITAL REGIONAL MOQUEGUA**

Concluida la Sustentación del tema de Actualidad, se procedió a la calificación correspondiente según el siguiente detalle:

Condición APROBADO con nota Dieciséis (16)  
Equivalente BUENO De acuerdo al Art. 45° del Reglamento de Examen de Suficiencia Profesional para la Obtención del Título Profesional

Siendo las 18:45 del día martes, 17 de noviembre de 2015, se dio por concluido el acto de sustentación del tema de Actualidad, firmando el Jurado la presente Acta

SECRETARIO  
CARLOS VIDAL DAVILA IGNACIO  
INGENIERO MECÁNICO  
CIP: N° 96353

PRESIDENTE

VOCAL

"Año de la Diversificación Productiva y del Fortalecimiento de la Educación"

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA, ELECTRÓNICA Y AMBIENTAL

ACTA FINAL DEL EXAMEN DE SUFICIENCIA PROFESIONAL PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

En Villa El Salvador siendo las 12:45 del martes, 17 de noviembre de 2015, se reunieron en el Salón de Grados los Miembros del Jurado Evaluador del Examen de Suficiencia Profesional integrado por:

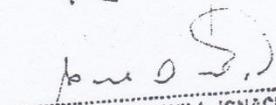
Presidente : Ing. ROGER MANUEL JESÚS SILVA MARES CIP N° 58169  
Secretario : Ing. CARLOS VIDAL DÁVILA IGNACIO CIP N° 96353  
Vocal : Ing. CÉSAR AUGUSTO SANTOS MEJÍA CIP N° 71065

Nombrados según RESOLUCIÓN DE FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA, ELECTRÓNICA Y AMBIENTAL N° 369-2015-CO-P-FIMEA, de fecha 10 de noviembre de 2015

Concluida la Sustentación del Tema de Actualidad se procede a registrar la nota obtenida en el Examen de Conocimientos Profesionales y la nota obtenida en la Sustentación del Tema Especifico de Actualidad, para obtener el Promedio Final del Examen de Suficiencia.

BACHILLEREVALUADO (A): TORRES ESCOBAR, Juan Carlos

NOTA DEL EXAMEN DE CONOCIMIENTOS PROFESIONALES	NOTA DE SUSTENTACION DEL TEMA ESPECIFICO DE ACTUALIDAD	PROMEDIO	CONDICION	EQUIVALENTE
12	16	14	APROBADO	Buena

  
CARLOS VIDAL DAVILA IGNACIO  
INGENIERO MECANICO  
Reg. CIP: N° 96353

SECRETARIO

  
PRESIDENTE

  
VOCAL

**Dedicatoria:**

Dedico este trabajo, a mis abuelos, mis padres, mis hermanas, familiares, amigos y docentes que participaron para mi formación como profesional; a Dios por brindarme esa fortaleza para seguir adelante para lograr mis objetivos.

## **AGRADECIMIENTO**

El presente trabajo de tesis es el esfuerzo de muchas personas que me estiman y me guían para superarme.

Agradezco a Dios por sus bendiciones brindadas, por la vida que me dio, por la salud, y por hacer realidad este objetivo de lograr ser un profesional.

A mis abuelos, que ya no están conmigo, pero que siempre se preocuparon por mí cuando estaban en vida, a ellos que no pude regalarles esta alegría.

A mis padres Cristóbal y Zoila, por su dedicación desde mi infancia, por su entrega, por sus alientos brindados, por su gran amor de padres. A ellos por guiarme siempre en la vida.

A mis hermanas Lissetti y Yanet, porque gracias a ellas pude lograr muchas metas trazadas, por su enseñanza como docentes y por su paciencia al servicio de la educación.

A mis familiares, que siempre estuvieron apoyándome, en momentos difíciles, porque también ellos participaron de mi sueño para ser ingeniero. Al Ing. Joge Suca Meza, Ing. Jorge Suca Rojas y el Ing Luis Vilcañaupa quienes me apoyaron con su conocimiento en el ámbito de la ingeniería. A Carmen Rojas y familia por estar siempre pendiente de mis metas.

A mis amigos, en general a todos ellos que estuvieron ahí brindándome su apoyo incondicional.

A la universidad y a los docentes quienes me formaron como ingeniero, y compartieron sus experiencias y su aprendizaje. Por esas horas de largos exámenes que se sustentan hoy en los frutos de la tesis.

Para todos ellos, muchas gracias y que Dios los bendiga.

## ÍNDICE

<b>INTRODUCCION.</b> .....	1
<b>CAPITULO I PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b> .....	3
1.1. Descripción de la realidad problemática .....	3
1.2. Justificación del problema .....	5
1.3. Delimitaciones del proyecto .....	6
1.4. Formulación del problema.....	7
1.5. Objetivos .....	7
1.5.1. Objetivo General .....	7
1.5.2. Objetivos Específicos .....	7
<b>CAPITULO II MARCO TEORICO</b> .....	8
2.1. Antecedentes de la investigación.....	8
2.2. Bases teóricas.....	9
2.3. Marco conceptual:.....	15
<b>CAPITULO III DISEÑO PROPUESTO</b> .....	21
3.1. Análisis de diseño propuesto .....	21
3.2 Metodología del diseño:.....	22
3.2.1. Demanda de agua caliente sanitaria.....	22
3.2.2. Energía procedente del sol .....	24
3.2.3. Radiación solar media .....	25
3.2.4. Corrección de la radiación solar media .....	29
3.2.5. Radiación solar efectiva (Eu).....	30
3.2.6. Aporte de energía solar (Ep).....	32
3.2.7. Rendimiento del captador.....	32
3.2.8. Número de captadores. ....	37
3.2.9. Sistema de captación.....	38
3.2.10. Disposición de los captadores. ....	41
3.2.11. Separación de los captadores. ....	43
3.2.12. Sistema de acumulación. ....	46
3.2.13. Volumen de acumulación. ....	46
3.2.14. Estratificación.....	51
3.2.15. Legionella .....	52
3.2.16. Intercambiador de calor. ....	52
3.2.17. Líquido caloportador. ....	54

3.2.18. Cálculo tuberías circuito primario.....	55
3.2.19. Verificación del dimensionamiento de tuberías .....	62
3.2.20. Cálculo de la bomba de circulación. ....	66
3.2.21. Vaso o Tanque de expansión. ....	68
3.2.22. Aislamiento de tuberías. ....	72
3.2.23. Sistema de control.....	74
3.3. Revisión y consolidación de resultados: .....	76
3.3.1. Parámetros de combustión del GLP y su impacto al medio ambiente.....	76
3.3.2. Costos en producción de agua caliente sanitaria:.....	79
<b>CONCLUSIONES:</b> .....	83
<b>RECOMENDACIONES:</b> .....	84
<b>BIBLIOGRAFIA</b> .....	85
<b>ANEXO</b> .....	89
Anexo 01. Programa de revisiones visuales.....	90
Anexo 02. Programa de mantenimiento .....	91
Anexo 03. Presupuesto .....	92
Anexo 04. Protocolo de pruebas. ....	93
Anexo 05. Programación de instalación.....	94

## LISTADO DE FIGURAS

Figura 01. Tipos de radiación del sol	10
Figura 02. El efecto invernadero en la tierra	13
Figura 03. Zonas climáticas del Peru (Fuente Senamhi)	25
Figura 04. Radiación media solar anual del Perú	26
Figura 05. Radiación solar global de ciudades más importantes	27
Figura 06. Irradiación solar global media en Moquegua	28
Figura 07. Esquema del rendimiento de un panel solar.	33
Figura 08. Esquema de un colector solar	39
Figura 09. Detalle de un captador	40
Figura 10. Detalle ventilación del captador	41
Figura 11. Conexión mixta	42
Figura 12. Esquema separación entre baterías de captadores	44
Figura 13. Acumulador	46
Figura 14. Imagen acumulador Wolf	49
Figura 15. Imagen acumulador	51
Figura 16. Esquema de captación con acumulador	53
Figura 17. Modelo de instalación por baterías de la red de la instalación solar	57
Figura 18. Instalación por baterías de captadores solares sobre techo del cuarto de bombas y cisterna	57
Figura 19. Instalación por baterías de la red de la instalación solar sobre techo.	58

Figura 20. Vista de corte de instalación por baterías sobre techo del cuarto de bombas y cisterna	58
Figura 21. Estructura de soporte	58
Figura 22. Instalación del captador solar	59
Figura 23. Imagen de la base de concreto para la estructura de soporte	59
Figura 24. Dimensiones del captador solar	59
Figura 25. Ábaco para el cálculo de la pérdida de carga	64
Figura 26: Esquema de principio de Instalación de captador solar, acumulador solar y acumulador de GLP en Sala de Fuerza.	65
Figura 27. Leyenda de símbolos de instalación del calentador	66
Figura 28. Vaso de expansión en una instalación solar térmica	68
Figura 29. Aislamiento Armacell	73
Figura 30. Centralita Digisolar Wolf	74
Figura 31. Esquema de un sistema de control	75
Figura 32. Producción anual de CO <sub>2</sub> en Kg.	78
Figura 33. Comparación de costos	81
Figura 34. Comparativo en grafico de costos	82

## LISTADO DE TABLAS

Tabla 01. Conductividad térmica de materiales	11
Tabla 02. Dotación de agua según R.N.E	22
Tabla 03. Calculo de la Dotación de Agua diaria para calentar	23
Tabla 04. Demanda Mensual de A.C.S y Demanda energética.	24
Tabla 05. Cálculo de Horas de Sol Útiles y la Intensidad Radiante	34
Tabla 06. Calculo de X	35
Tabla 07. Cálculo de $\eta$	36
Tabla 08. Datos técnicos de colector Wolf	36
Tabla 09. Calculo de energía solar captada	37
Tabla 10. Coeficiente K	45
Tabla 11. Cálculo de separación “d”	45
Tabla 12. Cálculo del volumen de acumulación	47
Tabla 13. Cálculo del volumen de acumulación recomendado por fabricante	47
Tabla 14. Acumulador WOLF	50
Tabla 15. Tuberías para circuito primario	56
Tabla 16. Tuberías de Cobre: Dimensiones y Características	60
Tabla 17. Cálculo de tubería para circuito primario	60
Tabla 18. Cálculo de tubería de interconexión de baterías en paralelo	61
Tabla 19. Cálculos de velocidad por tramos 1 y 2	62
Tabla 20. Cálculos de velocidad por tramos 2 y 3	62
Tabla 21. Longitudes equivalentes según factor pérdida de carga	65

Tabla 22. Cálculo de la potencia de la electrobomba	68
Tabla 23. Cálculo volumen tuberías	70
Tabla 24. Espesor del aislamiento en función del diámetro y la temperatura que discurren por el exterior del edificio	72
Tabla 25. Espesor del aislante en función del diámetro y la temperatura que discurren por el interior de la edificación	72
Tabla 26. Parámetros de combustión del GLP.	77
Tabla 27. Estimaciones de emisiones de CO <sub>2</sub> en el ambiente	77
Tabla 28. Plan ante el cambio climático 2009	78
Tabla 29. Costos de GLP para calentar agua sanitaria	79
Tabla 30. Costos de colector solar para calentar agua sanitaria	80
Tabla 31. Comparativo de costos en proyección de 15 años	81

## **LISTA DE PLANOS**

IM – 01 Planta primer piso. Ubicación casa de fuerza – Calderos

IM – 02 Leyenda

IM – 03 Planta techos

IM – 04 Corte Casa de Fuerza

IM – 05 Esquema de principio calentador solar

## **INTRODUCCION.**

Dentro del proyecto sobre los calentadores térmicos solares, su diseño, instalación e implementación, se tuvo en cuenta otras investigaciones de años anteriores tales como Tinajeros Salcedo sistemas de calentamiento de agua con energía solar en la ciudad de Arequipa, y la de Montoya que es un estudio de evaluación de eficiencia de un calentador solar de tubos al vacío con tanque acumulador, de la empresa D'sol. estos trabajos han sido basados en la ciudad de Arequipa; desarrolladas por la Universidad Nacional San Agustín, en Perú, para obtener el título profesional.

Según nuestros antecedentes se ha formulado el problema general de cómo será el diseño de un calentador térmico solar en el Hospital Regional de Moquegua, para lo cual hemos tratado de responder a esta interrogante durante el desarrollo.

El sustento del proyecto es contribuir al medio ambiente a través de energías limpias ante el cambio climático que vivimos, concientizar sobre nuevas alternativas naturales para calentar agua en el hospital y su uso necesario. La salubridad es importante así mismo el uso de agua caliente sanitaria para los pacientes; por tal motivo los sistemas actuales de GLP están siendo cambiados por estas nuevas alternativas mejorando la economía y la seguridad del sistema en marcha.

El objetivo principal es determinar la viabilidad o factibilidad de la utilización de este tipo de energía solar térmica en la zona de estudio, así como su reducción de contaminación aportada por el sistema térmico solar

Se ha estructurado un marco teórico teniendo en cuenta el planteamiento teórico y enfoques relacionados al tema general, así como planteamientos teóricos -científicos relacionados al proyecto de ingeniería.

Para la mejor comprensión y consistencia del sustento teórico del problema y del proyecto, se ha compilado un conjunto de términos con sus respectivos conceptos, teniendo la definición conceptual. La identificación de los nuevos términos se realizó teniendo en cuenta la lectura del marco teórico.

Para un estudio sistematizado del problema de investigación, el trabajo se ha estructurado de la siguiente manera.

En el Capítulo I, Planteamiento del problema, se expone la realidad problemática, la justificación del problema, delimitación del proyecto, formulación del problema y el objetivo, tanto general como específico.

Para el Capítulo II, Marco teórico, presentamos los antecedentes de la investigación, las bases teóricas, tomando como modelos las tesis nacionales para la fundamentación teórica, así mismo el marco conceptual.

Además en el Capítulo III, Diseño propuesto, determinamos el análisis del diseño, herramientas utilizadas en el proceso de implementación, la revisión y consolidación de resultados por gráficas y tablas.

Finalmente, se redactan las conclusiones, sugerencias, referencias, bibliografía y los anexos donde se adjuntan datos informativos generales del proyecto.

## **CAPITULO I**

### **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

#### 1.1. Descripción de la realidad problemática

En el sector de salud de las redes de atención hospitalaria en el Perú, utilizan como sistema principal para generar agua caliente sanitaria el gas licuado de petróleo (GLP). El Hospital Regional de Moquegua, perteneciente a esta red de servicios de salud a nivel nacional también utiliza el GLP como fuente generadora para combustionar y capturar el calor, para transmitir al agua.

El GLP, es un combustible no renovable y contaminante al ser combustionado, emitiendo gases de CO<sub>2</sub> a la atmosfera, produciendo enfermedades respiratorias como el asma, neumonía, bronquitis, alergias, irritaciones, infecciones virales como gripe entre otros. El GLP posee contenidos de azufre en pocas cantidades que al ser combustionados generan dióxidos de azufre. El dióxido de carbono es también emitido por la combustión, afectando a

la calidad del aire del ambiente por contener partículas suspendidas, uniéndose con el parque automotor, industrial y minero de la región, aporta a los gases de efecto invernadero (GEI) y al calentamiento global existente.

En la actualidad este tema de GEI es muy incitado por el gobierno del Perú, el cual se comprometió a reducir un 30% de las emisiones de gases, según señaló en el marco de la cumbre de la ONU, sobre el cambio climático que está afectando a nivel global.

Una problemática también es que el GLP es de costo variable, sus mantenimientos deben realizarse pruebas de hermeticidad de la red de suministro de GLP en codos, uniones, cambiar componentes como válvulas de seguridad; así como dar mantenimiento al tanque de almacenamiento, realizar su inspección para evitar fugas, siendo un gas más pesado que el aire tiende a estar en la parte inferior, es explosivo e inflamable, entre otros. Ante lo expuesto debemos considerar que también el GLP es una fuente no renovable y que en algunas ocasiones puede escasear, tal es el caso como en el mes de mayo del 2015 que a nivel nacional hubo una baja de producción y alta demanda afectando al suministro de GLP.

El agua caliente sanitaria (A.C.S.) aporta a la salud el bienestar necesario para la limpieza e higiene personal, pero al ser generado por GLP y no por energías limpias genera que siga existiendo afecciones las cuales no solucionamos, sino más bien caemos en un ciclo de recuperación y enfermedades producida por el uso de este sistema convencional.

## 1.2. Justificación del proyecto

La realización de esta investigación se hace justificadora por las siguientes razones:

El sistema de calentador solar térmico es una de las alternativas ante las emisiones de gases contaminantes en el medio ambiente, ya que aprovechamos la procedencia del calor del sol para generar A.C.S., desde una vista ecológica, los calentadores evitan el uso del más del 75% de gas a utilizar en combustionar para calentar el agua, esto significa que reduce el consumo de gas, por tanto reduce la cantidad de CO<sub>2</sub> eq, enviados al medio ambiente durante el proceso de combustión. En la Actualidad estamos involucrados con el cambio climático y los gases efecto invernadero, el Perú está comprometido a través de su gobierno en el 2015 a disminuir el 30% de emisiones de gases al 2030. Además contamos con programas como el Plan CC y el ministerio de ambiente los cuales están controlando la reducción e incentivando el uso de energías limpias renovables.

En los Hospitales y clínicas, el uso de agua caliente sanitaria es vital, es utilizado en pacientes, médicos, y limpieza, teniendo siempre presente un tema de salud e higiene. El Agua Caliente Sanitaria (A.C.S) es indispensable para la salud por garantizar la buena higiene en pacientes.

Los calentadores solares son utilizados por su ahorro en la economía, el cual a través de 30 años de vida del equipo, aunado a la escasez y la inestabilidad del precio del gas, multiplicaran el retorno de la inversión en el hospital.

La seguridad de este sistema es que al no usar ningún tipo de combustible, no explotan y no hay fugas ni supervisiones diarias para su buen estado de funcionamiento.

De lo expuesto anteriormente, estas son las razones justificadoras para realizar el proyecto sobre un sistema de calentador solar para el Hospital Regional de Moquegua.

### 1.3. Delimitaciones del proyecto

#### 1.3.1. Espacial

El tema del proyecto se delimitara para un Hospital Regional ubicado en departamento de Moquegua, en la provincia de Mariscal Nieto, específicamente en el distrito de Moquegua, de las cuales se ha recopilado información de sus características geográficas y meteorológicas para la realización de cálculos en función a sus condiciones y la selección de sus componentes para la instalación solar térmica.

#### 1.3.2. Temporal

De acuerdo a las condiciones climáticas propias de la región, debido al clima templado en la costa y se caracteriza por su uniformidad durante el año, variando la temperatura promedio de 14°C (en agosto) a 25°C (en verano). El clima seco hace un temporal para la utilización de la energía solar, siendo aprovechable por las mañanas. Debido a la baja de temperatura por las noches, más aun en época de invierno.

## 1.4. Formulación del problema

### 1.4.1. Problema Principal

¿Cómo será el diseño de un sistema de calentador solar térmico para el hospital regional de Moquegua?

### 1.4.2. Problemas Específicos

- a) ¿Cómo será la implementación del sistema de calentador solar térmico para el hospital Regional de Moquegua?
- b) ¿Cómo será la instalación de los colectores solares, acumulador y demás componentes del calentador solar térmico para el hospital regional de Moquegua?

## 1.5. Objetivos

### 1.5.1. Objetivo General

Dimensionar el sistema para la producción de Agua caliente Sanitaria por energía térmica solar y su producción necesaria para suministrar al usuario.

### 1.5.2. Objetivos Específicos

- a) Determinar la viabilidad o factibilidad de la utilización de este tipo de energía solar térmica en la zona de estudio, así como su reducción de contaminación aportada por el sistema térmico solar.
- b) Determinar los consumos de energía necesarios para la instalación, así mismo seleccionar los componentes necesarios para el funcionamiento del sistema.

## **CAPITULO II**

### **MARCO TEORICO**

#### 2.1. Antecedentes de la investigación

En el proyecto revisamos como fuente de información a Tinajeros Salcedo (2011) Sistemas de calentamiento de agua con energía solar en la ciudad de Arequipa. Tesis para obtener el título profesional, Universidad Nacional San Agustín. Perú, en su conclusión manifiesta: (a) El uso de la energía solar térmica en la ciudad de Arequipa se limita al calentamiento de agua a baja temperatura, muy conveniente para el consumo de los sectores residencial y comercial. Siendo el sector residencial el principal mercado a corto y mediano plazo, seguido por el sector comercial. (b) En los calentadores solares la mayor parte de los costos es debido a la inversión inicial. Los costos de operación son bajos, por lo tanto la economía resultante debe ser usada para pagar la inversión inicial. En el caso de Arequipa la tecnología de calentadores solares es altamente competitiva a los calentadores convencionales. (c) El avance tecnológico de los

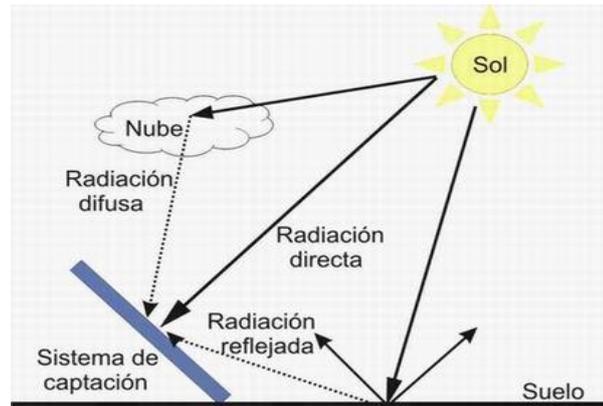
colectores solares y tanques térmicos pueden ser analizados por las eficiencias energéticas y desempeños térmicos de los productos. Los mismos tendrían que ser evaluados en un centro de investigación, creado especialmente para dar apoyo al desarrollo de las tecnologías termo solares en el país y debería estar equipado con tecnologías de última generación que atiendan normas de evaluación nacional e internacional. Los fabricantes de esta forma se capacitan para exportar productos que posean certificación internacional.

También encontramos como información a Montoya, Alberto (2011) Estudio de evaluación de eficiencia de un calentador solar de tubos al vacío con tanque acumulador, de la empresa D'sol. Tesis para obtener el título profesional, Universidad Nacional San Agustín, Perú. En su conclusión manifiesta: (a) Se observa que la velocidad de calentamiento está relacionado directamente con la eficiencia (4,5 °C/hora; 3,8 °C/hora; 2,7 °C/hora), esto se debe a la disminución del flujo del fluido debido a que el rango de temperatura es menor cada día.

## 2.2. Bases teóricas

El calentador solar térmico es un dispositivo que calienta un fluido por medio de rayos solares en un colector, el cual es almacenado en tanques o distribuidos a la red sanitaria. Su principio tecnológico básico es la absorción del calor como fuente energética, la cual se transfiere por medios termodinámicos de transferencia de calor.

Uno de los conocimientos a desarrollar son la radiación, la irradiancia y la irradiación, las cuales nos ayudan en el estudio para el dimensionado de los colectores y su óptimo rendimiento.



**Figura 1.** Tipos de Radiación del Sol, Fuente Metix

Para Oliver Style (2012) refiere a la radiación cuando llega a la tierra en dos formas, la radiación directa y radiación difusa y que existen factores que afectan la radiación como la latitud, nubosidad, humedad y claridad atmosférica. Así mismo, también refiere a una medición de esta radiación llamada irradiancia solar la cual se mide en  $W/m^2$  sobre la superficie determinada. La Irradiancia Style la define como “una medida de la cantidad de energía solar que llega a una superficie determinada durante un periodo de tiempo determinado. Las unidades más frecuentes son  $Wh/m^2/día$  o  $kW/m^2/día$ .” Unidades utilizadas para dimensionar.

Teniendo en cuenta que la irradiancia como medida, los colectores utilizan estas unidades para realizar su trabajo, pero como realizan este proceso para calentar el agua el cual será explicado a continuación.

Según Julio Franco Corso (2013) afirma lo siguiente: “el principio básico de los colectores es absorber el calor del sol, esto lo hace al transformar energía radiante del sol en calor, finalmente esta energía es transferida a un fluido de trabajo que depende de las circunstancias del sitio y de la temperatura de operación del sistema”.

Estos colectores nos brindaran de A.C.S. para llevarlos a un acumulador donde almacenaremos el agua, para posteriormente brindarlo a servicio del usuario, o las necesidades que se dispongan. Utilizando materiales como el cobre se puede aprovechar la conductividad térmica para transmitir el calor al agua y poder calentar.

**Tabla 1.**  
*Conductividad térmica de materiales*

Material	Conductividad térmica [W/(m·K)]
Metales	35 (plomo) 381 (cobre)
Hormigón	1,63 - 2,74
Agua	0,60 (líquida) - 2,50 (hielo)
Mortero de cemento	0,35 - 1,40
Ladrillo macizo	0,72 - 0,90
Bloques de hormigón	0,35 - 0,79
Ladrillo hueco	0,49 - 0,76
Enlucidos de yeso	0,26 - 0,30
Ladrillo multialveolar	0,20 - 0,30
Maderas, tableros	0,10 - 0,21
Hormigón celular	0,09 - 0,18
Aislamientos	0,026 - 0,050
Aires (sin convección)	0,026

Fuente: Aipex- Asociación ibérica de poliestireno extruido.

Los calentadores de GLP, son calentadores de agua los cuales utilizan la energía de poder calorífico del GLP el cual transfiere su energía producto de la combustión, al agua para realizar el calentamiento hasta lograr la temperatura deseada, distribuyendo luego a la red de agua a utilizarse.

Para este proceso el calentador utiliza como recurso el GLP, un gas el cual pueda ser transportado y suministrado en cantidades necesarias para el requerimiento dado.

Por otra parte Osinermin (2015) en su web sobre el GLP nos da el alcance que el GLP es un gas mayoritariamente compuesto por propano y butano, es un

gas pesado, incluso es más pesado que el aire, es por tal motivo que se en fugas tiende a ubicarse en lugares bajos, No es toxico, pero puede provocar asfixia, es altamente inflamable y su combustión es rápida, generando grandes temperaturas, y para su utilización se licua en bajas presiones a 60 y 120 PSI. El GLP es incoloro e inodoro, se le agrega un agente odorabte para poder percibirlo.

Para Roberto Schaeffer (2003) el cual expresa: “el GLP, que es más eficiente en términos de obtención de energía útil” hace referencia a que el GLP es uno de los combustibles con mayor poder calorífico y alta energía útil aprovechable. Sabemos también que en su fase liquida, es más liviano que el agua

La combustión un proceso de reacción química de oxidación en la que se desprende una cantidad de energía en forma de luz y calor, manifestándose como fuego o llamas. Existe un elemento que arde (combustible) y otro que produce la combustión (comburente) comúnmente el oxígeno. Para iniciar la combustión, es necesario alcanzar una temperatura mínima, denominada temperatura de ignición.

Según José Manrique (2013) indica: “el termino combustión, generalmente se refiere a una reacción química en la que interviene un combustible y el oxígeno o aire; por lo general va acompañado de una flama.” Además cabe citar que también expreso: “La mayor parte de los combustibles (carbón, combustóleo, gasolina, gas natural, etc.) están básicamente constituidos de carbono e hidrogeno y pequeñas porciones de azufre como elementos combustibles.”

Para nuestro caso en la utilización del GLP como combustible, este genera también emisiones de gases contaminantes producto del carbono e hidrogeno

que contienen en sus estructuras moleculares. Estas partículas restantes, serán emitidas al aire y al medio ambiente que rodean, generando una contaminación y aportando a los gases efecto invernadero.

Los gases efecto invernadero son sustancias presentes en la atmosfera que absorben parte de la radiación solar y originan un calentamiento en la atmosfera, produciendo un desequilibrio ecológico. La producción de la combustión emitida es esparcida al medio ambiente contaminando. Gases como el metano, el dióxido de carbono entre otros gases hacen que se altere el equilibrio entre la energía incidente y la energía irradiada. El Calentador GLP es uno de los cuales aporta gases de efecto invernadero.

Según Ricardo Fernández García (2006), nos explica que: “La noción de emisión hace referencia a la acción de echar o expulsar determinadas sustancias contaminantes a la atmosfera, una vez emitidos se dispersan, asociando a la calidad del aire.”



Fuente: UNEP –GRID-Arendal.

**Figura 2.** El efecto invernadero en la tierra. Fuente base de la ciencia

Así mismo la calidad de aire está relacionada a la cantidad de gases que emitimos al medio ambiente para algún uso o generación de energía. () Explica

que la temperatura media de la tierra es de 15°C gracias a la presencia de unos gases denominados de efecto invernadero. Los cuales son denominados así por retener la cantidad de energía del sol reflejada por la tierra, permitiendo la vida en la tierra; existe un cambio drástico cuando estos gases se concentran en la atmosfera, la temperatura y el clima se alteran.

La contribución del Perú a las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) globales es menor al 1%. Sin embargo, el país evidencia un crecimiento económico ligado al aumento de sus emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y otros Gases de Efecto Invernadero causantes del cambio climático, que son derivados del incremento poblacional, patrón de producción y consumo, uso energético, deforestación, entre otros factores.

Las emisiones de CO<sub>2</sub> afectan en impacto a los ecosistemas naturales, explotada por los recursos naturales limitables, por el impacto de la estructura productiva, la economía social, afectando a la salud de las poblaciones, familias e individuos.

Nuestras emisiones vienen creciendo de manera sostenida. Actividades productivas como la agricultura, ganadería, industria manufacturera, construcción, producción de minerales y metales, que aportan al crecimiento de nuestro PBI, aportan de igual modo a aumentar las emisiones de GEI. El Perú debe orientarse hacia un crecimiento “más limpio”, que genere menos emisiones y no comprometa el desarrollo económico y social, resguardando al mismo tiempo su competitividad.

Una medida de estas emisiones se dan en MT CO<sub>2</sub> eq. Que son megatoneladas de Dióxido de carbono equivalentes, las cuales nos ayudan a

paramentar aproximadamente las cantidades emitidas al medio ambiente y cuanto podemos reducir en este tipo de contaminación. Así mismo aporta a la medición de gases emitidos por el calentador GLP.

### 2.3. Marco conceptual:

Acumulador de agua: Depósito que almacena la energía del agua caliente para gestionarla de manera eficiente.

Agua Caliente Sanitaria (ACS): es un agua destinada al consumo humano (potable) la cual ha sido calentada y se utiliza para usos sanitarios tales como: baños, duchas, etc., y para uso de limpieza.

Calidad del aire: Es un indicador de cuanto el aire está libre de partículas contaminantes comprendidas en la atmosfera, y por lo tanto es apto para ser respirado.

Cambio Climático: modificación del clima con respecto al historial climático a una escala global o regional

Calor: Energía producida por la vibración acelerada de las moléculas que se manifiesta elevando la temperatura y dilatando los cuerpos, llega a fundir sólidos y evaporar los líquidos

Calor específico: Se definió como la cantidad de calor que debe entrar o salir de una unidad de masa de una sustancia para cambiar de temperatura en un grado.

Calor latente: Energía requerida por una cantidad de sustancia para cambiar de fase, de sólido a líquido (calor de fusión) o de líquido a gaseoso (calor de vaporización).

**Calor sensible:** La parte de la energía interna de un sistema que está asociada con la energía cinética de las moléculas recibe el nombre de calor sensible.

**Caloría:** Es la unidad de energía, basada en el calor específico del agua, se define como la cantidad de energía calorífica necesaria para elevar la temperatura de un gramo de agua pura en 1°C a una presión normal de atmósfera.

**Capacidad Calorífica:** Se define como la cantidad de calor ganado o cedido que necesita la masa de una sustancia para que la temperatura varíe un grado.

**Conducción:** Es la transferencia de energía de las partículas más energéticas de una sustancia hacia las adyacentes menos energéticas, como resultado de interacciones entre estas partículas, la conducción puede tener lugar sobre líquido. Esta conducción se da a través del contacto físico directo y de flujo estático.

**Colector Solar:** también llamado captador solar, dispositivo diseñado para recoger la energía radiada por el sol y convertirla en energía térmica.

**Conductividad Térmica:** Es una propiedad física de los materiales que mide la capacidad de conducción de calor. Se le conoce como la capacidad de una sustancia de transferir la energía cinética de sus moléculas a otras adyacentes o a sustancias las cuales no estén en contacto. Su unidad en el S.I es: W/K.m (J/ s.K.m).

**Convección:** Es el modo de transferencia de energía entre una superficie sólida, líquida o gas adyacentes y que están en movimiento y comprende los efectos combinados de la conducción y del movimiento del fluido. Entre más rápido es el movimiento de un fluido mayor es la transferencia del calor por convección.

Convección Forzada: si el fluido es forzado a fluir sobre la superficie mediante agentes externos, como un ventilador, una bomba, o viento.

Convección Natural o libre: si el movimiento del fluido es causado por las fuerzas de empuje que son inducidas por la diferencia de densidad debida a la variación de la temperatura del fluido.

Diseño: Actividad creativa y técnica encaminada a idear objetos útiles y estéticos que puedan llegar a producirse en serie. Explicación breve, descripción somera de alguna cosa.

El sol: El sol, una estrella conformada por hidrogeno y helio en proporciones pequeñas, desarrolla una gran cantidad de energía, debido a una reacción nuclear de fusión, reacción que tiene lugar a altas temperaturas y presiones que alcanzan en su interior.

Efecto invernadero: Es un proceso en el que la radiación térmica emitida por la superficie planetaria es absorbida por los gases de efecto invernadero (GEI) atmosféricos y es re- irradiada en todas las direcciones.

Energía: Capacidad de los cuerpos o conjunto de estos, para generar un trabajo determinado.

Energía interna: Es toda la energía de un sistema que está asociada con sus componentes microscópicos, átomos y moléculas, cuando se ve desde un marco de referencia en reposo respecto al centro de masa del sistema. Se puede considerar la energía interna como la suma de las energías cinética y potencial de las moléculas.

Energía no renovable: es aquella que una vez utilizada o consumida se transfiere a otra, transformándose, y se agota hasta desaparecer; ejemplo los hidrocarburos.

**Energía Renovable:** La energía renovable, es aquella que utilizamos y se renueva, como ejemplo, el viento, la luz del sol.

**Estival:** de estío, estación del año conocida como verano,

**Demanda Energética:** Es la energía necesaria para mantener en el interior de una edificación las condiciones de confort definidas reglamentariamente en función del uso del edificio y de la zona climática en la que se ubique.

**Heliógrafo:** Instrumento meteorológico que se utiliza para registrar la duración e intensidad del tiempo de insolación.

**Impacto Ambiental:** Es el efecto producido por la actividad humana sobre el medio ambiente.

**Implementación:** poner en funcionamiento, aplicar los métodos y medidas necesarios para llevar algo a cabo.

**Instalación:** poner y colocar algo en algún lugar determinado para un funcionamiento.

**Invernal:** de invierno, estación del año.

**Irradiancia:** Potencia solar incidente en una superficie por unidad de área. Sus unidades son  $W/m^2$ .

**Irradiancia Solar:** Potencia radiante incidente por unidad de superficie sobre un plano dado.

**Irradiación Solar:** Energía incidente por unidad de superficie sobre un plano dado, obtenida por integración de la irradiancia durante un intervalo de tiempo dado, normalmente una hora o un día. Se mide en  $kWh/m^2$ .

**Legionella:** bacteria en forma de bacilo, vive en agua estancada con amplio rango de temperatura, superior a los  $35^{\circ}C$ .

Legiolenosis: Es un conjunto de enfermedades que se presentan como infección pulmonar. Cursan como una neumonía con fiebre alta y tienen tratamiento: antibióticos.

Pirheliometro: Instrumento para la medición del haz directo de irradiación solar. La luz del sol entra en el instrumento a través de una ventana y es dirigida sobre una termopila, que convierte el calor en una señal eléctrica que se puede grabar.

Piranómetro: Instrumento meteorológico utilizado para medir de manera muy precisa la radiación solar incidente sobre la superficie de la tierra. Se trata de un sensor diseñado para medir la densidad del flujo de radiación solar.

Radiación: Emisión de luz, calor o cualquier otro tipo de energía por parte de un cuerpo.

Radiación solar: La radiación es la energía emitida por la materia en forma de ondas electromagnéticas (o fotones) por el sol debido a sus reacciones de fusión nuclear que producen pérdida de masa y genera energía., liberada por el sol.

Radiación Reflejada: Es la radiación que ejerce la tierra en su superficie terrestre, dependiendo del lugar donde incide, emite la radiación.

Radiación difusa: Es la energía que llega después de haber incidido con algún elemento en la atmosfera (nubes, polvo, agentes contaminantes, etc) hace desviar su trayectoria.

Radiación directa: Es toda radiación incidente que no sufre cambio en su trayectoria, esta es una radiación la cual produce sombra y la que predomina en un día soleado.

Transferencia de Calor: La transferencia de calor está dada por el paso de energía térmica desde un cuerpo de mayor temperatura a uno de menor temperatura, complementando la primera y segunda ley de la termodinámica.

## **CAPITULO III**

### **DISEÑO PROPUESTO**

#### 3.1. Análisis de diseño propuesto

El enfoque planteado para este proyecto de ingeniería, es realizar un proyecto de tipo descriptivo explicativo, la cual nos interpretará el diseño planteado, para una alternativa de solución de manera aplicativa. El proyecto es tecnológico, de tipo ecológico para protección del medio ambiente.

El uso de herramientas son las siguientes, para el diseño el uso de ábaco para las perdidas en tuberías, reglamentos vigentes del país, normas, documentos del estado tanto del ministerio de energía y minas como del ministerio de ambiente, catálogos en general. Así mismo el uso del modelado en Autocad 2D para el diseño de planos, uso de tablas y gráficos comparativos

Para la parte práctica se utiliza el Analizador de gases Marca Testo 327-1 que brinda una empresa para mediciones, también utilizaremos instrumentos para la prueba hidrostática de tuberías. Las herramientas ayudaran al análisis del

sistema su funcionamiento, y realizar programas de mantenimiento básicos para el sistema a nivel usuario, el cual pueda darle mantenimientos constantes.

### 3.2 Metodología del diseño:

Para poder dimensionar la instalación solar térmica, previamente debemos de conocer la necesidad energética, es decir las producidas por el consumo de Agua Cliente Sanitaria (A.C.S) del Hospital Moquegua.

#### 3.2.1. Demanda de agua caliente sanitaria

Para definir la demanda de agua caliente sanitaria (A.C.S) para el Hospital nos basaremos en las Tablas aportadas por el RNE:

**Tabla 2.**  
*Dotación de Agua según Reglamento Nacional de Edificaciones*

DOTACIÓN DIARIA DE AGUA CALIENTE (R.N.E.)		
<i>Hospitales y Clínicas con hospitalización</i>	250	l/d x cama
<i>Consultorios médicos</i>	130	l/d x consultorio
<i>Clínicas dentales</i>	100	l/d x unidad dental

Fuente: Reglamento Nacional de Edificaciones

Para determinar la demanda de A.C.S. tenemos los siguientes datos:

- N° Camas: 120
- N° Consultorios Médicos: 22
- N° Consultorios Dentales: 2
- Temperatura consumo A.C.S: 55°C
- Temperatura de la red: 19°C

A continuación con la tabla N°2 extraída del reglamento nacional de edificaciones para el cálculo sanitario, realizamos el cálculo de dotación diaria de agua expresado en la tabla N°3.

**Tabla 3:**

Cálculo de dotación de agua diaria para calentar.

<b>CÁLCULO DE LA DOTACIÓN DIARIA DE AGUA CALIENTE (RNE)</b>				
<b>Tipo de Servicio</b>	<b>Dotación de A.C.S.</b>		<b>N° de Servicios</b>	<b>Consumo de A.C.S.</b>
Hospitales y Clínicas con hospitalización	250	l/d x cama	120	30,000
Consultorios médicos	130	l/d x consultorio	22	2,860
Clínicas dentales	100	l/d x unidad dental	2	200
<b>TOTAL (litros)</b>				<b>33,060 / día</b>
<b>TOTAL (m3)</b>				<b>33 / día</b>

Fuente: Elaboración propia

Como estamos tratando de agua caliente, esto implica que la presión es diferente al agua de temperatura ambiente, el porcentaje que aplicaremos será del **30%**, debido a que en la ciudad de Moquegua la calidad del agua es dura y esto provoca la creación de cal y sedimentos en las membranas de los dispositivos el cual reduce el rendimiento.

Consumo de A.C.S.: 33 060 litros/ día

Factor: 0.30

Consumo A.C.S.: 23 142 litros / día

El porcentaje de ocupación se define para una ocupación mensual, en el caso del Hospital es 100%

La demanda Energética de A.C.S. (E) está dado por:

$$E = D * (Tm - Tf) * Ce * \delta$$

Donde:

**E:** Demanda energética (kcal/d)**D:** Volumen dotación A.C.S. (litros/d)**Tm:** Temperatura de uso (°C) = 55°C**Tf:** Temperatura de entrada de agua de red (°C) = 19 C

$\delta$ : Densidad del agua (1kg/l como valor de referencia)

$C_e$ : Calor específico del agua (1kcal/kg-°C)

A continuación en la tabla 4, calculamos la demanda consumida por mes y anual de A.C.S.

La temperatura de entrada de agua de red (°C):  $T_f = 19\text{ °C}$

Establecemos una temperatura de uso (°C):  $T_m = 55\text{°C}$  de A.C.S.

**Tabla 4**  
*Demanda Mensual de A.C.S y Demanda energética.*

DEMANDA MENSUAL Y TOTAL DE A.C.S.												
CONDICIONES	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
DÍAS	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
OCUPACIÓN: (%)	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
CONSUMO A.C.S. (DÍA)	23,142	23,142	23,142	23,142	23,142	23,142	23,142	23,142	23,142	23,142	23,142	23,142
Temp. de uso (°C): $T_m$	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55
Temp. Agua de red (°C): $T_f$	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19
SALTO TÉRMICO ( $T_m - T_f$ )°C	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36
Ce del agua (1 kg/l)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Densidad agua (1kcal(kg.°C): $\delta$	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
DEMANDA ENERGÉTICA (Mcal/mes)	25,826	23,327	25,826	24,993	25,826	24,993	25,826	25,826	24,993	25,826	24,993	25,826
DEMANDA ENERGÉTICA (MJ/mes)	108,213	97,741	108,213	104,722	108,213	104,722	108,213	108,213	104,722	108,213	104,722	108,213
TOTAL DEMANDA ENERGÉTICA	1,274,120	MJ/AÑO										
FÓRMULA: $E = D * (T_m - T_f) * C_e * \delta$												

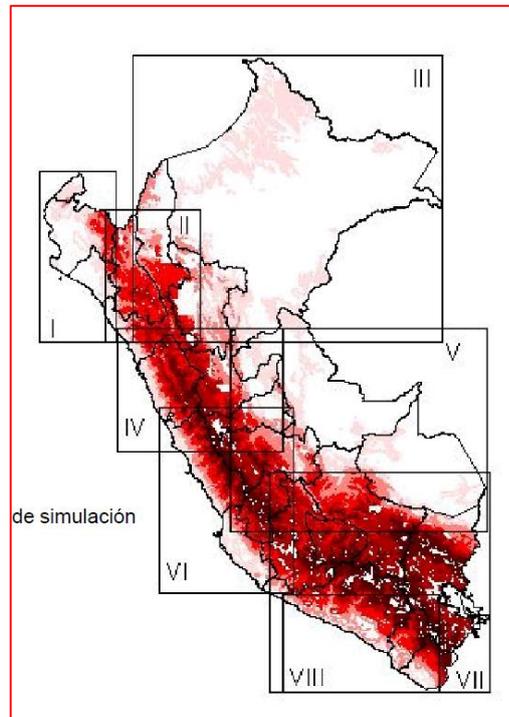
Fuente: Elaboración Propia

Para nuestro caso la demanda energética requerida de A.C.S. para un año será de 1 274 120 MJ.

### 3.2.2. Energía procedente del sol

Una vez evaluada la necesidad energética es necesario conocer la cantidad de energía solar que nos aportará el sol, para poder conocer la cobertura solar generada frente a nuestra demanda.

El Hospital se encuentra ubicado, como hemos comentado anteriormente, en la ciudad de Moquegua, ésta corresponde a la zona climática VIII según veremos en la figura 3.



**Figura 3:** Zonas climáticas del Perú, Fuente Atlas de energía solar del Perú – Senamhi.

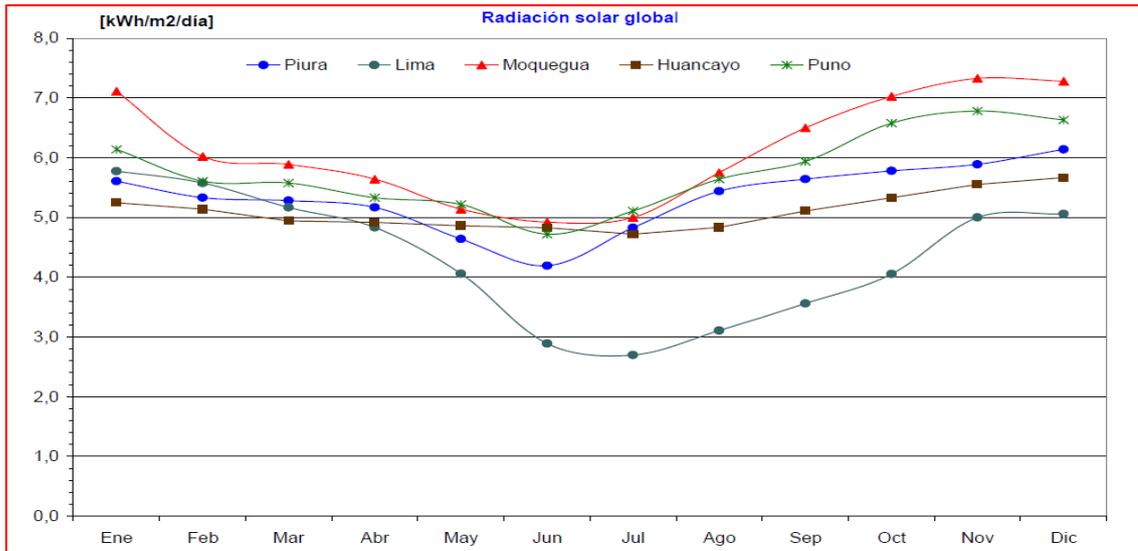
Para el Hospital la fuente energética de apoyo se empleará el Gas Licuado de Petróleo (GLP). Para la determinar la energía disponible procedente del sol debemos realizar un procedimiento de cálculo con los pasos siguientes.

### 3.2.3. Radiación solar media

Radiación Solar Media (H) es la cantidad de energía por unidad de superficie horizontal. Esta radiación depende de la latitud de la ciudad de Moquegua y es un dato importante para los captadores solares a utilizarse más adelante durante el proceso del calentamiento del agua.



Figura 4. Radiación media solar anual del Perú, Fuente Senamhi



**Figura 5.** Radiación solar global de ciudades más importantes, Fuente Atlas de energía solar de Moquegua – Senamhi

Se han seleccionado cinco localidades representativas de zonas climáticas del Perú (SENAMHI – Datos tomados del Senamhi):

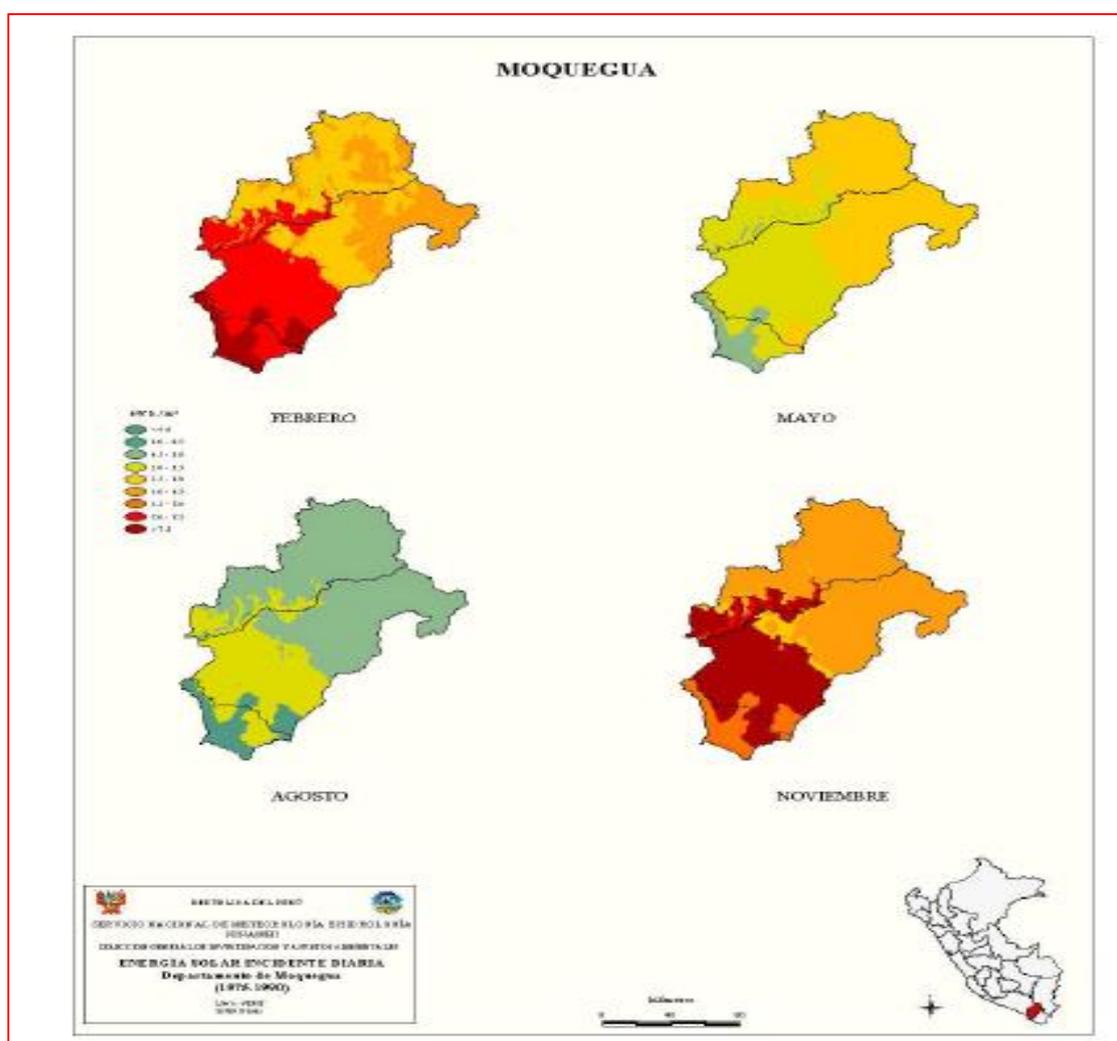
- Costa Norte: Piura.  $H = 5,3 \text{ kwh/m}^2.\text{día}$ ,  $T_{\text{máx}} = 30,7^{\circ}\text{C}$ ,  $T_{\text{mín}} = 19,6^{\circ}\text{C}$ ;
- Costa Central: Lima.  $H = 4,3 \text{ kwh/m}^2.\text{día}$ ,  $T_{\text{máx}} = 23,3^{\circ}\text{C}$ ,  $T_{\text{mín}} = 15,5^{\circ}\text{C}$ ;
- Costa Sur: Moquegua.  $H = 6,1 \text{ kwh/m}^2.\text{día}$ ,  $T_{\text{máx}} = 27,0^{\circ}\text{C}$ ,  $T_{\text{mín}} = 10,0^{\circ}\text{C}$ ;
- Sierra Central: Huancayo.  $H = 5,1 \text{ kwh/m}^2.\text{día}$ ,  $T_{\text{máx}} = 19,6^{\circ}\text{C}$ ,  $T_{\text{mín}} = 4,4^{\circ}\text{C}$ ;
- Sierra Sur: Puno.  $H = 5,8 \text{ kwh/m}^2.\text{día}$ ,  $T_{\text{máx}} = 14,7^{\circ}\text{C}$ ,  $T_{\text{mín}} = 2,0^{\circ}\text{C}$ .

A nivel anual en el Perú, la zona de mayor potencial de energía solar del territorio peruano se encuentra principalmente en la costa sur ( $16^{\circ}$  a  $18^{\circ}\text{S}$ ), donde se dispone de  $6,0$  a  $6,5 \text{ Kwh/m}^2$ . Otras zonas en las que se registra alta disponibilidad de energía solar diaria, entre  $5,5$  a  $6,0 \text{ kwh/m}^2$  son la costa norte ( $3^{\circ}$  a  $8^{\circ}\text{S}$ ) y gran parte de la sierra sobre los  $2,500 \text{ msnm}$ , siendo en orden de importancia en cuanto a su extensión superficial: la sierra sur, la sierra central y la sierra norte.

El Hospital se encuentra en la ciudad de Moquegua corresponde a la Zona VIII de la figura 5 de radiación media solar, esto supone que nuestra radiación diaria está comprendida entre los  $21.6\text{MJ/m}^2$  y  $23.4\text{MJ/m}^2$  ( $6.0$  a  $6,5\text{ kWh/m}^2$ )

El Atlas de Radiación Solar en Moquegua, donde la media diaria mostrada en el figura 5 es:

$$H = 6.1\text{ kWh/m}^2 \text{ o } 21.96\text{ MJ/m}^2$$



**Figura 6.** Irradiación solar global media en Moquegua. Fuente: Atlas de energía solar en Moquegua - Senamhi

Estos valores no siempre son fijos, sino que hay factores externos que afectan al valor total y es necesario hacer una corrección, utilizando la calidad del aire de la ciudad de Moquegua.

### 3.2.4. Corrección de la radiación solar media

La utilización de un factor de corrección (K) en la radiación solar es función de la calidad del aire.

La calidad del aire se evalúa mediante datos aportados por el SENAMHI.

$$0.95 < K < 1.05$$

Multiplicaremos por 0.95 si el aire donde vamos a disponer el captador está compuesto de mucha polución (contaminación), o si por el contrario es un aire limpio la corrección de nuestra radiación la haremos multiplicando por 1.05.

En nuestro caso, la ciudad de Moquegua es una ciudad urbana asumimos que la polución está presente todos los días, por ello para nuestro caso aplicaremos una corrección de 0.95.

Datos geográficos:

La situación geográfica de la población de Moquegua (SENAMHI) es:

- Altura nivel de mar: 1450 m
- Latitud Sur:  $17^{\circ} 10' = 17.17^{\circ}$
- Longitud:  $70^{\circ} 55'$

Los captadores no estarán completamente en horizontal, los dispondremos con una inclinación igual a la Latitud de Moquegua más  $10^{\circ}$  por ser una instalación que no sólo la utilizaremos todo el año, sino que la optimizaremos para los meses de invierno, donde las horas de irradiación solar son menores y las temperaturas son más bajas. Por ello su inclinación será:

$\alpha = 17.17 + 10 = 27.17^{\circ}$ , significa que la polución del aire no influirá.

Es recomendable utilizar el siguiente criterio, en función de si la instalación es preferentemente de uso estival o invernal:

- Instalaciones de uso estival:

$$\text{Inclinación de captadores} = \text{Latitud del sitio} - 10^\circ$$

- Instalaciones de uso invernal:

$$\text{Inclinación de captadores} = \text{Latitud del sitio} + 10^\circ$$

Por ello nuestra radiación solar media corregida será:

$$H_{\text{corregida}} = 21,960 \text{ kJ/d} * 0.95 = 0.02196 \text{ MJ/d} * 0.96$$

$$H_{\text{corregida}} = 19,764 \text{ kJ/d} = 0.019764 \text{ MJ/d}$$

### 3.2.5. Radiación solar efectiva (Eu)

También conocida como Energía Útil (Eu), esta energía es la que verdaderamente llega al captador, teniendo en cuenta la inclinación de éste sin tener en cuenta el rendimiento.

Se debe aplicar una reducción del 6%, este término 0,94 permite hablar de radiación efectiva debido que a primera hora de la mañana y a última hora de la tarde la intensidad de radiación es menor que al mediodía solar y en ocasiones se compensaría la intensidad por las pérdidas generadas.

$$Eu = 0.94 * K * H_{\text{corregida}}$$

**6%:** Reducción radiación global 0.94

**K:** Factor correctivo de la latitud del lugar donde se ubica la instalación y de la inclinación del captador (adimensional: 1.17)

H corregida: (kJ/m<sup>2</sup>)

$$Eu = 0.94 * 1.17 * 19,764 \text{ kJ/m}^2.\text{d}$$

$$Eu = 21,659 \text{ kJ/m}^2.\text{d} = 0.021659 \text{ MJ/m}^2.\text{d}$$

$$E_u = 6.0 \text{ kWh/m}^2.\text{d}$$

No hay que olvidar el papel que juega una correcta orientación e inclinación del captador. Es conveniente seguir las siguientes recomendaciones y atender a las desviaciones que permite el RITE.

#### 3.2.5.1. Inclinación:

Moquegua se encuentra a **17°10'** (17.17°), teniendo en cuenta que en función del uso podemos la corregir para conseguir la perpendicularidad de los rayos del sol sobre el captador en el mediodía solar.

#### 3.2.5.2. Orientación - inclinación óptima:

Factores básicos para el rendimiento óptimo del sistema solar son tanto la correcta elección del ángulo de inclinación como la orientación en relación a la ubicación de la instalación y el tiempo para lograr el máximo rendimiento. El sistema solar debe orientarse de tal forma que los captadores miren en dirección del sur geográfico tratándose del hemisferio norte (y norte geográfico para el hemisferio sur), es decir debe mirar siempre hacia el Ecuador.

En nuestro caso, colocaremos los captadores sobre el techo del Cuarto de Bombas y Cisterna de Agua, donde le daremos **una** inclinación de  $17^{\circ}10' + 10^{\circ} = 27^{\circ}10'$  (RNE) para conseguir un mayor rendimiento y poder orientarlos totalmente al NORTE.

El edificio de cuatro niveles del Hospital está diseñado de tal forma que este edificio que sobrepasa al techo del cuarto de bombas y cisternas no ocasiona pérdidas por sombras de captador a captador.

### 3.2.6. Aporte de energía solar (Ep)

El rendimiento del captador depende de la temperatura ambiente y de la temperatura del fluido caloportador. Se ha estimado un 10% a las pérdidas generadas en todos los elementos de la instalación, debida fundamentalmente al aislamiento, de ahí una aplicación del factor 0.9.

Según el Instituto para la diversificación y ahorro de energía, IDAE los rendimientos de instalaciones debido a las diferentes dispersiones de calor que se puede producir a lo largo de todo el circuito, recomiendan aplicar pérdidas que oscilan desde el 5% al 20%

$$E_p = 0.9 \cdot \eta \cdot E_u$$

**Ep:** Aporte energía solar (kWh/m<sup>2</sup>.día)

**η:** Rendimiento del captador (adimensional)

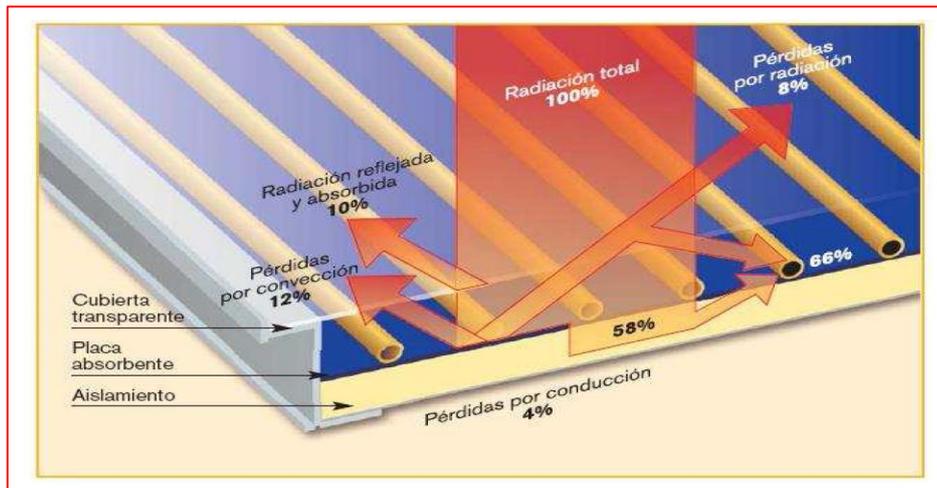
**Eu:** Energía útil (kWh/m<sup>2</sup>.día)

Para ello necesitamos calcular el rendimiento del captador.

### 3.2.7. Rendimiento del captador.

El rendimiento de un captador es la relación entre la energía útil aportada por el fluido calo portador y la energía solar incidente sobre la cubierta del mismo.

No toda la energía que incide sobre el captador es aprovechada, existen pérdidas por radiación, absorción, conducción y convección, como se detalla a continuación en la figura 7 donde podemos apreciar la radiación absorbida y la reflejada, las pérdidas por conducción, pérdidas por radiación; las cuales nos brinda información sobre el rendimiento del colector solar a través de tuberías.



**Figura 7.** Esquema del rendimiento de un colector solar, Fuente ingemecanica

El parámetro que define al captador es la ecuación de rendimiento que aporta el fabricante cuyos términos vienen definidos en función del material con el que está construido y su comportamiento frente a la radiación solar incidente.

$$\eta = U_0 - U_1 * \frac{(T_m - T_a)}{I} - U_2 * \frac{(T_m - T_a)^2}{I}$$

Dónde:

**U:** Factores de pérdidas debidas a la superficie del captador y de la diferencia de temperaturas creadas entre la temperatura ambiente y la temperatura media del captador. Representa el ángulo de inclinación en la gráfica del rendimiento. (Dato del fabricante).

**U<sub>0</sub>:** Factor de conversión  $\eta_0$  (%): 0.82

**U<sub>1</sub>:** Coeficiente de pérdida k1 (W/m<sup>2</sup>-K): 3.312

**U<sub>2</sub>:** Coeficiente de pérdida k2 (W/m<sup>2</sup>-K): 0.01

**T<sub>m</sub>:** Temperatura media del fluido caloportador (°C): T colector – T mín.

**T<sub>a</sub>:** Temperatura ambiente (°C): T mín.

**I:** Intensidad Radiante (W/m<sup>2</sup>)

En nuestro caso debido a que  $U_2$  es un factor muy pequeño (0.01) y eliminamos del cálculo, ya que la resta de este coeficiente no afectará al resultado final.

La intensidad radiante, que es la cantidad de energía útil captada por unidad de tiempo por unidad de superficie. La superficie tomada corresponde a 1 m<sup>2</sup> y el tiempo al número de horas de sol útil en el supuesto de inexistencia de sombras proyectadas sobre el captador.

El rendimiento del captador, aparte de depender de los elementos de constructivos del propio captador, depende también de la intensidad radiante.

Esta Intensidad Radiante se obtiene:

$$I = \frac{E_{\text{útil}}}{\text{Horas}}$$

Donde:

$E_{\text{útil}}$ : Energía útil (kWh/m<sup>2</sup>.día)

**Horas:** Número de horas de sol útiles (horas)

**Tabla 5.**  
Cálculo de Horas de Sol Útiles y la Intensidad Radiante

CALCULO DEL NUMERO DE HORAS DE SOL UTILES POR DIA												
MES	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
Nro Dias	31,0	28,0	31,0	30,0	31,0	30,0	31,0	31,0	30,0	31,0	30,0	31,0
Hrs Sol/día	8,3	7,5	9,3	10,8	9,5	9,3	10,1	10,1	11,0	10,7	12,0	10,0
Hrs Sol/mes	256,2	210,0	288,6	322,5	293,5	280,2	312,0	314,3	329,9	333,0	360,2	309,3
CALCULO DE LA INTENSIDAD RADIANTE												
E(útil)-KWh/m2.d	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0
I(KW/m2)	0,7260	0,8000	0,6445	0,5581	0,6337	0,6424	0,5962	0,5918	0,6546	0,6559	0,4997	0,6014

Fuente: Elaboración Propia

Para la Temperatura Media del captador, Instituto para la diversificación y ahorro de energía (IDAE) propone dos opciones:

- Escoger un valor constante a lo largo de todo el año, generalmente el mismo que el fijado para el agua de consumo (55°C), el cual es el limitante para el funcionamiento del calentador Solar, en caso no llegase a la temperatura, el controlador accionara el calentador GLP para llevar a la temperatura mínima requerida y estabilizar el sistema.
- Escoger valores diferentes para cada época del año, más baja para el invierno (10°C) y más alta para el verano (27°C).

Nosotros al desear una instalación solar optimizada para toda la época del año escogeremos la segunda opción, por los siguientes motivos:

- La primera opción introduce un error en el rendimiento invernal.
- Con la segunda opción obtenemos un cálculo más exacto del rendimiento de nuestros paneles.

La expresión del rendimiento de un captador se puede simplificar y tenemos la siguiente expresión:

$$\eta = U_0 - (U_1 * X)$$

Donde:

$$X = \frac{T_m - T_a}{I}$$

**Tabla 6.**  
Cálculo de X

CÁLCULO DE X												
CONDICIONES	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
Tm (°C)	55	55	55	45	45	45	45	45	45	55	55	55
Ta (°C)	30	29	30	8	8	8	7	6	7	30	29	29
I (W/m2.día)	726.0	800.0	644.5	588.1	633.7	642.4	596.2	591.8	545.6	558.6	499.7	601.4
X (K/W.m2)	0.03	0.03	0.04	0.06	0.06	0.06	0.06	0.07	0.07	0.05	0.05	0.04
FÓRMULA:	$X = \frac{T_m - T_a}{I}$											

Fuente: Elaboración propia

Teniendo en cuenta la ficha técnica (ver catálogo Wolf: Wolf Ibérica, tabla 8.) del captador tomado como referencia para el cálculo  $\eta_0 = 0.821$  y el coeficiente de pérdida  $U1 = 3.312$ , obtenemos:

$$\eta = U_0 - U_1 * X$$

Se resalta que el  $U1$  y  $U2$  son datos proporcionados por fabricante, Wolf, es empresa que realiza los colectores y acumuladores.

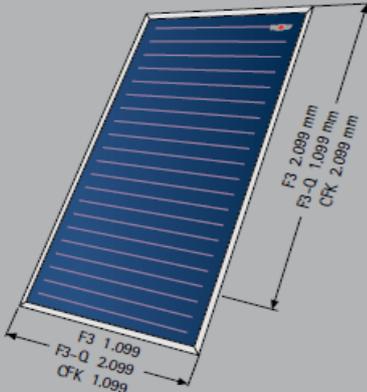
**Tabla 7.**  
Cálculo de  $\eta$

CÁLCULO DEL RENDIMIENTO DEL CAPTADOR ( $\eta$ )												
CONDICIONES	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
$U_0$	0.821	0.821	0.821	0.821	0.821	0.821	0.821	0.821	0.821	0.821	0.821	0.821
$U_1$	3.312	3.312	3.312	3.312	3.312	3.312	3.312	3.312	3.312	3.312	3.312	3.312
$X (K/W.m^2)$	0.03	0.03	0.04	0.06	0.06	0.06	0.07	0.07	0.07	0.05	0.05	0.04
$\eta$	0.72	0.72	0.69	0.62	0.62	0.62	0.59	0.59	0.59	0.66	0.66	0.69

FÓRMULA:  $\eta = U_0 - U_1 * X$

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 8.**  
Datos técnicos de colector Wolf



**Datos Técnicos**

Captador solar		TopSon F3	TopSon F3-Q	TopSon CFK
Medidas de captador				
Longitud	mm	2.099	1.099	2.099
Ancho	mm	1.099	2.099	1.099
Profundidad	mm	110	110	110
Superficie del captador	m <sup>2</sup>	2,3	2,3	2,3
Superficie útil	m <sup>2</sup>	2,0	2,0	2,0
Absorción (de energía)	%	97	97	97
Emisión (pérdidas por radiación)	%	5	5	5
Punto de ebullición del fluido térmico <sup>1)</sup>	°C	178	178	178
Temperatura de estancamiento	°C	198	198	199
Capacidad	l	1,7	1,9	1,7
Caudal recomendado	l/h	90	90	90
Caudal admisible	l/h	30/90	30/90	30/90
Pérdida de carga	mbar			
Presión de régimen admisible	bar	10	10	10
Peso	kg	40	41	40

1) con ANRO y 6 bar de presión de la instalación

Fuente: Elaboración propia

Una vez obtenido el rendimiento del captador calculamos la energía solar captada (Ep):

$$E_p = 0.9 * \eta * E_u$$

$\eta$ : Rendimiento del captador(adimensional)

$E_u$ : Energía útil (KJ/m<sup>2</sup>): 6.0 kWh/m<sup>2</sup>

Como resultado obtenemos la siguiente Tabla 9.

**Tabla 9.**  
Cálculo de energía solar captada

CÁLCULO DE LA ENERGÍA SOLAR CAPTADA MES (Ep)												
CONDICIONES	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
DIAS DEL MES	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
FACTOR	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
$\eta$	0.72	0.72	0.69	0.62	0.62	0.62	0.59	0.59	0.59	0.66	0.66	0.69
$E_u$ (kWh/m2.d)	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00
$E_u$ (kJ/m2.d)	21,600.00	21,600.00	21,600.00	21,600.00	21,600.00	21,600.00	21,600.00	21,600.00	21,600.00	21,600.00	21,600.00	21,600.00
$E_u$ (MJ/m2.d)	21.60	21.60	21.60	21.60	21.60	21.60	21.60	21.60	21.60	21.60	21.60	21.60
$E_p$ (MJ/m2) (MES)	669.60	604.80	669.60	648.00	669.60	648.00	669.60	669.60	648.00	669.60	648.00	669.60
$E_p$ (MJ/m2) (AÑO)	7,884.00											
FÓRMULA:	$E_p = 0.9 * \eta * E_u$											

Fuente: Elaboración propia

### 3.2.8. Número de captadores.

Para definir el número de captadores que necesita la instalación nos basaremos en el método recomendado por el IDAE y por el Reglamento de Instalaciones Térmicas en Edificios, RITE para instalaciones de A.C.S.

La superficie total de captación ( $S_{\text{captación}}$ ) se obtiene de la comparación de la energía demandada anual y la energía anual aportada por el sol por unidad de superficie, como se detalla a continuación:

$$S_{\text{captación}} = \frac{E_{\text{requerida}}}{E_{\text{captada}}} * \text{Cobertura deseada}$$

Donde:

$S_{\text{captación}}$ : Superficie de captación (m<sup>2</sup>)

$E_{\text{requerida}}$ : Energía requerida anual (MJ): 1'274,120 MJ

E captada: Energía aportada solar anual (MJ/m<sup>2</sup>): 7,884 MJ/m<sup>2</sup>

$$S_{\text{captación}} = \frac{1'274,120 \text{ MJ}}{7,884 \text{ MJ/m}^2} * 0.60$$

$$\mathbf{S_{\text{captación}} = 96.96 \text{ m}^2}$$

$$S_{\text{captación}} = 100 \text{ m}^2$$

El colector Wolf tiene una superficie útil de 2 m<sup>2</sup> lo cual significa:

$$100 \text{ m}^2 / 2 \text{ m}^2 / \text{captador} = 50 \text{ captadores}$$

Las baterías de captadores deben de estar compuestas por el mismo número de placas solares el cual lo determinaremos con la siguiente operación, debemos considerar que por batería no debemos tener mayor a 8 captadores, para lo cual se recomienda poner como máximo 7 captadores.

$$50 \text{ captadores} / 7 \text{ captadores} * \text{batería} = 7.14 \text{ cada batería}$$

Por lo tanto elegiremos 8 baterías de 7 captadores cada una de ellas y así nuestra instalación solar térmica constará de 56 captadores de la marca Wolf Top F3, modelo tomado como referencia de cálculo.

A continuación calcularemos y diseñaremos uno a uno los elementos principales de que componen una instalación solar térmica.

### 3.2.9. Sistema de captación

Como hemos comentado anteriormente, es el elemento principal de cualquier sistema de energía solar térmico. Tiene como misión captar la energía solar incidente y transmitirla al fluido caloportador que circula por él.

El captador Wolf se componen básicamente de:

- Cubierta.

Provoca el efecto invernadero dentro del captador y asegura la estanqueidad. Puede ser de vidrio o plástico.

- Placa absorbente.

Recibe la radiación solar, la transforma en calor y la cede al fluido Caloportador. Posee un recubrimiento selectivo que lo convierte en cuerpo negro y por lo tanto consigue una alta absorbancia.

- Aislante.

Es el responsable de disminuir las pérdidas o fugas de calor internas.

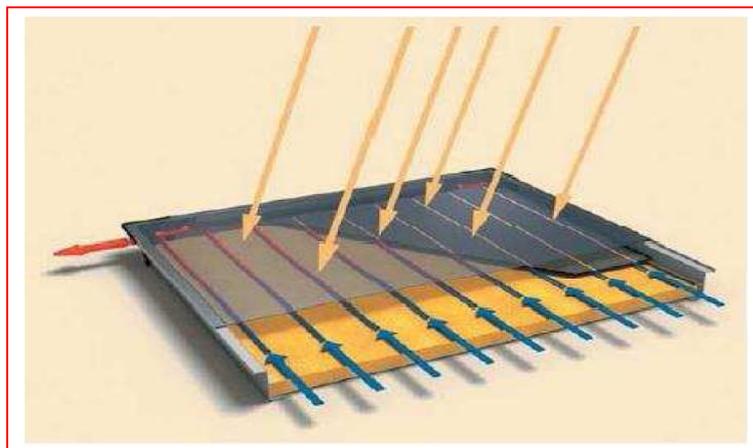
Debe de ser de un material resistente a temperaturas altas, inerte a la humedad y que no desprenda sustancias tóxicas.

- Carcasa.

Contiene y soporta los elementos anteriores y los protege de la intemperie.

Debe poseer alta resistencia a las temperaturas, corrosión, degradación química y radiación ultravioleta.

Para nuestro proyecto elegiremos el sistema tradicional de captador plano, concretamente un captador Wolf Top Sopn F3, debido a su alto rendimiento de **2 m<sup>2</sup>** de superficie útil y **2.3 m<sup>2</sup>** de superficie total.



**Figura 8.** Esquema de un colector solar, Fuente, Manual Junkers

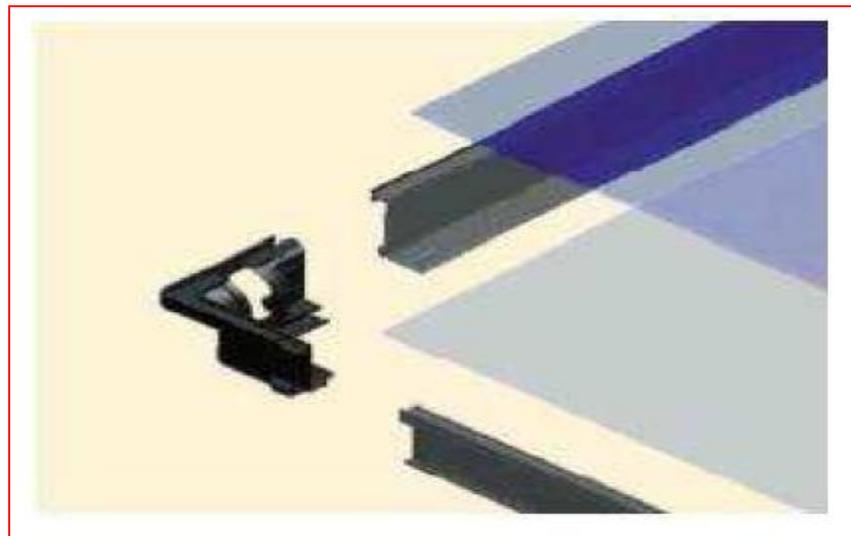
Su disponibilidad es tanto en formato vertical (S) como en horizontal (W).

El bastidor es de polietileno reciclable en GFK (fibra de vidrio reforzada con polímeros) y la estructura trasera en forma de bandeja es de resina ABS.

La cubierta transparente, está constituida por un cristal de seguridad de 3.2 mm de grosor, una alta transmisión (92%) y debe ser resistente a impactos según norma EN12975.

El aislamiento es de lana mineral menor a 60 mm (2.1/2”) de grosor resistente a altas temperaturas.

El absorbente consta de 8 tubos de cobre y plancha de cobre con recubrimiento selectivo de cromo negro. Con bastidor en forma de  $\Omega$  consigue una alta transmisión desde la plancha absorbedora al tubo.



**Figura 9.** *Detalle de un captador, Fuente Manual Junkers.*

Podemos apreciar en la figura 9, las uniones entre lados laterales y placas inferior y superior, además de aberturas para el ingreso de las tuberías de cobre. Como ya se menciona el absorbente es un recubrimiento color negro para captar con mayor intensidad la energía radiante y transmitirlo a las tuberías por transferencia de calor.

Los captadores deben contar aberturas posteriores que consisten en unos orificios de ventilación, para permitir la circulación interna del aire evitando la generación de humedad. Cada captador debe tener 4 orificios, 2 en la parte inferior y otros 2 en la parte superior, ver figura 10.



**Figura 10.** *Detalle ventilación del captador,* Fuente Manual Junkers

Respecto a la conexión hidráulica del captador, el sistema tiene 4 tomas y las tomas para accesorios estará formado por un tubo corrugado y abrazaderas de acero inoxidable lo que permitirá e alcanzar y soportar altas temperaturas de hasta 170°C.

La presión de trabajo es de hasta 6 bares.

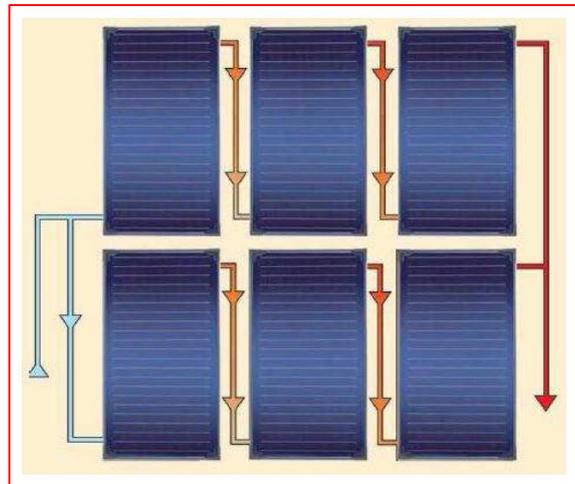
### 3.2.10. Disposición de los captadores.

El conexionado de los captadores es una de las piezas claves en el diseño de las instalaciones solares. La conexión puede ser en serie, paralelo o de forma mixta.

En el proyecto se aplicará la conexión mixta.

Consiste en conectar de varias baterías en paralelo con retorno invertido para equilibrar la instalación y en cada una de las baterías los captadores conectados en serie.

Es una combinación recomendada si se pretende beneficiarse de las ventajas de las conexiones en serie y en paralelo.



**Figura 11.** *Conexión mixta*, Fuente Manual Junkers

Se puede definir como baterías a los captadores conectados en serie o en paralelo los cuales brindaran el agua caliente al acumulador a través de tuberías necesarias según los cálculos realizados.

Para conseguir un funcionamiento óptimo de la instalación implica dimensionar correctamente el circuito primario para que por cada batería circule la misma cantidad de fluido caloportador con la mínima pérdida de carga.

Para que cada batería de captadores circule el fluido caloportador y se caliente de forma correcta, instalaremos válvulas de corte tanto en la entrada como en la salida, además con el fin de realizar un cambio o reparación de un componente sin necesidad de vaciar completamente la instalación.

Para limitar la presión de trabajo dispondremos de una válvula de seguridad.

También se instalará un purgador en la salida del bloque y en el punto más alto, así eliminaremos el aire que contenga el fluido caloportador en el

proceso de llenado de la instalación, o en procesos futuros de reparaciones de elementos dañados.

#### 3.2.10.1. Ventajas e Inconvenientes

Mixta

- Temperatura de salida elevada
- Alto rendimiento en todos los captadores
- No circula el mismo caudal, para ello instalaremos válvulas reguladoras

Para el Hospital según normativa IDAE y recomendaciones del fabricante, instalaremos 1 batería de 7 captadores unidos entre sí en **serie** y a su vez las 8 baterías estarán conectadas en paralelo.

Con esta disposición conseguiremos obtener la máxima temperatura de salida con el mínimo rendimiento.

#### 3.2.11. Separación de los captadores.

Según RITE hay que fijar unas distancias mínimas entre las filas de captadores con el fin de que durante la exposición solar no se proyecten sombras entre sí.

Según el apartado del RITE ha fijado esta distancia mínima en función de:

- Cálculo de la altura solar mínima a las 12.00 horas:

$$H_{mín} = 90^\circ - \text{Latitud del lugar} - 23^\circ 27'$$

- Cálculo de la distancia mínima entre captadores solares y un objeto de altura h ( $d_1$ ):

$$d_1 = \frac{h_{\text{captador}}}{\text{tg}(H_{mín})}$$

- Cálculo de la altura de inclinación del captador:

$$h_{captador} = L * \text{sen}\beta$$

- Cálculo de la distancia mínima entre filas de captadores ( $d_1$ )

$$d_1 = \frac{L * \text{sen}\beta}{\text{tg}(H_{\text{mín}})}$$

Dónde:

$d_1$ : Distancia entre filas

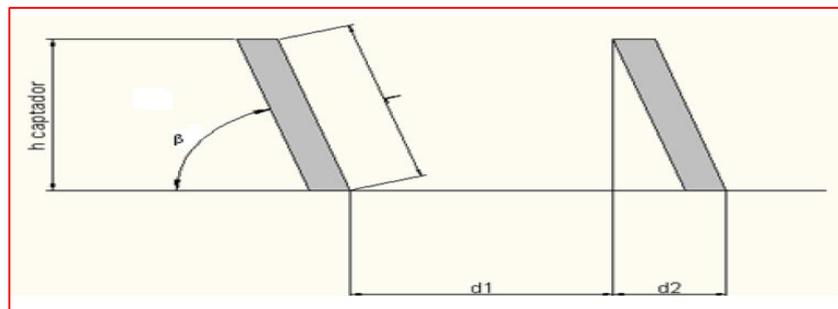
L: Longitud del captador

- Cálculo entre filas comprendida entre la parte posterior del captador y el inicio de la fila siguiente ( $d_2$ ):

$$d_2 = L * \text{cos}\beta$$

- Cálculo entre el inicio de filas de captadores es:

$$d = \frac{L * \text{sen}\beta}{\text{tg}(H_{\text{mín}})} + d_2$$



**Figura 12.** Esquema separación entre baterías de captadores, Fuente Catalogo Wolf

Cálculo de la distancia mínima de separación entre el final del murete y el inicio de la primera fila de captadores es:

$$d = h * k$$

h: Altura del murete

k: Coeficiente de separación entre obstáculos y captadores

**Tabla 10.**  
Coeficiente K

ANGULO DE INCLINACIÓN ( $\beta$ )	20	25	30	35	40	45	50	55
COEFICIENTE "K"	1.53	1.63	1.73	1.81	1.87	1.93	1.97	1.99

Fuente: RITE

Podemos resumir el contenido de la formula, simplificando y haciendo más comprensible los trabajos de cálculo en la tabla 10 de cálculo de separación "d" el cual es entre colectores, para su funcionamiento por captación solar sea óptimo.

Los parámetros fueron extraídos del catálogo Wolf para la realización de la tabla de cálculos por separaciones entre colectores.

**Tabla 11.**  
Cálculo de separación "d"

CÁLCULO DE SEPARACIÓN ENTRE BATERÍAS DE CAPTADORES		
Area del Total captador	2.30	m <sup>2</sup>
Longitud del captador (catálogo)	2.10	m
Ancho del captador (catálogo)	1.10	m
Angulo de inclinación captador ( $\beta$ )	30	grados
Latitud SUR (MOQUEGUA)	17.17	grados
Altura solar mínima (H <sub>mín</sub> )	49.38	grados
Posición del captador	<b>HORIZONTAL</b>	
Distancia mínima entre captador y un objeto de altura h (d1)		No existe elemento que pueda proyectar sombra
Altura del captador (h captador)	0.55	m
Distancia mínima entre filas de captadores (d1)	1.20	m
Distancia entre el inicio de filas de captadores (d2)	2.03	m
Distancia entre inicio de captadores (d)	<b>3.22</b>	m
Coeficiente "k" a 30°	1.73	Tabla 10
Distancia mínima entre la primera fila de captadores y el parapeto (d3)	1.50	m

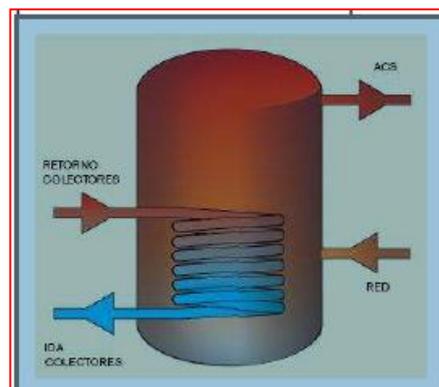
Fuente: Elaboración Propia

Para el Hospital con una inclinación de 30° se debe disponer una separación de 3.20 m para evitar las sombras producidas por la batería de los y así aprovechar al máximo el rendimiento de nuestro captador Wolf.

### 3.2.12. Sistema de acumulación.

La necesidad de energía no siempre coincide en el tiempo con la captación que se obtiene del sol, por lo que es necesario disponer de un sistema de acumulación que haga frente a la demanda en momentos de poca o nula radiación solar; así como la acumulación energética producida en los momentos de poco o nulo consumo.

Este acumulador almacena el agua caliente producto de los colectores satisfaciendo la demanda energética requerida por el hospital regional y para los cuales se realiza el cálculo.



**Figura 13.** Acumulador, Fuente Manual Junkers

### 3.2.13. Volumen de acumulación.

El acumulador es el sistema de almacenamiento de energía. Lo ideal sería hacer coincidir el consumo diario con el volumen del depósito.

El RITE establece un margen que puede considerarse como de correcto dimensionado:

$$0.8 M < V < M$$

**Tabla 12.**

*Cálculo del volumen de acumulación*

CÁLCULO DEL VOLÚMEN DE ACUMULACIÓN		
Consumo diario A.C.S (Q)	23,142	litros
FACTOR	0.75	
Consumo medio diario (M)	17,357	litros
FACTOR	0.80	
Consumo medio diario (0.8*M)	13,885	litros
<b><math>0.8 M &lt; V &lt; M</math></b>		

Fuente: Elaboración propia

$$13,885 < V < 17,357$$

También existe una recomendación de los fabricantes para el cálculo de volúmenes de energía solar y es estimar 50 litros por cada m<sup>2</sup> útil de captador para la producción del agua caliente sanitaria, podemos hallar el volumen con la siguiente formula:

$$V = 50 * A$$

**Donde:**

**V.** Volumen (litros)

**A:** superficie útil del captador (m<sup>2</sup>)

**Tabla 13.**

*Cálculo del volumen de acumulación recomendada por fabricantes*

CÁLCULO DE VOLUMEN DE ACUMULACIÓN RECOMENDADO		
Volumen	50	litros/m <sup>2</sup> captador
Nº captadores	56	captadores
Area de cada captador	2	m <sup>2</sup>
VOLUMEN DE ACUMULACIÓN	5,600	litros
<b><math>V = 50 * A</math></b>		

Fuente: Elaboración Propia

Observamos que la opción más acertada sería la de escoger el volumen obtenido mediante el RITE, para asegurar el suministro a todo el personal del Hospital, pero en nuestro caso escogeremos la recomendación de los fabricantes, debido a que la población presentada al principio del proyecto (120 camas) no utilizan el agua en un mismo

turno, sino que el Hospital presenta turnos diferentes en la mañana y tarde con lo cual el volumen requerido será siempre inferior.

Como existe gran demanda podemos disponer de dos depósitos bien en serie o en paralelo. Nosotros preferentemente realizaremos la acumulación mediante dos depósitos en serie ubicados en la casa de fuerza del área de calderos del hospital.

De acuerdo al catálogo del fabricante WOLF dispondremos de dos depósitos modelo SPU2-4000 de capacidad 3050 litros cada uno con tres serpentines en el interior para el intercambio de calor entre el líquido caloportador y el agua de consumo: 2 de 1530 litros y 1 de 980 litros.

En la entrada de agua fría se dispondrá de una placa deflectora que no genere turbulencias y mantenga la estratificación en el acumulador.

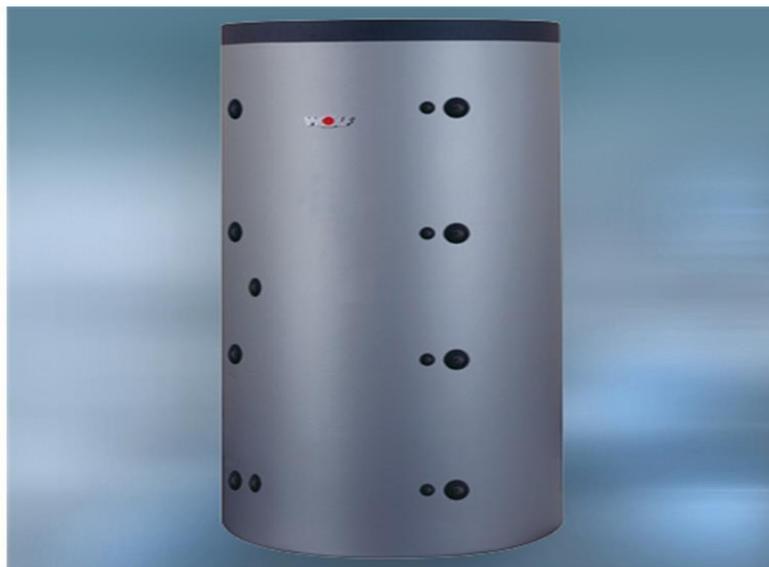
Características generales:

- Alto: 2670 mm
- Diámetro: 1700 mm
- Tipo de instalación: Serie

El control de la temperatura de acumulación se realiza mediante un diferencial de temperatura (central de control) a través de sensor, que irá instalada en el interior del acumulador.

Tanque del acumulador de acero esmaltado con aislamiento térmico de espuma de poliuretano libre de hidrocarburos.

Protección catódica mediante ánodo de magnesio.



**Figura 14.** *Imagen acumulador Wolf*, Fuente: Catalogo Wolf

En el sistema de Acumulación de agua Wolf, brinda al sistema una cantidad de agua según las siguientes características brindadas por el fabricante:

Características del interacumulador solar SPU-2-W y SPU-2:

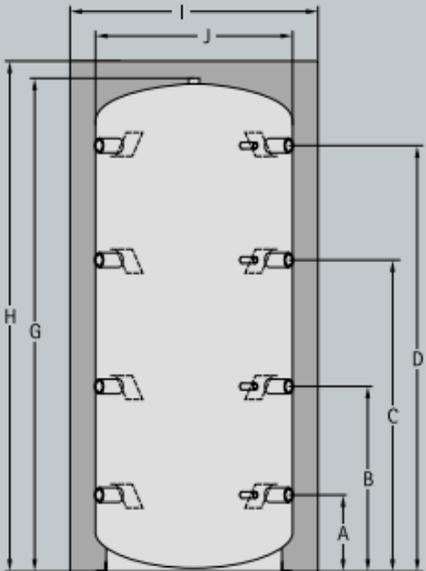
- Alto poder de aislamiento gracias a su revestimiento completo de espuma rígida de poliuretano, sin C.F.C. Mínima pérdida de calor.
- Aislamiento desmontable para facilitar la introducción en salas de difícil acceso y minimizar daños en el transporte.
- Modelo SPU-2-W con intercambiador interno. Con superficie de intercambio sobradamente dimensionada para garantizar una perfecta transmisión de calor del circuito solar.
- El modelo SPU-2 sin intercambiador interno.
- Disponen de varias conexiones para otras aplicaciones de energía (biomasa, cogeneración, etc.).
- Acumulador/interacumulador no válidos para A.C.S.
- 5 años de garantía.

**Tabla 14.**  
Acumulador WOLF

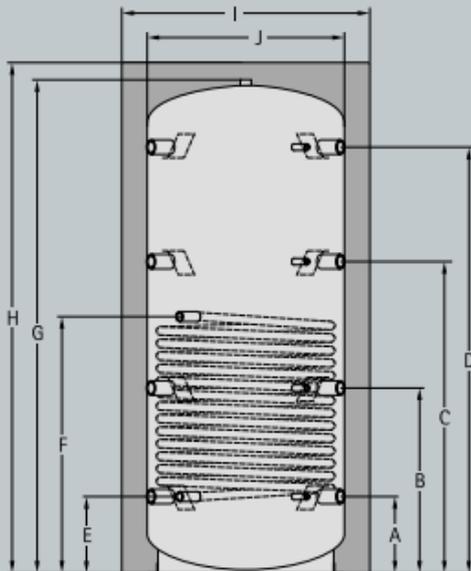


Sistemas para el ahorro de energía

## DATOS TÉCNICOS



**SPU-2**



**SPU-2-W**

### Datos Técnicos\*

Modelo SPU-2-W / SPU-2		500	800	1000	1500	2000	3000	4000	5000
Interacumulador	SPU-2W Ltr.	480	730	915	1520	-	-	-	-
	SPU-2 Ltr.	490	775	935	1545	2050	2955	4040	5055
Conexión/Termómetro/Regletas de sonda	A mm	220	260	307	372	390	390	470	465
Conexión/Termómetro/Regletas de sonda	B mm	620	630	745	817	950	1020	1030	1100
Conexión/Termómetro/Regletas de sonda	C mm	1010	1030	1250	1342	1510	1650	1590	1730
Conexión/Termómetro/Regletas de sonda	D mm	1390	1380	1710	1752	2070	2280	2150	2355
Retorno intercambiador **	E mm	220	260	307	372	-	-	-	-
Impulsión intercambiador **	F mm	715	930	1030	1172	-	-	-	-
Altura sin aislamiento	G mm	1640	1640	1980	2070	2425	2665	2595	2515
Altura con aislamiento	H mm	1725	1700	2050	2150	2500	2740	2670	2890
Diámetro con aislamiento térmico	I mm	850	990	990	1200	1300	1450	1700	1800
Diámetro sin aislamiento térmico	J mm	650	790	790	1000	1100	1250	1500	1600
Cota de inclinación con aislamiento térmico	mm	1940	1980	2290	2460	2820	3100	3170	3405
Cota de inclinación sin aislamiento térmico	mm	1670	1720	2060	2180	2510	2750	2860	3080
Conexión (8 pc)	Rp	1½"	1½"	1½"	1½"	1½"	1½"	1½"	1½"
Termómetro (4 pc)	Rp	½"	½"	½"	½"	½"	½"	½"	½"
Conexión intercambiador **	Rp	1¼"	1¼"	1¼"	1¼"	1¼"	1¼"	1¼"	1¼"
Conexión serpentín **	Rp	1"	1"	1"	1"	-	-	-	-
Superficie calefactora intercambiador **	m²	1,8	2,4	3	3,6	-	-	-	-
Capacidad intercambiador **	Ltr.	10,5	13,5	17	20,5	-	-	-	-
Presión de régimen admisible prim.**/secundario	bar	10/3	10/3	10/3	10/3	-/3	-/3	-/3	-/3
Temp. máx. de funcionamiento prim.**/secundario	°C	110/95	110/95	110/95	110/95	-/95	-/95	-/95	-/95
Peso	SPU-2-W	kg	113	140	175	230	-	-	-
	SPU-2	kg	88	106	133	180	310	375	430

\*\* Sólo para SPU-2-W  
\* Reservado el derecho de modificaciones técnicas

Fuente: Catalogo Wolf



**Figura 15.** *Imagen acumulador*, Fuente: Catalogo Wolf

#### 3.2.14. Estratificación.

Los cuerpos al elevar su temperatura disminuyen su densidad.

Esto ocurre especialmente con el agua y el aire. La consecuencia de este fenómeno es que al estar una masa de agua sometida a la acción de la gravedad, la zona más caliente tiende a situarse en la parte más elevada y la fría en la zona inferior.

La entrada de agua fría se hará por la parte inferior y la salida por la superior, ya que el agua fría pesa más y se queda en la parte baja y el agua caliente sube.

Es conveniente que la entrada de agua de primario al acumulador se realice a una altura del 50% al 75% de la altura total del depósito.

### 3.2.15. Legionella:

En los acumuladores de A.C.S., al ser un agua estancada donde se puede generar depósitos de lodos, materias orgánicas pueden formar una biocapa, la cual en condiciones óptimas de temperatura (35/37°C), puede generar la multiplicación de Legionella hasta concentraciones infecciosas para el ser humano.

La legionella es una bacteria ambiental capaz de sobrevivir a un amplio intervalo de condiciones físico-químico.

El ministerio de Salud establece los criterios higiénicos-sanitarios para la prevención y control de legionella como limpieza de los componentes.

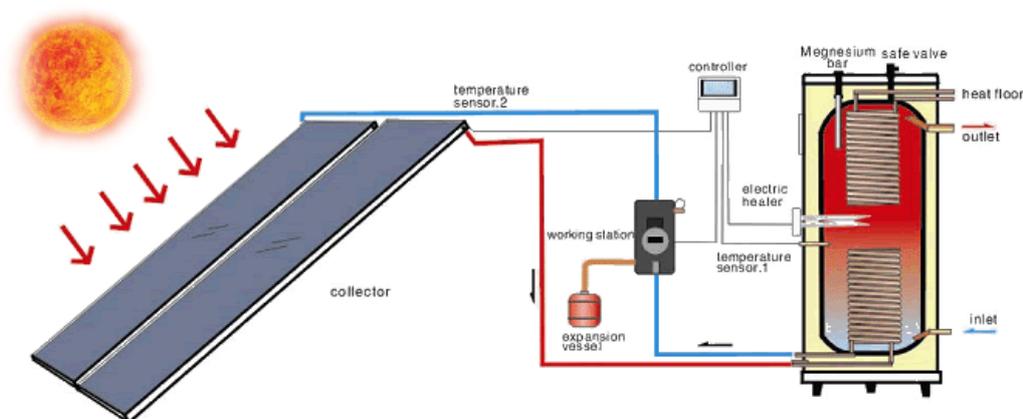
Para evitar la Legionelosis en acumuladores destinados a usos colectivos, debe alcanzar 50 °C y llegar eventualmente hasta los 70 °C, con el fin de asegurar una desinfección eficaz en el caso de instalaciones colectivas según Norma.

Para ello estableceremos mantenimiento de los acumuladores al igual que de toda la instalación para prevenir posibles problemas que puedan influir en la salud de los pacientes y empleados de salud; así como, en el rendimiento de la misma.

### 3.2.16. Intercambiador de calor.

El intercambiador de calor es el elemento de la instalación encargado de transferir el calor generado en los captadores solares al agua del depósito, mediante un movimiento forzado del fluido caloportador sin que exista la mezcla de los dos fluidos, es decir, con separación física del fluido que

circula por el circuito primario solar del fluido de uso del circuito secundario o de consumo.



**Figura 16.** Esquema de captación con acumulador, Fuente Termosol energía solar

#### Circuito primario y secundario

- Las ventajas de disponer una configuración de circuitos independientes, primarios y secundarios son:
- El circuito primario trabaja a presión de los captadores, sin sufrir fluctuaciones importantes.
- La circulación del circuito primario puede ser regulado, de esta forma obtendremos optimización energética.
- El fluido caloportador utilizado en el circuito primario es un líquido térmico con anticongelantes y agentes inhibidores para proteger a los captadores de posibles congelaciones y calcificación.

En nuestro caso el intercambiador de calor será mediante serpentín incorporado en el acumulador, ya que es recomendable en instalaciones con capacidades de hasta 500 o 5000 litros.

El intercambiador incorporado en el acumulador ayudará que el agua se mantenga siempre caliente.

- Ventajas:
- Al estar el serpentín sumergido en el fluido del secundario permite tener mejor rendimiento.
- Perdida de carga media.
- Acumulador de costo mediano.
- Equipos bastante estandarizados en el mercado.

### 3.2.17. Líquido caloportador.

El líquido caloportador es aquel fluido que circula por los conductos de los captadores transfiriendo la energía solar térmica recibida a su paso por las placas solares al acumulador del sistema.

- Agua blanda natural.

El agua que circula por los captadores es la misma que se utiliza en el uso doméstico, sin añadir ningún componente químico.

- Viscosidad

Si se aumenta la viscosidad de la mezcla, se aumentan las pérdidas de carga.

- Dilatación

Al aumentar la dilatación de la mezcla hay que tenerla en cuenta para dimensionar el vaso de expansión.

- Temperatura de ebullición

Generalmente es superior al del agua pura, por lo tanto es un factor favorable para las instalaciones solares térmicas en épocas de poca radiación y de bajo consumo.

En nuestro caso escogeremos como fluido caloportador agua blanda sin anticongelante, en debido a que las temperaturas de la ciudad no llegan a ser menores de 0°C.

### 3.2.18. Cálculo tuberías circuito primario.

Para las tuberías utilizadas en instalaciones solares hay que distinguir entre dos circuitos:

#### 3.2.18.1. Circuito Secundario: Acumulador-Consumo

Respecto a este circuito la incorporación de la instalación solar no afecta de modo alguno para la modificación de los materiales existentes.

#### 3.2.18.2. Circuito Primario: Captadores-Intercambiador

Para este circuito primario hay que tener en cuenta que en determinadas ocasiones la temperatura del fluido caloportador entre captador e intercambiador puede alcanzar temperaturas muy elevadas de hasta 130°C, este hecho nos producirá esfuerzos considerables sobre las tuberías y fricciones debido a su dilatación, además de acelerar procesos de corrosión y calcificación.

Por ello se recomienda la utilización de las tuberías de los siguientes materiales utilizados comúnmente para estos sistemas, en la tabla 15 podemos apreciar que para el circuito primario tenemos dos materiales, el cobre y el polietileno, ambos con sus ventajas y desventajas en su utilización para nuestro diseño. Recordemos que la tubería primaria recibirá el calor del líquido con mayor intensidad.

**Tabla 15.**  
*Tuberías para circuito primario*

MATERIAL	VENTAJAS	DESVENTAJAS
<b>Cobre</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Coeficiente de bajo dilatación</li> <li>- Fácil de trabajar</li> <li>- Económico</li> <li>- Gran variedad de figuras y accesorios en el mercado</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Transmisión térmica elevada.</li> <li>- Uniones por soldadura utilizando aleaciones metálicas</li> <li>- Incompatibilidad con otras tuberías metálicas</li> <li>- Corrosión galvánica</li> </ul>
<b>Polietileno</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Coeficiente bajo de transmisión térmica</li> <li>- Uniones termo fusión</li> <li>- Elasticidad mecánica y compatibilidad con metales</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Coeficiente de dilatación elevado</li> <li>- Coste elevado</li> <li>- Necesidad de herramientas específicas</li> </ul>

Fuente: Elaboración propia

Para nuestro circuito primario elegiremos tuberías de cobre debido a su bajo costo y grandes prestaciones.

Una vez elegido el material que se utilizará, el único parámetro por definir será su diámetro interior. Parámetros a seguir para el cálculo:

- La tubería seleccionada no podrá superar una pérdida de carga superior a los: 40 mm de columna de agua por metro.
- La velocidad del fluido no puede ser superior a 1,5 m/s., ya que provocaría ruido.

El diámetro mínimo interior será:

$$D = \sqrt{\frac{4 * Q}{\pi * v}}$$

Donde:

**D:** Diámetro mínimo interior de tubería (metros)

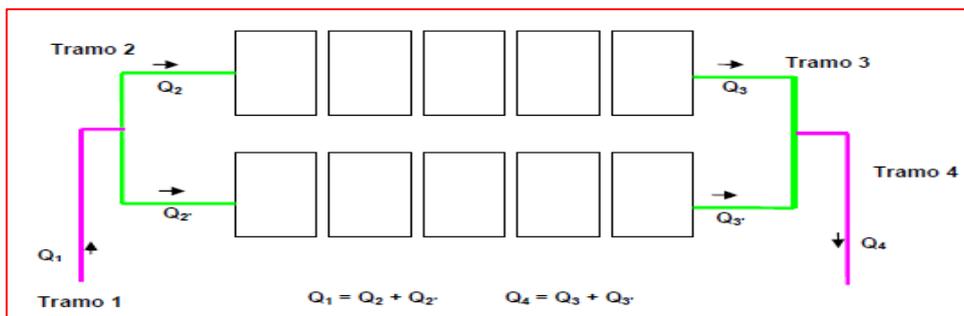
**Q:** caudal (m<sup>3</sup>/s)

**v:** Velocidad del fluido (m/s): 1.5 m/s

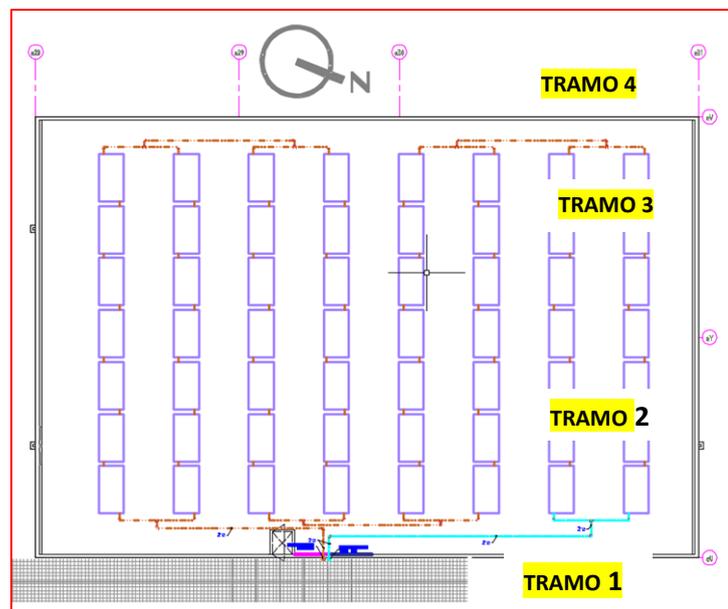
El caudal de nuestro captador esta entre 30 y 90 l/h, la recomendación del fabricante es de:

90 l/h por captador

Para el estudio del circuito primario haremos una distinción de tramos debido a que el caudal de fluido caloportador que circula no será el mismo. Distinguiremos entre cuatro grandes bloques principales, por una parte los tramos Q1 y Q4, serán los tramos de entrada y salida de agua entre dos baterías de captadores en paralelo, y por otra parte tendremos los tramos Q2 y Q3 que son los tramos entre baterías de captadores, debido a que el caudal que circula por estos tramos es el mismo.



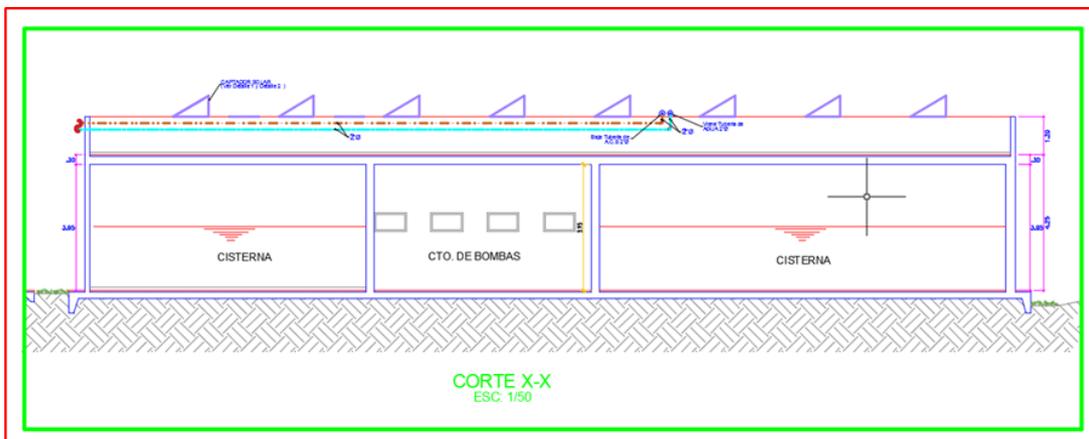
**Figura 17.** Modelo de instalación por baterías de la red de la instalación solar. Fuente Esquemática



**Figura 18.** Instalación por baterías de captadores solares sobre techo del cuarto de bombas y cisterna, Fuente Esquemática



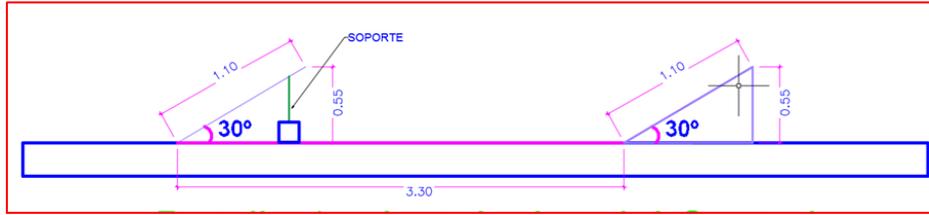
**Figura 19.** *Instalación por baterías de la red de la instalación solar sobre techo*, Fuente, Wolf



**Figura 20.** *Vista de corte de instalación por baterías sobre techo del cuarto de bombas y cisterna.*  
Fuente Elaboración propia.



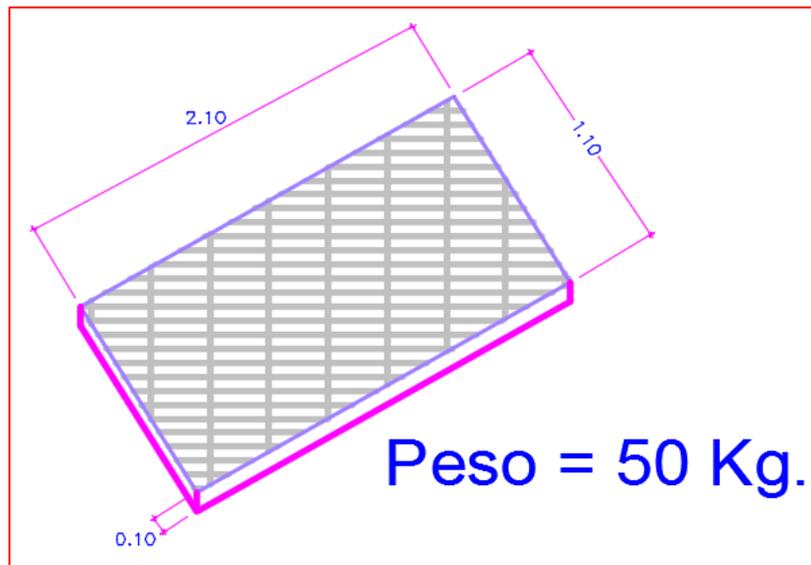
**Figura 21.** *Estructura de soporte*, Fuente: Catalogo Wolf



**Figura 22.** *Instalación del captador solar, Fuente Propia*



**Figura 23.** *Imagen de la base de concreto para la estructura de soporte, Fuente Catalogo Wolf*



**Figura 24.** *Dimensiones del captador solar, Fuente. Catalogo Wolf*

**Tabla 16.**  
*Tuberías de Cobre: Dimensiones y Características*

Medida nominal	Diámetro exterior	Diámetro interno			Espesor de pared			Peso por tramo de 6.10 mts			Presión máxima		
		M	L	K	M	L	K	M	L	K	M	L	K
1/4"	0.375"	0.324"	0.314"	0.276"	0.025"	0.030"	0.049"	2.132 lb	2.524 lb	5.385 lb	6,133 lb/pulg <sup>2</sup>	7,200 lb/pulg <sup>2</sup>	8,820 lb/pulg <sup>2</sup>
6.35 mm	9.525 mm	8.255 mm	8.001 mm	7.035 mm	0.635 mm	0.762 mm	1.245 mm	0.968 kg	1.146 kg	2.445 kg	431.15 kg/cm <sup>2</sup>	506.16 kg/cm <sup>2</sup>	620.04 kg/cm <sup>2</sup>
3/8"	0.500"	0.449"	0.429"	0.401"	0.025"	0.035"	0.049"	2.903 lb	3.965 lb	6.890 lb	4,500 lb/pulg <sup>2</sup>	6,300 lb/pulg <sup>2</sup>	7,056 lb/pulg <sup>2</sup>
9.50 mm	12.700 mm	11.43 mm	10.922 mm	10.21 mm	0.635 mm	0.889 mm	1.245 mm	1.318 kg	1.800 kg	3.128 kg	316.35 kg/cm <sup>2</sup>	442.89 kg/cm <sup>2</sup>	496.03 kg/cm <sup>2</sup>
1/2"	0.625"	0.572"	0.544"	0.494"	0.028"	0.040"	0.065"	4.083 lb	5.705 lb	12.813 lb	4,032 lb/pulg <sup>2</sup>	5,760 lb/pulg <sup>2</sup>	6,685 lb/pulg <sup>2</sup>
12.7 mm	15.875 mm	14.453 mm	13.843 mm	12.573 mm	0.711 mm	1.016 mm	1.651 mm	1.854 kg	2.590 kg	5.817 kg	283.45 kg/cm <sup>2</sup>	404.92 kg/cm <sup>2</sup>	469.95 kg/cm <sup>2</sup>
3/4"	0.875"	0.811"	0.784"	0.744"	0.032"	0.045"	0.065"	6.566 lb	9.110 lb	16.799 lb	3,291 lb/pulg <sup>2</sup>	4,632 lb/pulg <sup>2</sup>	5,200 lb/pulg <sup>2</sup>
19 mm	22.225 mm	20.601 mm	19.939 mm	18.923 mm	0.812 mm	1.143 mm	1.651 mm	2.981 kg	4.136 kg	7.627 kg	231.35 kg/cm <sup>2</sup>	325.62 kg/cm <sup>2</sup>	209.00 kg/cm <sup>2</sup>
1"	1.125"	1.054"	1.024"	0.994"	0.035"	0.050"	0.065"	9.310 lb	13.114 lb	20.824 lb	2,800 lb/pulg <sup>2</sup>	4,000 lb/pulg <sup>2</sup>	4,260 lb/pulg <sup>2</sup>
25 mm	28.575 mm	26.797 mm	26.035 mm	25.273 mm	0.889 mm	1.270 mm	1.651 mm	4.227 kg	5.954 kg	9.454 kg	196.84 kg/cm <sup>2</sup>	281.20 kg/cm <sup>2</sup>	299.47 kg/cm <sup>2</sup>
1 1/4"	1.375"	1.290"	1.264"	1.230"	0.042"	0.055"	0.072"	13.656 lb	17.700 lb	27.231 lb	2,749 lb/pulg <sup>2</sup>	3,600 lb/pulg <sup>2</sup>	3,988 lb/pulg <sup>2</sup>
32 mm	34.925 mm	32.791 mm	32.131 mm	31.267 mm	1.067 mm	1.397 mm	1.829 mm	6.200 kg	8.036 kg	12.363 kg	193.25 kg/cm <sup>2</sup>	253.08 kg/cm <sup>2</sup>	280.35 kg/cm <sup>2</sup>
1 1/2"	1.625"	1.526"	1.504"	1.459"	0.049"	0.060"	0.083"	18.821 lb	22.826 lb	41.249 lb	2,713 lb/pulg <sup>2</sup>	3,323 lb/pulg <sup>2</sup>	3,515 lb/pulg <sup>2</sup>
38 mm	41.275 mm	38.785 mm	38.227 mm	37.059 mm	1.245 mm	1.524 mm	2.108 mm	8.545 kg	10.363 kg	18.727 kg	190.72 kg/cm <sup>2</sup>	233.60 kg/cm <sup>2</sup>	247.10 kg/cm <sup>2</sup>
2"	2.125"	2.016"	1.984"		0.058"	0.070"		29.233 lb	35.042 lb		2,470 lb/pulg <sup>2</sup>	2,965 lb/pulg <sup>2</sup>	
51 mm	53.975 mm	51.029 mm	50.419 mm		1.473 mm	1.778 mm		13.272 kg	15.909 kg		173.65 kg/cm <sup>2</sup>	208.43 kg/cm <sup>2</sup>	
2 1/2"	2.625"	2.494"	2.464"		0.065"	0.080"		40.647 lb	49.658 lb		2,228 lb/pulg <sup>2</sup>	2,742 lb/pulg <sup>2</sup>	
64 mm	66.675 mm	63.373 mm	62.611 mm		1.651 mm	2.032 mm		18.454 kg	22.545 kg		156.62 kg/cm <sup>2</sup>	192.76 kg/cm <sup>2</sup>	
3"	3.125"	2.976"	2.944"		0.072"	0.090"		53.663 lb	66.645 lb		2,073 lb/pulg <sup>2</sup>	2,592 lb/pulg <sup>2</sup>	
76 mm	79.375 mm	75.597 mm	74.803 mm		1.889 mm	2.286 mm		24.363 kg	30.257 kg		145.73 kg/cm <sup>2</sup>	182.21 kg/cm <sup>2</sup>	
4"	4.125"	3.934"	3.904"		0.095"	0.110"		93.310 lb	107.729 lb		2,072 lb/pulg <sup>2</sup>	2,400 lb/pulg <sup>2</sup>	
102 mm	104.775 mm	99.949 mm	99.187 mm		2.413 mm	2.794 mm		42.363 kg	48.909 kg		145.65 kg/cm <sup>2</sup>	168.72 kg/cm <sup>2</sup>	

Fuente: Catalogo Metico

Cálculo para dimensionamiento de tuberías de cobre tipo "L"

- Tramo 1 y 4:

En estos tramos el caudal circulante será de:

**Tabla 17.**  
*Cálculo de tubería para circuito primario*

CÁLCULO DEL DIÁMETRO DE LA TUBERÍA EN LA RED PRIMARIA (TRAMO 1 y 4)		
CAUDAL	45	litros/h.m2 captador
AREA ÚTIL DEL CAPTADOR	2	m2*captador
CAUDAL POR CAPTADOR	90	litro/hora
CAUDAL POR CAPTADOR	0.000025	m3/s
N° CAPTADORES	56	
CAUDAL CIRCULANTE	0.0014	m3/s
VELOCIDAD DEL FLUIDO	1.5	m/s
DIÁMETRO INTERIOR TUBERÍA DE LA RED PRINCIPAL	0.0345	m
DIÁMETRO INTERIOR MÍNIMO DE TUBERÍA	34.47	mm

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot v}}$$

Fuente: Elaboración propia

Seleccionamos tubería Cu Tipo “L”:

$$D_n = 51 \text{ mm (2")}$$

$$D_e = 54.98 \text{ mm}$$

$$D_i = 50.42 \text{ mm}$$

$$\text{Espesor de pared} = 1.78 \text{ mm}$$

Tramos 2 y 3:

En estos tramos el caudal circulante será de:

**Tabla 18.**

*Cálculo de tubería de interconexión de baterías en paralelo*

CÁLCULO DEL DIÁMETRO DE LA TUBERÍA EN LA RED PRIMARIA (TRAMO 2 y 3)		
CAUDAL	45	litros/h.m2 captador
AREA ÚTIL DEL CAPTADOR	2	m2*captador
CAUDAL POR CAPTADOR	90	litro/hora
CAUDAL POR CAPTADOR	0.000025	m3/s
N° CAPTADORES	28	
CAUDAL CIRCULANTE	0.0007	m3/s
VELOCIDAD DEL FLUIDO	1.5	m/s
DIÁMETRO INTERIOR TUBERÍA DE LA RED PRINCIPAL	0.0244	m
DIÁMETRO INTERIOR MÍNIMO DE TUBERÍA	24.38	mm
$D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot v}}$		

Fuente: Elaboración Propia

Seleccionamos tubería Cu tipo “L”:

$$D_n = 32 \text{ mm (1.1/4")}$$

$$D_i = 32.131 \text{ mm}$$

$$D_e = 34.93 \text{ mm}$$

$$\text{Espesor de pared} = 1.397 \text{ mm}$$

Normalmente los diámetros obtenidos no corresponden con los normalizados por los fabricantes, por lo tanto será necesario consultar en la Tabla del cálculo de tubería de interconexión de baterías en paralelo donde se muestran los diámetros nominales estándares para tuberías de cobre.

### 3.2.19. Verificación del dimensionamiento de tuberías

Con el objetivo de cumplir con las condiciones de pérdida de carga y velocidad establecidas será necesario verificar.

La velocidad de fluido para el caudal de cada tramo y con la correspondiente tubería será calculada con la expresión:

$$Q = v * S$$

Dónde:

**Q:** Caudal (m<sup>3</sup>/s)

**V:** Velocidad del líquido caloportador (m/s)

**S:** Sección de la tubería (m<sup>2</sup>)

Comprobación de diámetros de tuberías:

Tramo 1 y 4:

**Tabla 19.**  
*Cálculos de velocidad por tramos 1 y 2*

<b>CÁLCULO DE LA VELOCIDAD CON EL NUEVO DIÁMETRO (Tramo 1 y 4)</b>		
<b>CAUDAL</b>	0.0014	m <sup>3</sup> /s
<b>DIÁMETRO INTERIOR DE TUBERIA</b>	50.42	mm
	0.050	m
<b>SECCIÓN DE TUBERÍA</b>	0.002	m <sup>2</sup>
<b>VELOCIDAD DEL FLUIDO</b>	0.70	m/s
<b><math>Q = v * S</math></b>		

Fuente: Elaboración Propia

$$v = 0.70 \leq 1.5 \text{ m/s}$$

Tramo 2 y 3:

**Tabla 20.**  
*Cálculos de velocidad por tramos 2 y 3*

<b>CÁLCULO DE LA VELOCIDAD CON EL NUEVO DIÁMETRO (Tramo 2 y 3)</b>		
<b>CAUDAL</b>	0.0007	m <sup>3</sup> /s
<b>DIÁMETRO INTERIOR DE TUBERIA</b>	32.131	mm
	0.032	m
<b>SECCIÓN DE TUBERÍA</b>	0.00081	m <sup>2</sup>
<b>VELOCIDAD DEL FLUIDO</b>	0.86	m/s
<b><math>Q = v * S</math></b>		

Fuente: Elaboración Propia

$$v = 0.86 \leq 1.5 \text{ m/s}$$

La pérdida de carga unitaria la obtenemos a partir de los datos del caudal de cada tramo y el diámetro interior de tubería escogido en el ábaco para tubería lisa para un fluido a 60°C.

- Tramo 1 y 4: Diámetro interior = 52 mm (2")  
Velocidad = 0.70 m/s  
Pérdida de carga = 15 mm C.A/m (ábaco)
- Tramo 2 y 3: Diámetro interior = 34 mm (1.1/4")  
Velocidad = 0.86 m/s  
Pérdida de carga = 25 mm C.A/m (ábaco)

En ambos casos cumplimos con los requisitos de velocidad inferior a 1.5 m/s y pérdida de carga inferior a 40 mm c.a.

Para el siguiente cálculo utilizaremos la herramienta de un Abaco para hallar los datos deseados, a través del cual utilizaremos una recta para poder dimensionar y hallar el resto de datos que nos pueda proporcionar el Abaco.

El ábaco nos permite medir las pérdidas en las tuberías, el cálculo del diámetro tanto en mm como en pulgadas de cobre o hierro, como ya habíamos mencionado utilizaremos el cobre como metal para este proyecto.

El ábaco también nos brinda la información de que tan ruidoso es el sistema. Se informa que este ábaco es solo para el uso de agua y no de otro componente líquido, con propiedades diferentes.

El ábaco también nos brinda información en metales utilizados, ya sea por cobre o hierro fundido, para nuestro caso del proyecto, utilizaremos el cobre como metal transportador de agua.

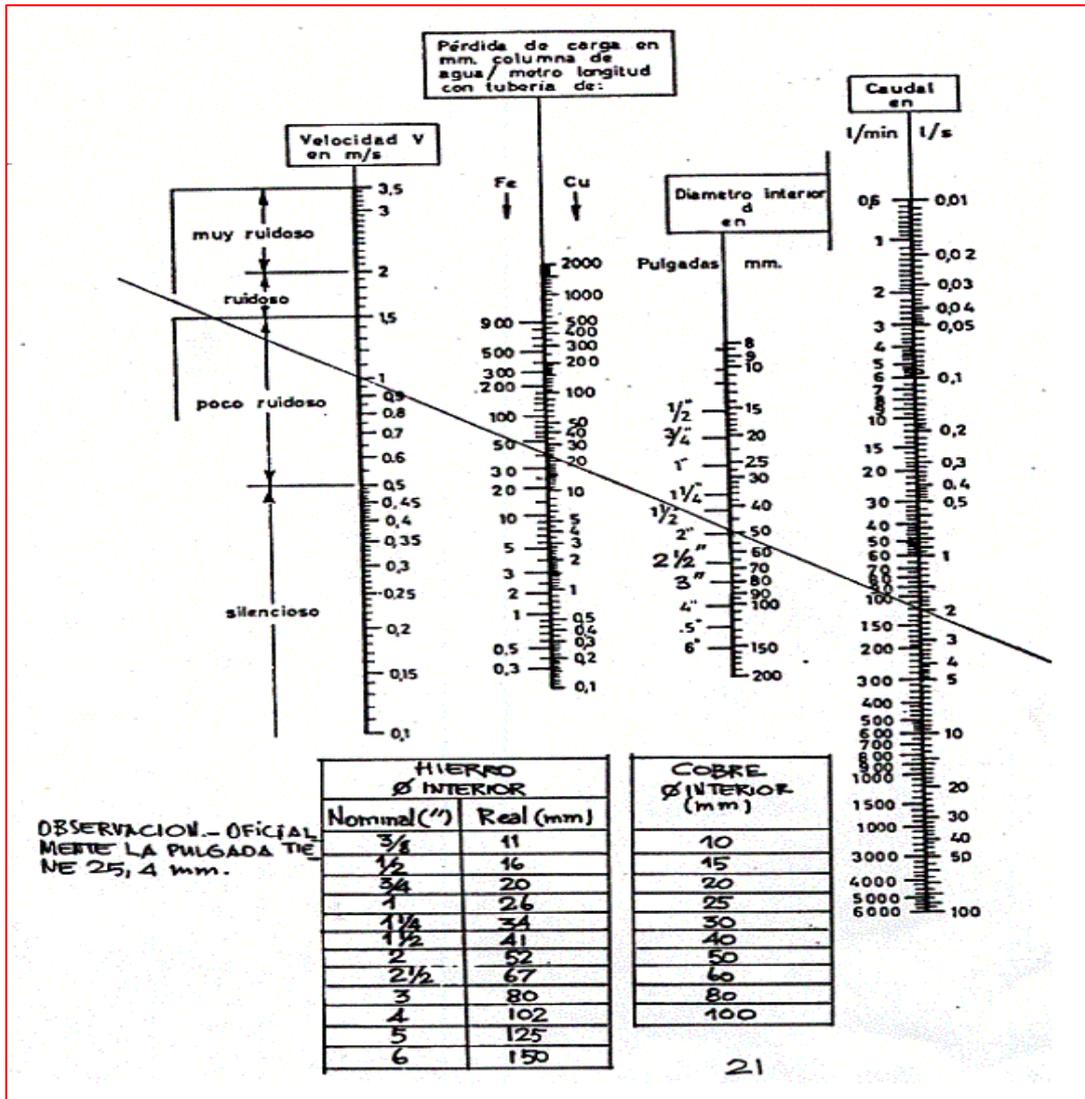


Figura 25. Ábaco para el cálculo de la pérdida de carga (mm C.A) Fuente, Instalaciones sanitarias de edificaciones, Luis Castillo Anselmi (2012)

Una vez obtenidos los datos de la velocidad y del caudal podemos calcular las pérdidas de carga de todo el circuito primario.

Para ello es necesario conocer la longitud equivalente de los accesorios del circuito primario.

Empleando la siguiente expresión se calculará la longitud equivalente que genera cada elemento de la instalación dependiendo de su diámetro:

$$L_{eq} = \frac{9.1 * K * D^{1.25}}{\left(\frac{\epsilon + 0.34}{100}\right)^{0.25}}$$

Dónde:

$L_{eq}$ : Longitud equivalente del accesorio (m)

$K$ : Factor que depende del accesorio (adimensional)

$D$ : Diámetro (m)

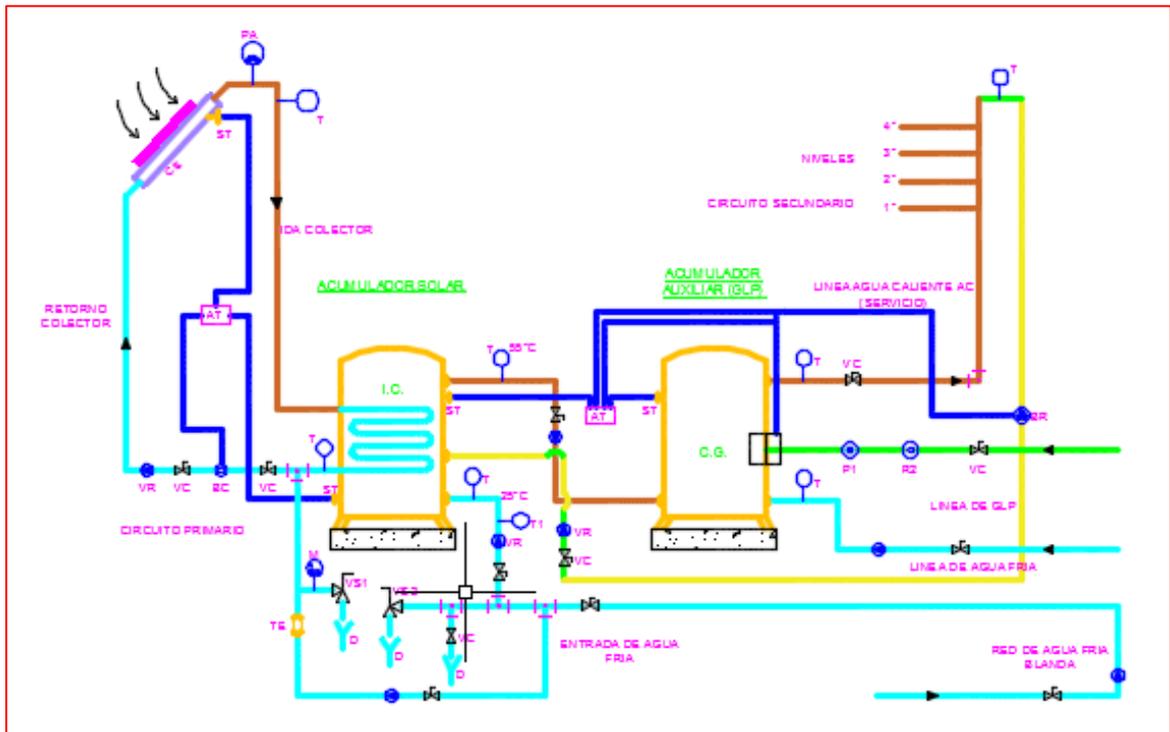
$\epsilon$ : Rugosidad de la tubería ( $\epsilon_{\text{cobre}} = 0,0015 \text{ mm}$ )

Se obtiene la siguiente Tabla 19:

**Tabla 21.**  
*Longitudes equivalentes según factor pérdida de carga*

CÁLCULO DE LONGITUD EQUIVALENTE POR ACCESORIOS																															
K			0.75		1.2		0.5		3.8		1.5		1		0.5		1		0.5		TOTAL										
DI	LONGITUD	PÉRDIDA	CODDO		T RECTA		T ANGULAR		VÁLV. CORTE		VÁLV. CHECK		VÁLV. 3 VÍAS		REDUCCIÓN		ENTRADA		SALIDA		PÉRDIDAS										
mm	m	mmCA/m	CANT.	Leq. (PSI)	CANT.	Leq.	CANT.	Leq.	CANT.	Leq.	CANT.	Leq.	CANT.	Leq.	CANT.	Leq.	CANT.	Leq.	CANT.	Leq.	(PSI)										
52	130	0.15	0.028	24	1.00	23.89	4	1.59	6.37	4	0.66	2.65	16	5.04	80.70	8	1.99	15.93	8	1.33	10.62	12	0.66	7.96	4	1.33	5.31	4	0.66	2.65	156.1
43	90	0.25	0.032	40	0.79	31.40		1.26	0.00		0.52	0.00	16	3.98	63.64		1.57	0.00		1.05	0.00	4	0.52	2.09		1.05	0.00	0.52	0.00	97.2	
$L_{eq} = \frac{9.1 \cdot K \cdot D^{3.25}}{\left(\frac{\epsilon + 0.34}{100}\right)^{1.45}}$																					253.3										

Fuente: Elaboración Propia



**Figura 26.** Esquema de principio de Instalación de captador solar, acumulador solar y acumulador de GLP en Sala de Fuerza. Fuente Elaboración propia

LEYENDA	
SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN
	CS: COLECTOR SOLAR
	ST: SONOR ELECTRÓNICA DE TEMPERATURA
	PA: PURGADOR AUTOMÁTICO
	AT: REGULADOR TÉRMICO DIFERENCIAL
	VC: VÁLVULA DE CORTE
	VR: VÁLVULA DE RETENCIÓN
	M: MANÓMETRO
	V51: VÁLVULA DE SEGURIDAD (Rigidez 0 85.34 PSI)
	V52: VÁLVULA DE SEGURIDAD (Rigidez 0 42.67 PSI)
	TE: TANQUE DE EXPANSIÓN CERRADO
	T: TERMÓMETRO
	P1: MANÓMETRO LINEA DE GLP
	R2: REGULADOR LINEA DE GLP
	DIRECCION DEL FLUJO
	EC: ELECTROBOMBA DE CIRCULACIÓN A.F.
	ER: ELECTROBOMBA DE RECIRCULACIÓN A.C.
	D: DRENAJE
	VT: VÁLVULA TERMOSTÁTICA
	CG: CALENTADOR A GLP
	ES: ELECTROBOMBA DE SUMINISTRO
	IC: INTERCAMBIADOR DE CALOR
	AS: ACUMULADOR SOLAR
	AA: ACUMULADOR AUXILIAR (GLP)

Figura 27. Leyenda de símbolos de instalación del calentador solar. Fuente Elaboración propia

### 3.2.20. Cálculo de la bomba de circulación.

En el proyecto la ubicación de los captadores está en cotas superiores a la del acumulador, como en el caso que estamos tratando donde las placas solares se encuentran sobre el techo del cuarto de bombas y cisternas y el acumulador está ubicado en la sala de fuerza.

En estas situaciones la circulación del fluido caloportador entre los captadores y el acumulador no puede realizarse mediante convención natural, ya que la parte más caliente (captador soleado) está situado en el punto más alto de la instalación y no hay ninguna fuerza natural que haga subir el agua fría del acumulador que se encuentra en el punto más bajo de la instalación.

La elección de la bomba nos viene impuesta por el caudal que circula y la altura manométrica que ha de superar.

$$HP = \frac{Q * ADT}{\eta * 3950}$$

Para el cálculo de la bomba más adecuada para nuestra instalación se realiza un estudio de pérdida de carga del circuito. Este dato junto con el caudal que ha de circular por los captadores nos ayudará a dimensionar la bomba.

Las bombas se seleccionan de forma que el caudal y la pérdida de carga se encuentren dentro del rendimiento óptimo. Para nuestro caso además deberán de soportar temperaturas de trabajo alrededor de 100°C.

Para el dimensionamiento de tubería, se recomienda que el circuito hidráulico, el fluido circule con una velocidad inferior a 1.5 m/s y disponer de una pérdida de carga inferior a los 40 mm.c.a/m.

A la hora de calcular la pérdida de carga de los captadores solares, se ha de realizarla suma de caudal para obtener la pérdida de carga de una batería, debido a que éstos se encuentran conectados en paralelo.

Según recomendaciones del fabricante el caudal circulante por cada captador debe ser de 90 l/h, y en la batería sumaremos los caudales, obteniendo como caudal total del sistema será: 7 captadores/batería x 90 l/h\*captador x 8 baterías = 5040 l/h.

Con lo cual, las pérdidas de carga de los 56 captadores según la gráfica obtenida del fabricante será para el conjunto de 8 baterías.

**Tabla 22.**

*Cálculo de la potencia de la electrobomba.*

<b>CÁLCULO DE ELECTROBOMBA PARA AGUA CALIENTE SOLAR</b>		
CAUDAL	5040	l/h
	22.19	GPM
PÉRDIDA DE PRESION	253.3	PSI
EFICIENCIA	0.5	
HP	2.85	
<b><math>HP = \frac{Q * ADT}{\eta * 3950}</math></b>		

Fuente: Elaboración propia

Según las recomendaciones de los fabricantes, para instalaciones con superficies superiores a 50 m<sup>2</sup> se recomiendan la instalación de 2 bombas, en nuestro caso superamos estos metros, instalaremos dos bombas en paralelo, una de reserva, con un funcionamiento alternativo de forma automática, como elemento de seguridad, Instalación fácil y rápida, Velocidad variable, adecuada para circulación en sistemas solares.

### 3.2.21. Vaso o Tanque de expansión.

El vaso de expansión es uno de los elementos que asegura el correcto funcionamiento de la instalación.



**Figura 28.** Vaso de expansión en una instalación solar térmica, Fuente: Mecalia energy sistem

Es un depósito que contrarrestar las variaciones de volumen y presión que se produce en el circuito cerrado, cuando un fluido aumenta o disminuye de temperatura.

Utilizado en instalaciones con captadores solares, el vaso de expansión de membrana desempeña tres funciones:

- Absorción del líquido procedente de la expansión térmica del circuito solar
- Absorción del líquido de alimentación
- Absorción del vapor formado en el captador

Cuando un fluido circula por un circuito cerrado aumentando su temperatura, éste se dilata, aumentando de volumen y llenando el vaso de expansión.

Cuando la temperatura disminuye, el fluido se contrae saliendo del vaso de expansión para regresar al circuito.

Básicamente existen dos tipos de vasos de expansión:

- Vasos de expansión abiertos.
- Vasos de expansión cerrados.

En nuestro caso escogeremos la segunda opción, ya que la primera está en desuso cada vez más por las siguientes razones:

- Presenta pérdidas por evaporación del fluido del circuito.
- Tiene problemas de corrosión de las tuberías al estar en contacto con el oxígeno de la atmósfera.

Además la segunda opción tiene como ventajas que:

- Fácil montaje.
- No es necesario aislarlos
- Mantenimiento económico.

- Material de serie y bajo coste.
- Evitaremos pérdidas de calor del fluido.

Para calcular el volumen de capacidad del vaso hay que tener en cuenta que el fluido pueda evaporarse, para ello realizaremos un dimensionado especial del volumen. El vaso deberá ser capaz de absorber el volumen de toda la instalación más un 10%.

Volumen del Vaso de Expansión:

$$V = V_T * (0.2 + (0.01 * h))$$

Siendo:

**V:** Capacidad del vaso de expansión (litros)

**V<sub>T</sub>:** Capacidad total del circuito primario (litros)

**h:** Diferencia de altura entre el punto más alto de captadores y el depósito de expansión (metros)

Volumen de Tuberías:

$$V_{tub} = \pi * r^2 * l$$

**Tabla 23.**  
Cálculo volumen tuberías

CÁLCULO VOLUMEN DE TUBERÍAS		
Di (mm)	Longitud (m)	VOLUMEN TOTAL (litros)
52	130	275.94
43	90	130.63
<b><math>V_{tub} = \pi * r^2 * l</math></b>		<b>406.58</b>

Fuente: Elaboración Propia

Volumen de Captadores:

$$V_{captadores} = N^{\circ} \text{ captador} * V_{captador}$$

$$V_{captadores} = 56 \text{ captadores} * 1.7 \text{ litros/captador (Tabla)}$$

$$V_{captadores} = 95.2 \text{ litros}$$

Volumen del Intercambiador:

$$V_{intercambiador} = 2 * 22 \text{ litros} + 1 * 19 \text{ litros} = 63 \text{ litros}$$

$$V_{intercambiadores} = 63 \text{ litros}$$

Volumen Total del circuito primario:

$$V_T = V_{tub} + V_{captadores} + V_{intercambiador}$$

$$V_T = 406.6 + 95.2 + 63 = 565 \text{ litros}$$

Volumen del vaso de expansión:

$$V = V_T(0.2 + 0.1 * h)$$

Siendo:

V: Capacidad del vaso de expansión (litros)

VT: Capacidad Total del Circuito Primario (litros)

h: Diferencia de altura entre el punto más alto de captadores y el depósito de expansión (metros)

$$V = 565 \text{ l} (0.2 + 0.1 * 10 \text{ m})$$

$$V = 678 \text{ litros}$$

Una vez evaluados los diferentes parámetros de los que depende, obtendremos el volumen total del vaso de expansión, aunque se puede observar que el volumen obtenido por cálculo es de aproximadamente 680 litros, en nuestro caso escogeremos el vaso de expansión de capacidad 750 litros.

Teniendo los datos de vaso de expansión, y conociendo las tuberías, es necesario reforzar las tuberías con los aislamientos necesarios para un mejor funcionamiento y para su mayor rendimiento. A continuación, describiremos como utilizaremos este aislamiento.

### 3.2.22. Aislamiento de tuberías.

Para minimizar las pérdidas de energía caloríficas del conjunto de las baterías de los capadores, es conveniente colocar unos aislamientos térmicos a las tuberías del circuito primario.

Estos aislamientos deben cumplir con la norma vigente RITE y en especial con el apéndice I.T-1.2.4.2.1 de espesores mínimos de aislante térmico de redes de tuberías expuestas en la siguientes tablas 24 y 25.

**Tabla 24.**

*Espesor del aislamiento en función del diámetro y la temperatura que discurren por el exterior del edificio*

Espesores mínimos de aislamientos (mm) en tuberías y accesorios que transportan fluidos calientes que discurren por el exterior de edificios			
Diámetro exterior (mm)	Temperatura máxima del fluido (°C)		
	40...60	> 60...100	>100...180
$D \leq 35$	25	25	30
$35 < D \leq 60$	30	30	40
$60 < D \leq 90$	30	30	40
$90 < D \leq 140$	30	40	50
$140 \leq D$	35	40	50

Fuente RITE

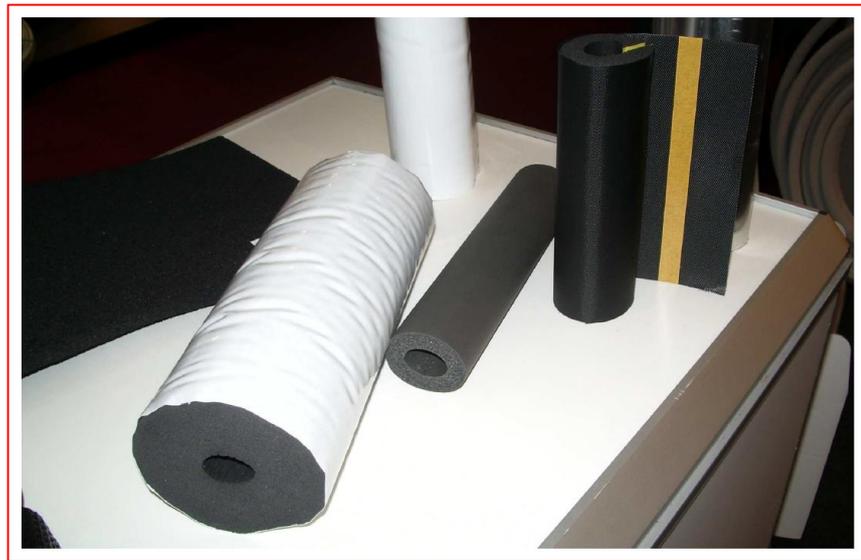
**Tabla 25.**

*Espesor del aislante en función del diámetro y la temperatura que discurren por el interior de la edificación*

Espesores mínimos de aislamiento (mm) de tuberías y accesorios que transportan fluidos calientes que discurren por el exterior de edificios			
Diámetro exterior (mm)	Temperatura máxima del fluido (°C)		
	40...60	> 60...100	>100...180
$D \leq 35$	35	35	40
$35 < D \leq 60$	40	40	50
$60 < D \leq 90$	40	40	50
$90 < D \leq 140$	40	50	60
$140 < D$	45	50	60

Fuente: RITE

Para nuestra instalación que está compuesta de tuberías de diámetro exterior de 52 mm y 34 mm; y para una temperatura comprendida entre los 40 – 60 °C como resultado en de la Tabla 23 obtenemos que nuestro espesor ha de ser de 30 mm y para los tramos de tuberías instaladas en el exterior le sumaremos 10 mm según indicaciones del fabricante y de la del RITE.



**Figura 29.** Aislamiento Armacell , fuente Fira contrumat (2008)

Para ello reforzaremos nuestras tuberías con el aislante ARMACELL escogeremos el modelo Armacell S (HT) para recubrir nuestras tuberías por sus características.

Recubrimiento térmico compuesto de espuma elastotérmica flexible y resistente a los rayos UVA del sol.

Rango de temperatura +150°C / -50°C.

Ensayo envejecimiento acelerado, según norma UNE en ISO 4892/2\_

Buena

### 3.2.23. Sistema de control.

En instalaciones forzadas, es necesario disponer de un sistema de control de los puntos más importantes de diferencias de temperaturas que se produce para así ordenar a las bombas su puesta en marcha o detención de funcionamiento.

Estas lecturas se realizarán a través de la centralita Digisolar de la misma marca que los captadores. Este dispositivo es un termostato electrónico que compara la temperatura de la salida del líquido caloportador del captador con la temperatura del acumulador.



**Figura 30.** Centralita Digisolar Wolf , Fuente: Wolf

Según lo establecido, el sistema de control actuará y estará ajustado de manera que las bombas no estén en funcionamiento cuando la diferencia de temperaturas sea menor a  $2^{\circ}\text{C}$  y no estén paradas cuando la diferencia sea mayor de  $6^{\circ}\text{C}$ . La diferencia de temperatura entre puntos de puesta en marcha y parada del termostato diferencial no será menor que  $2^{\circ}\text{C}$ .

Lo que permite al sistema de control el estado del sistema son las sondas. Normalmente son resistencias que varían su valor con una relación inversa a la temperatura. El termostato compara estos datos y cuando la diferencia es igual o superior a un valor prefijado, el aparato da la orden de puesta en marcha al cuadro de maniobra de las bombas.

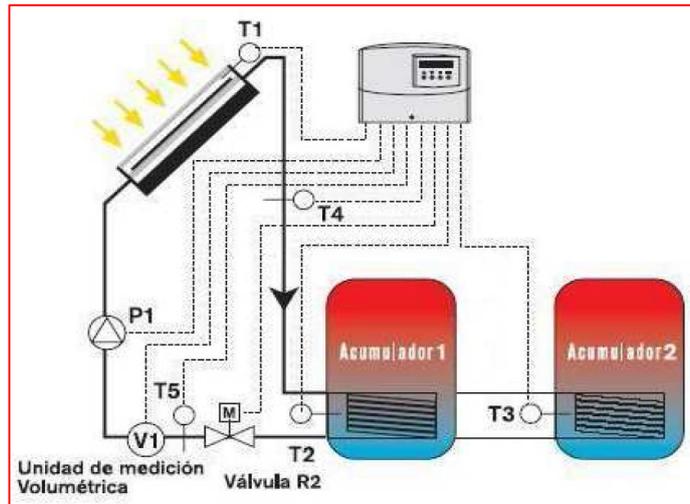


Figura 31. Esquema de un sistema de control, Fuente: Wolf

La ubicación de las sondas para el control de las temperaturas será:

- T1: En la última batería de captadores.
- T4: En la tubería de retorno principal del campo de solar.
- T2 y T3: En la parte baja de los acumuladores.
- T5: Antes de llegar a la bomba.

Además con el dispositivo de control mediremos también:

- P1: Presión de la bomba.
- V1: Caudal circulante.
- M: Control de la válvula anti retorno.

El cuadro de control se dispondrá dentro de la sala de calderas. A continuación un resumen de los parámetros que condicionarán nuestra instalación:

- $T4 \geq 20^{\circ}\text{C}$  Bomba On
- $T4 < 4^{\circ}\text{C}$  Bomba On
- $(T4 - T3) > 6^{\circ}\text{C}$  Bomba Off
- $(T4 - T3) < 2^{\circ}\text{C}$  Bomba Off

El sistema de control eléctrico debe cumplir con el Código Nacional de Electricidad (RNE-Utilización).

### 3.3. Revisión y consolidación de resultados:

#### 3.3.1. Parámetros de combustión del GLP y su impacto al medio ambiente

Las instalaciones tradicionales o convencionales para el calentamiento del agua son realizadas por calderas o calentadores a Gas, produciendo en su combustión hidrocarburos como el CO<sub>2</sub> que son expulsados al ambiente.

Los hidrocarburos poseen una problemática, siendo un recurso de presencia limitada en nuestro planeta, hace una producción de CO<sub>2</sub> que afecta al cambio climático. El CO<sub>2</sub>, es el principal causante del llamado efecto invernadero.

El esfuerzo más importante para el Perú y lograr cumplir con Kioto deberá de hacer en el periodo 2008-2016, al final del cual las emisiones no deberán superar en más del 24% las emitidas en el año 1990. A continuación realizaremos un estudio de las emisiones de CO<sub>2</sub> que se producirían con la instalación solar térmica y comparar con las que se producirían con el uso de GLP en el uso de A.C.S.

##### 3.3.1.1. Emisiones de CO<sub>2</sub>

Para conocer bien los parámetros de CO<sub>2</sub> debemos conocer algunos parámetros de combustión brindado por los calentadores GLP. El calentador de GLP produce gases efecto invernadero en su combustión, estos fueron medidos por el analizador de gases marca Testo 327-1, los cuales indican cantidades aproximadas de gases de combustión.

**Tabla 26.**  
*Parámetros de Combustión del GLP*

<b>PARAMETROS DE COMBUSTION</b>	
Analizador de gases marca TESTO 327-1	
CO2	7.68%
O2	7.2
Exceso de aire	46.6
CO	98
Temperatura chimenea	174.4°C
Eficiencia	75%

Fuente: Inpas

En nuestro sistema para calentar agua sanitaria, poseemos una cantidad de emisiones de CO<sub>2</sub>, las cuales podemos comparar entre las tecnologías las cantidades en Kg CO<sub>2</sub> que produce usar el sistema de GLP, el sistema eléctrico y el sistema solar de colector y ver su producción anual. Las estimaciones de emisiones de CO<sub>2</sub> están medidas por la producción de agua caliente sanitaria en relación a los KWh necesarios para calentar agua.

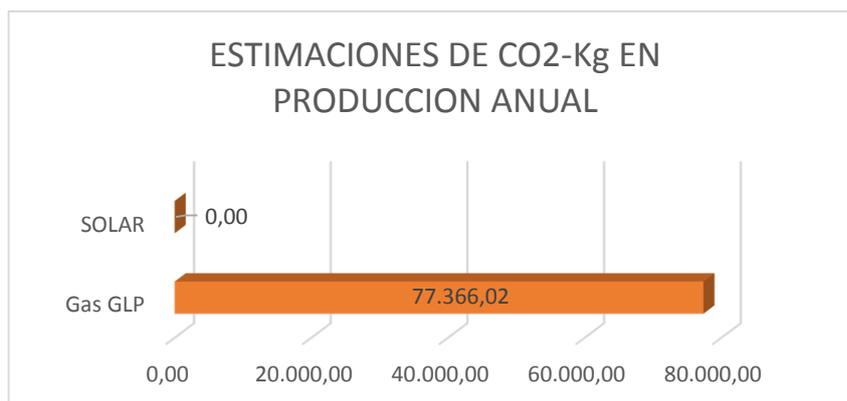
En las estimaciones en que se realizó el cálculo basado en 1KWh y la cantidad de Kg de CO<sub>2</sub> que produce hacia el medio ambiente durante la utilización para calentar agua sanitaria.

**Tabla 27.**  
*Estimaciones de emisiones de CO<sub>2</sub> en el ambiente*

<b>ESTIMACION DE EMISIONES DE CO2</b>					
<b>Elemento</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Emite CO2-Kg</b>	<b>KWh</b>	<b>Kg-CO2</b>	<b>AÑO Kg-CO2</b>
Electricidad	1Kwh	0.545	111,648.00	60,848.16	21,905,337.60
Gas GLP	1kwh	0.2	1,074.53	214.91	77,366.02
SOLAR	No emite CO2 al ambiente en utilización	0.00	0.00	0.00	0.00

Fuente: Plan CC

En el grafico podemos apreciar un comparativo entre las emisiones producidas por GLP, por la energía solar durante la producción de A.C.S.



**Figura 32.** Producción anual de CO<sub>2</sub> en Kg, Fuente: Elaboración Propia

Las estimaciones de CO<sub>2</sub> nos brindan información anual de producción emitida al aire producto del GLP. En el Perú, nuestras emisiones vienen creciendo de manera sostenida. Actividades productivas como la agricultura, ganadería, industria manufacturera, construcción, producción de minerales y metales, que aportan al crecimiento de nuestro PBI, aportan de igual modo a aumentar las emisiones de GEI (Gases Efecto Invernadero). El Perú debe orientarse hacia un crecimiento “más limpio”, que genere menos emisiones y no comprometa el desarrollo económico y social, resguardando al mismo tiempo su competitividad.

**Tabla 28.**

*Plan ante el cambio climático 2009 – Ministerio de Ambiente*

RADIOGRAFIA DE GEI PERU-2009	
EMISIONES PERUANAS DE GEI	MT CO2 eq
Comercial / Residencial Publico	3.2
Industria manufacturera y construcción	6.1
Industria Química	0.007
Emisiones fugitivas de combustible	1.2
Productos minerales	3.5
Minería	1.9
Pesquería	1.2
Residuos solidos	8.6
Industrias de Energía	10.4
Producción de metal	1.7
Transporte	14.9

Fuente: Planificación ante el Cambio Climático

En la tabla 27 observamos las MT de CO<sub>2</sub> producidas en el Perú en el año 2009 las cuales están distribuidas en los diversos sectores.

### 3.3.2. Costos en producción de agua caliente sanitaria:

La producción de agua caliente sanitaria se genera por una cantidad de energía, analizando los costos por producción en los sistemas de GLP y Solar, también se comparó con el sistema eléctrico. Los costos en generación de A.C.S. para el hospital se reflejan en producción por día, y en producción anual.

Para poder realizar los costos por producción A.C.S. se debe conocer la energía producida en cada sistema, para lo cual nos apoyamos de las tablas de costos de GLP, eléctrico y tecnología solar, las cuales no brindan los datos tales como la energía requerida para el calentamiento en un día, y realizar el costo de producción según los precios de costo unitario, así realizar los cálculos mensuales y anuales. Los sistemas para nuestra investigación son el GLP y la Energía Solar, alternativamente se ha puesto el sistema eléctrico, pero sabemos que la producción por sistema eléctrico será muy costoso mayor.

**Tabla 29.**  
*Costos de GLP para calentar agua sanitaria*

<b>COSTO DE UN SISTEMA A GLP</b>	
<b>GAS LICUADO DE PETROLEO</b>	
Energía requerida para el calentamiento	1720.12 MJ
Poder calorífico del combustible convencional	101.57 MJ/galón
Eficiencia del funcionamiento	75%
Cantidad del GLP requerido	17.30 galones
Costo del GLP	S/.9.11 x galón
<b>COSTO POR CALENTAMIENTO DE AGUA</b>	
Costo diario para calentar el volumen de agua	S/. 1,238.96
Costo mensual para calentar el volumen de agua	S/. 37 168.80
Costo Anua para calentar el volumen de agua	S/.446 025.60

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 30.**  
*Costos de Colector Solar para calentar agua sanitaria*

<b>COSTO DE LA TECNOLOGIA SOLAR</b>	
Total de la inversión (costo del producto+ instalación)	S/. 1,215,768.75
Consumo de energía eléctrica (bombeo de agua)	4.24 KW/H/dia
Costo de la energía eléctrica	0.50 kWh
Costo diario por bombeo	S/. 2.12
Costo mensual por bombeo	S/. 63.60
Costo anual por bombeo	S/. 763.20
Vida Útil	15 Años
Mantenimiento Anual	5% Inversion
Volumen de agua para calentar	23142 L
Energía Necesaria para calentar	1116.48KWh

Fuente: Elaboración propia

Se realizó una proyección en 15 años de utilización del servicio con GLP y en sistema solar, se compara también con un sistema eléctrico como referencia, y se estimaron los costos con un PBI del 6.5% para el sistema eléctrico y el 4.5% para el sistema de GLP según los datos brindados del Plan económico proyectado. La energía solar por captadores y acumuladores se realizó en costo inicial por instalación y se proyectó en costos de mantenimiento, ya que los costos son generados durante su vida útil.

En la proyección de 15 años los costos de producción son solo de utilización y mantenimientos, por el consumo de GLP y de energía eléctrica. La demanda para producir la cantidad de litros por día que genera un costo en GLP y energía eléctrica, están relacionadas con las emisiones de CO<sub>2</sub> para el caso del GLP que es nuestra materia de estudio en comparación con los sistemas de producción por colectores solares.

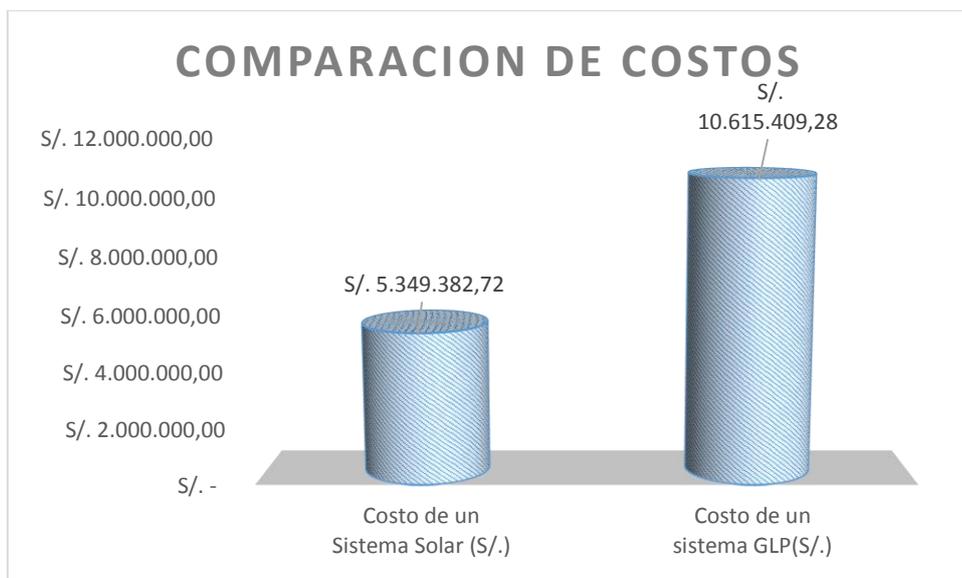
**Tabla 31.**  
Comparativo de costos en proyección de 15 años

AÑOS	Costo de un Sistema Solar (S/.)	Costo de un sistema GLP(S/.)
0	1,215,768.80	446,025.60
1	105,366.63	475,017.26
2	129,682.01	504,008.93
3	153,997.38	533,000.59
4	178,312.76	561,992.26
5	202,628.13	590,983.92
6	226,943.51	619,975.58
7	251,258.89	648,967.25
8	275,574.26	677,958.91
9	299,889.64	706,950.58
10	324,205.01	735,942.24
11	348,520.39	764,933.90
12	372,835.77	793,925.57
13	397,151.14	822,917.23
14	421,466.52	851,908.90
15	445,781.89	880,900.56

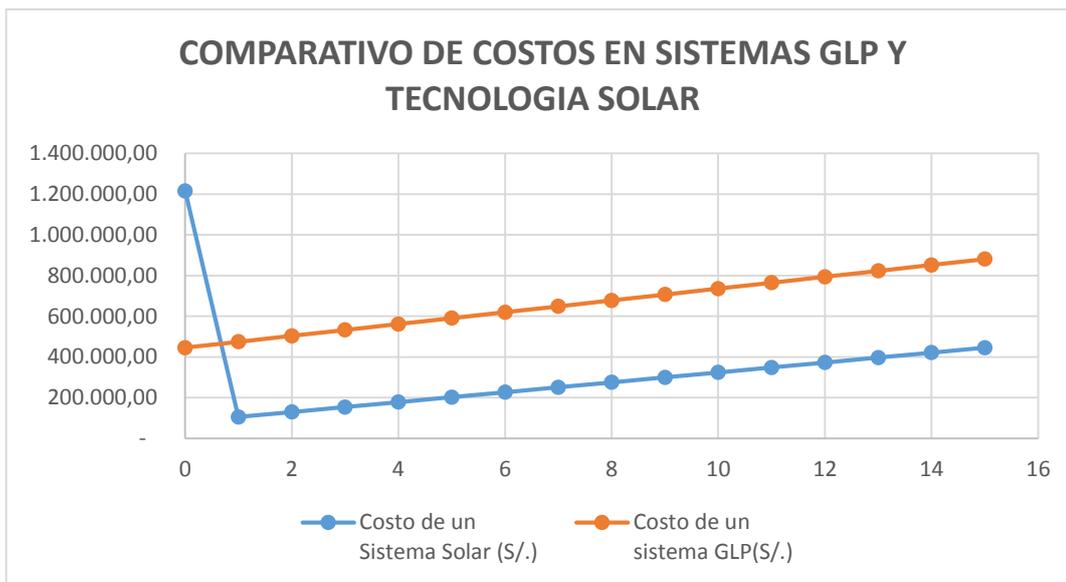
<b>TOTALES</b>	<b>S/. 5,349,382.72</b>	<b>S/. 10,615,409.28</b>
----------------	-------------------------	--------------------------

Fuente: Elaboración Propia

Relacionando los costos de nuestra materia de estudio, el GLP y el sistema por colector solar, observamos en la figura 34, que el sistema Solar demanda menor costo de mantenimiento a lo largo de 15 años proyectados.



**Figura 33.** Comparación de costos. Fuente: Elaboración Propia



**Figura 34.** Comparativo en grafico de costos, Fuente: Elaboración Propia

Los costos son basados en proyecciones desde el 2015 al 2030, siguiendo las tendencias de producción y los mantenimientos periódicos anuales por cada sistema. Los costos en mantenimiento de la energía solar son casi constantes debido a que su sistema es constante y no posee grandes cantidades de consumibles, los cuales no solo generan gastos, sino también contaminan al medio ambiente y son de recurso limitado. El GLP es un consumible que se agota y no regenera ni es vuelto a usar unas ves quemado.

## **CONCLUSIONES:**

Durante el proceso de investigación, el agua caliente sanitaria producida por el calentador solar térmico. Se concluyeron los siguientes puntos:

La relación entre las producciones de Agua Caliente Sanitaria por el calentador GLP y por la tecnología solar son equivalentes de acuerdo al diseño planteado y calculado. Se utilizará el sistema de calentador solar térmico para producir el volumen de 23 metros cúbicos de agua diarios para el abastecimiento.

Por el lugar geográfico, es apto para su utilización en grandes demandas, debido a que la radiación no siempre es constante, se utilizará el diseño como un sistema auxiliar del GLP. El sistema auxiliar será controlado por sensores los cuales mantendrán la temperatura del agua en la producción. Este sistema reducirá las emisiones de CO<sub>2</sub> – eq. Que emana el GLP al combustionar, reduciendo 214 Kg de CO<sub>2</sub> al ambiente.

Las cantidades de energías necesarias para poder producir A.C.S. se relacionan por los KWh que utilizan para realizarla, si bien ambos sistemas se pueden transformar sus unidades, ambas se dan en hora de consumo, para el caso del GLP 477.81KWh en galones combustionado, mientras en los colectores solares la energía requerida es de 6 KWh por metro cuadrado de superficie del colector para su producción de agua caliente sanitaria. Unidades y podemos realizar comparativos energéticos. Los componentes son de control de temperatura de agua proporcionados por Wolf que aportarán al sistema la regulación de agua y temperatura en caso exista variaciones en la radiación.

## **RECOMENDACIONES:**

Se recomienda que para el uso del sistema de agua caliente por colectores solares o por convencionales de GLP, se realice un proceso de filtrado del agua, por sistema de ablandamiento para quitarle su dureza característica del agua, la formación de caliche en las tuberías produce que disminuya la eficiencia del sistema. Así mismo por su producción similar entre los sistemas GLP y térmico solar. Se recomienda utilizar controladores para que el agua calentada sea emitida a la red llegue con las características del diseño.

Como parte final del estudio, se puede recomendar el sistema de colector solar para calentar agua para otras utilidades como es el caso de Calefacción y el uso de Fan Coil, los cuales necesitan agua caliente también para poder producir aire caliente, otros usos pueden ser para algunas lavadoras industriales que requieren agua caliente para sus procesos. Disminuyendo los costos en su producción de agua caliente.

## BIBLIOGRAFIA

### LIBROS

Castillo, L. (2014) *Instalaciones Sanitarias de Edificaciones* (2da edición) Lima, Peru, Editorial Macro,

Cengel, Y.

(2008) *Termodinámica*, (6ta Edición.) Mexica D.F. Editorial Mc Graw Hill.

(2007) *Transferencia de Calor*, (3era Edición) México D.F. Editorial Mc Graw Hill.

Franco, J. (2013) *De lo insostenible a lo sustentable*, México, IEXE editorial

García, F. (2006) *Dimensión económica del desarrollo sostenible*, España, Editorial Club universitario.

García, R. (2012) *Principales obligaciones medioambientales para la pequeña y mediana empresa*. (1era Edición) España: Ed. Club Universitario.

Manrique, J. (2010) *Termodinámica*, (3era Edición): Ed. Alfa omega

Méndez, J.; Cuervo, R. (2013) *Energía Solar Térmica* (1era Edición), Madrid, España, Ed. Fundación Confemetal

Romero, M. (2012) *Energía Solar Térmica* (1era edición) España, Ediciones Ceac.

Rufes, P. (2010) *Energía Solar Térmica técnicas para aprovechamiento* (1era edición) Barcelona España, Ed.. Marcombo

Schaeffer, R. (2003) *Recursos Naturales e Infraestructura*, Santiago de Chile, Cepal.

Style, O. (2012) *Energía Solar Autónoma*, México, Ítaca.

## **MANUALES**

Rheem.(Ed. 2012) *Termotanques a gas Manual de instalación uso y mantenimiento*, Argentina.

Junkers grupo Bosh (Ed. 2006) *Guía del instalador de Agua Caliente Sanitaria*, España.

Wolf (Ed.2014) *Sistemas de Energía Solar Wolf*, España

## **DOCUMENTOS DEL GOBIERNO**

Ministerio de Vivienda (2008) *Reglamento Nacional de Edificaciones* , DS N° 011-2006-VIVIENDA – IS 010 Instalaciones Sanitarias. Perú

Ministerio de Energía y Minas (2006) *Código Nacional de Electricidad*, Tomo V – Utilización, Perú.

Ministerio de Energía y Minas (2018) *Plan Maestro para la electrificación rural con Energías Renovables*. Perú.

Indecopi (2012, 09 Agosto) *Norma Técnica Peruana: NTP 321.123* (3era Edición). Diario el peruano, Perú.

Secretaria de Energía (2013, 22 diciembre) *Norma Oficial Mexicana: NOM.020.SEDG.2003: Calentadores para agua a gas*. Diario Oficial de la Federación.

Norma HE-4 del Comité Técnico España (CTE). España.

Ministerio de Industria, energía y turismo (2014) *Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE)*. España

## **PERIÓDICOS:**

Martcorena, M. (2015, 01 de Junio). *¿Por qué hay tantos problemas con el abastecimiento del GLP?* Diario el comercio. Pág. 31

## **ENLACES WEB:**

Planificación ante el cambio climático (2013) *Actualización del inventario Nacional de gases efecto invernadero al año 2009*, consultado el 28 de Septiembre del 2015 de:

[http://www.planccperu.org/IMG/pdf/actualizacion\\_del\\_inventario\\_29-08-2013.pdf](http://www.planccperu.org/IMG/pdf/actualizacion_del_inventario_29-08-2013.pdf)

Repsa (2015) *Tanque para combustible*, consultado el 21 de agosto del 2015 de:

<http://www.viarural.com.ar/viarural.com.ar/insumosagropecuarios/agricolas/tanques/repsa/datos-dimensionales.htm>

Ministerio de Energía y Minas (2014) *Plan energético Nacional 2014-2015*, consultado el 01 de septiembre del 2015 de:

<http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/2ResEje-2014-2025%20Vf.pdf>

Ministerio de Energía y Minas (2015) *Plan Referencial de Energía al 2015*, consultado el 02 de septiembre del 2015 de:

<http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/Hidrocarburos/balances/energiaintegral/CONSOLIDADO%20FINAL%20PRE.pdf>

Servicio nacional de meteorología e hidrología (2003) *Atlas de Energía Solar del Peru*, consultado el 02 de junio del 2015 de:

[http://www.senamhi.gob.pe/pdf/atlas\\_solar.pdf](http://www.senamhi.gob.pe/pdf/atlas_solar.pdf)

Organismo Supervisor de la inversión en energía y minería (2013) *Anuario Estadístico 2012*, Consultado el 07 de Septiembre del 2015 de:

<http://www2.osinerg.gob.pe/GartCard/GartCard2012-Anuario/archivos/anuario2012.html>

Organismo Supervisor de la inversión en energía y minería (2015) *Cuales son las propiedades del GLP*, consultado el 31 de agosto del 2015 de:

<http://www.osinerg.gob.pe/newweb/pages/GFH/1430.htm>

## **ANEXO**

## Anexo 01. Programa de revisiones visuales

PROGRAMA DE REVISION		MESES DEL AÑO												FRECUENCIA
ITEM	DESCRIPCION	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	PERIODO
<b>1.00</b>	<b>CAPTADORES</b>													
1.01	Limpieza de cristales con agua y productos adecuados	■				■			■				■	03 meses
1.02	Vidrios, inspeccion visual, condensaciones ne horas pico del dia	■				■			■				■	03 meses
1.03	Juntas, inspeccion visual, grietas y deformaciones	■				■			■				■	03 meses
1.04	Absorbedor, Inspeccion visual, corrosion, deformacion fugas	■				■			■				■	03 meses
1.05	Conexiones, Inspeccion visual, perdidas	■				■			■				■	03 meses
1.06	Estructura, Inspeccion visual, indicios de corrosion	■				■			■				■	03 meses
<b>2.00</b>	<b>CIRCUITO PRIMARIO</b>													
2.01	Cañeria, Inspeccion visual, aislamiento y sistema de relleno		■						■					06 meses
2.02	Purgador		■					■					■	03 meses
2.03	Termometro (Diario) Inspeccion visual y toma de datos	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	DIARIO
<b>3.00</b>	<b>CIRCUITO SECUNDARIO</b>													
3.01	Cañeria y aislamiento, Inspeccion visual, ausencia de humedades y perdidas		■						■					06 meses
3.02	Acumulador solar, Purgado de acumulacion de deposito.			■				■					■	03 meses

## Anexo 02. Programa de mantenimiento

PLAN DE MANTENIMIENTO		MESES DEL AÑO												Frecue.
ITEM	DESCRIPCION	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Period
<b>1.00</b>	<b>SISTEMA DE CAPTACION</b>													
1.01	Captadores, Inspección visual		■							■				06 meses
1.02	Juntas de degradación, Inspección visual de grietas y deformaciones		■							■				06 meses
1.03	Cristales, Inspección visual de condensación y suciedad.		■							■				06 meses
1.04	Absorbidor, Inspección visual de corrosión y deformaciones.		■							■				06 meses
1.05	Armazón, Inspección visual de deformación, ventanas de respiración.		■							■				6 meses
1.06	Conexiones, Inspección visual de apariciones de fuga		■							■				6 meses
1.07	Estructuras, Inspección visual de degradación, indicios de corrosión		■							■				6 meses
<b>2.00</b>	<b>SISTEMA DE ACUMULACION</b>													
2.01	Acumulador, Presencia de lodos.				■									12 meses
2.2	Aislamiento, Comprobación de que no hay humedad				■									12 meses
2.03	Intercambiador interno, Control de funcionamiento, eficiencia y prestaciones				■									12 meses
<b>3.00</b>	<b>SISTEMA DE INTERCAMBIO</b>													
3.01	Fluido caloportador, comprobación densidad y PH.							■						12 meses
3.02	Estanqueidad, efectuar pruebas de presión.											■		24 meses
3.03	Aislante exterior, degradación y ausencia de humedad.				■							■		06 meses
3.04	Aislante interior, uniones y ausencia de humedad.											■		12 meses
3.05	Purgador, Control funcional y limpieza				■							■		06 meses
3.06	Bomba, Estanqueidad							■						12 meses
3.07	Vaso de expansión, Comprobación de la presión.						■						■	06 meses
3.08	Sistema de llenado, Control de funcional y actuación.						■						■	06 meses
3.09	Aireador, Control funcional y actuación.						■						■	06 meses
3.10	Válvulas, Control funcional y actuación.									■				12 meses
<b>4.00</b>	<b>SISTEMA ELECTRICO Y DE CONTROL</b>													
4.01	Cuadro eléctrico, Comprobar cierre											■		12 meses
4.02	Control diferencial, Control funcional y actuación.											■		12 meses
4.03	Termostato, Control funcional y actuación											■		12 meses
4.04	Verificación del sistema de medida,											■		12 meses
<b>5.00</b>	<b>SISTEMAS DE ENERGIA AUXILIXAR</b>													
5.01	Sistema auxiliar, control funcional y actuación.									■				12 meses
5.02	Sondas de temperatura, control funcional y actuación.									■				12 meses

## Anexo 03. Presupuesto

<b>Presupuesto de Calentador Solar Térmico</b>			
<b>PRESUPUESTO PARA EL CALENTADOR SOLAR TERMICO</b>			
Descripción	Precio Unitario	Cantidad	Precio Final
<b>SISTEMA DE CAPTACION SOLAR</b>			
Captador Solar S=2.3m2 Wolf	691.00	56.00	38,696.00
Soporte captadores	764.40	56.00	42,806.40
Fluido Caloportador	134.40	8.00	1,075.20
Regulacion solar display	537.60	2.00	1,075.20
Grupo hidráulico	537.60	12.00	6,451.20
Funda Captadores	50.40	12.00	604.80
<b>SISTEMA DE ACUMULACION</b>			
Acumulador ACS 500L	2,734.00	2.00	5,468.00
Vaso de expansión 100L	531.20	4.00	2,124.80
Sonda	4,620.00	4.00	18,480.00
<b>TUBERIAS Y AISLANTES</b>			
Tubería de Cobre 28mm	7.48	100.00	748.00
Tubería de Cobre 28mm	5.83	80.00	466.40
Coquilla Aislante diam 28x30	9.27	90.00	834.30
Coquilla Aislante diam 20x30	8.66	74.00	640.84
<b>VALVULAS Y VARIOS</b>			
válvulas de corte 7/8"	6.82	20.00	136.40
válvulas de corte 1 1/8"	7.61	10.00	76.10
Válvulas check 1 1/8"	10.27	12.00	123.24
Válvula de 3 vías 1 1/8"	157.13	12.00	1,885.56
Reducciones 1 1/8"	7.35	24.00	176.40
Reducciones 7/8"	6.09	24.00	146.16
Rurdador 7/8"	13.18	24.00	316.32
Manómetros	11.75	4.00	47.00
Termómetro	12.93	4.00	51.72
Entrada Deposito 1 1/8"	10.23	4.00	40.92
Salida Deposito 1 1/8"	10.12	4.00	40.48
Codo 1 1/8"	1.42	16.00	22.72
Codo 7/8"	1.22	20.00	24.40
T Recta 1 1/8"	4.48	10.00	44.80
T angular 45 de 1 1/8"	4.48	10.00	44.80
Sistema de llenado Circuito primario	6,989.92	4.00	27,959.68
Reforma de Sala de Calderas	29,799.84	2.00	59,599.68
Dispositivos de control eléctrico +tablero control	12,641.86	2.00	25,283.72
<b>OTROS</b>			
Obras Civiles + Licencia+ transporte+ Elementos de seguridad industrial+ Legalizaciones+ Planos	49,913.87	1.00	49,913.87
<b>TOTAL EURO</b>			285,405.11
<b>Total soles sin IGV</b>			1,030,312.45
<b>Total soles inc IGV (18%)</b>			<b>1,215,768.69</b>

#### Anexo 04. Protocolo de pruebas.

Para el sistema de Calentadores de agua se decidió analizar dos aspectos, el primero la salida de agua caliente a uso por promedio de 12 horas de utilización, y el segundo a las conexiones para saber si existen goteos, esta última en dos etapas, la primera en la instalación de los paneles y la segunda en el acumulador.

- Captador de Energía solar:

Se extrae agua caliente de uno de los captadores:

PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO				
Colector solar	03 horas	06 horas	09 horas	12 horas
Volumen	40 litros	40 litros	40 litros	40 litros
Temperaturas (°C)	48,4	50	62,2	51,2

- Conexiones:

Se ingresa Agua fría a 100 PSI de presión conectando un presurizado de agua a las tuberías para averiguar si existe fugas de agua durante 24 horas, realizando la inspección se tomaron los siguientes datos:

Conexiones de tuberías entre colectores:

PRUEBA HIDROSTATICA									
PRESION	100 PSI	98,5 PSI	96 PSI	96 PSI	96 PSI	96 PSI	96 PSI	96 PSI	96 PSI
Tiempo	1 hora	3 horas	6 horas	9 horas	12 horas	15 horas	18 horas	21 horas	24 horas
Diagnostico	Sin fuga								

Acumulador:

PRUEBA HIDROSTATICA									
PRESION	100 PSI	98,5 PSI	97 PSI	97 PSI	96 PSI				
Tiempo	1 hora	3 horas	6 horas	9 horas	12 horas	15 horas	18 horas	21 horas	24 horas
Diagnostico	Sin fuga								

Resumen de protocolo:

De acuerdo a las pruebas realizadas en el sistema, el equipo queda operativo para el funcionamiento de la red de agua caliente sanitaria para cumplir con los objetivos planteados.

