



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA,**  
**ELECTRÓNICA Y SISTEMAS**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA**  
**ELÉCTRICA**



**“DISEÑO DE SISTEMA TERMOSOLAR DE TORRE CON  
ESPEJOS REFRACTARIOS PARA CALENTAR AGUA PARA UN  
LOCAL DE DUCHAS CALIENTES EN LA PROVINCIA DE SAN  
ROMAN – JULIACA”**

**TESIS**

**PRESENTADA POR:**

**JULIO CESAR QUIÑONEZ MAMANI**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

**PUNO – PERÚ**

**2023**



## Reporte de similitud

NOMBRE DEL TRABAJO

**DISEÑO DE SISTEMA TERMOSOLAR DE TORRE CON ESPEJOS REFRACTARIOS PARA CALENTAR AGUA PARA UN LOCAL DE DUCHAS CALIENTES EN LA PROVINCIA DE SAN ROMAN - JULIACA**

AUTOR

**JULIO CESAR QUIÑONEZ MAMANI**

RECUESTO DE PALABRAS

**24299 Words**

RECUESTO DE CARACTERES

**127692 Characters**

RECUESTO DE PÁGINAS

**133 Pages**

TAMAÑO DEL ARCHIVO

**5.0MB**

FECHA DE ENTREGA

**Jul 21, 2023 11:23 AM GMT-5**

FECHA DEL INFORME

**Jul 21, 2023 11:24 AM GMT-5**

### ● 15% de similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos

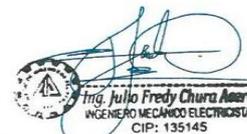
- 15% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 4% Base de datos de trabajos entregados
- 1% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

### ● Excluir del Reporte de Similitud

- Material bibliográfico
- Material citado
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 12 palabras)



Vozto  
Sub Dirección de Investigaciones  
EPINE



Asesor

Resumen



## DEDICATORIA

*A mi pareja Erika Yudit porque siempre estuvo brindándome su cariño, confianza y apoyo incondicional permitiéndome concluir satisfactoriamente esta etapa de mi vida. y a mi pequeño tesorito Yared Josué que es mi motivo para seguir adelante A mis papitos Triunfo y María quienes siempre han estado brindándome su apoyo a si mismo fortalecieron las ganas de seguir adelante.*



## AGRADECIMIENTO

*Agradezco en primer lugar a Dios, por haberme dado la vida y permitirme el haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional. A la Universidad Nacional Del Altiplano Puno, A la escuela profesional de ingeniería mecánica eléctrica mi alma mater, por la formación y la oportunidad que me dio en la culminación de mis estudios, a los docentes que supieron guiarme en la realización de esta tesis, a mis compañeros de ingeniería mecánica eléctrica por compartir momentos de estudio y me impulsan en lograr mi proyecto de vida.*



# ÍNDICE GENERAL

**DEDICATORIA**

**AGRADECIMIENTO**

**ÍNDICE GENERAL**

**ÍNDICE DE FIGURAS**

**ÍNDICE DE TABLAS**

**ÍNDICE DE ACRÓNIMOS**

**RESUMEN** ..... 13

**ABSTRACT**..... 14

## **CAPITULO I**

### **INTRODUCCIÓN**

**1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN** ..... 16

**1.2. JUSTIFICACIÓN**..... 17

**1.3. HIPÓTESIS**..... 18

**1.4. HIPÓTESIS ESPECIFICAS** ..... 19

**1.5. OBJETIVOS GENERAL**..... 19

**1.6. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**..... 19

## **CAPITULO II**

### **REVISIÓN DE LITERATURA**

**2.1. ANTECEDENTES DEL PROYECTO** ..... 20

**2.2. MARCO TEÓRICO** ..... 21

2.2.1. Energía Renovable ..... 21

2.2.1.1. Escenario Actual de las Energías Renovables..... 22

2.2.2. El Sol..... 22

2.2.2.1. Radiación solar ..... 25

2.2.2.2. Tipos de Radiación Solar..... 26

2.2.2.3. Movimiento del sol..... 29

**2.3. HORA SOLAR PICO** ..... 31

2.3.1. Sistemas solares térmicos..... 32

2.3.1.1. Manejo de un Sistema Termo Solar de Torre..... 32

**2.4. TIPOS DE SISTEMAS SOLAR TÉRMICOS** ..... 33

2.4.1. Colector Fresnel ..... 34



2.4.2. Colector Cilindro Parabólico.....	36
2.4.3. Disco parabólico.....	37
2.4.4. Torre Solar .....	39
<b>2.5. COMPONENTES DE LA TORRE SOLAR.....</b>	<b>44</b>
2.5.1. Heliostatos.....	44
2.5.2. Superficie Reflectante .....	45
2.5.3. Estructura del heliostato.....	46
2.5.4. Campo Solar de heliostatos.....	47
2.5.5. Conceptos del Campo Solar.....	48
2.5.6. Receptores de calor .....	49
2.5.7. Torre.....	50
2.5.8. Medio de transferencia de calor .....	51
2.5.9. Almacenamiento .....	52
<b>CAPITULO III</b>	
<b>MATERIALES Y MÉTODOS</b>	
<b>3.1 MATERIALES.....</b>	<b>54</b>
3.1.1 Local de Duchas Calientes .....	54
3.1.2. Orientación e Inclinación .....	55
3.1.3. Estructura del Soporte .....	55
<b>3.2. MÉTODO .....</b>	<b>56</b>
3.2.1. Emplazamiento.....	56
3.2.2. Radiación Solar .....	56
3.2.3. Detalle de la Medición de Irradiancia Solar.....	57
3.2.4. Técnica para la Identificación de la Radiación Solar en Juliaca.....	58
3.2.5. Punto de Diseño del Sistema Termo Solar de Torre .....	63
3.2.6. Múltiplo Solar (ms).....	63
3.2.7. Altura de la Torre .....	64
3.2.8. Área del Receptor.....	65
3.2.9. Dimensionado del Almacenamiento .....	65
<b>3.3. DISEÑO DEL SISTEMA TERMO SOLAR DE TORRE .....</b>	<b>66</b>
3.3.1. Campos de Espejos Refractarios (Heliostatos) .....	66
3.3.2. Campo de Espejos Refractarios (Heliostatos) Circular.....	68
3.3.2.1. Diagonal del Espejo Refractario (heliostato) .....	69



3.3.2.2. Diagonal con distancia de Seguridad .....	69
3.3.2.3. Angulo azimutal incremental .....	69
3.3.2.4. Radio Inicial (Rmin).....	70
3.3.2.5. Incremento Radial entre Filas Consecutivas ( $\Delta R$ ) .....	71
3.3.2.6. Factor Sombras y Bloqueo .....	72
3.3.2.7. Inclinacion y orientacion del espejo refractario (heliostato) .....	73
<b>3.4. RECEPTOR CILÍNDRICO VERTICAL .....</b>	<b>74</b>
3.4.1 Características generales del receptor .....	74
3.4.2. Potencia enviada al receptor por un heliostato.....	75
3.4.3. Fluido térmico (agua).....	76
3.4.4. Demanda Energética .....	76
3.4.5. Volumen.....	79
3.4.6. Densidad.....	79
3.4.7. Cálculo de la Energía para Calentar la Cantidad de Agua Requerida.....	80
3.4.8. Cantidad de Tubos de Vacío en el Receptor Solar.....	80
3.4.9. Área de captación .....	80
3.4.10. Cálculo Superficial de Cada Tubo de Vacío .....	81
3.4.11. Número de Colectores.....	81
3.4.12. Capacidad y Aislamiento del Termotanque .....	81
<b>CAPITULO IV</b>	
<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	
<b>4.1. SELECCIÓN DEL ESPEJO REFRACTARIO (HELIOSTATOS) .....</b>	<b>83</b>
4.1.1. Espejos .....	83
4.1.2. Estructura de soporte.....	85
4.1.2.1. Panel Reflector .....	85
4.1.2.2. Soporte.....	86
4.1.3. Vigas y Cimientos .....	89
4.1.4. Orientación e Inclinación de los Espejos Refractarios.....	90
4.1.5. Radiación Solar .....	91
<b>4.2. DEMANDA ENERGÉTICA.....</b>	<b>92</b>
4.2.1. Cálculo de la Demanda de ACS.....	92
4.2.2. Cálculo de la Cantidad de Agua a Calentar en un Día (M).....	93
4.2.3. Cálculo de la Demanda Energética (De).....	94



4.2.4 Cálculo del Campo de Espejos (Heliostatos) .....	94
4.2.5. La Cantidad de heliostatos en Cada Anillo (NH).....	96
<b>4.3. RECEPTOR SOLAR .....</b>	<b>97</b>
4.3.1. Potencia enviada sobre el receptor por un heliostato .....	98
4.3.2. Cálculo de la Energía para Calentar la Cantidad de Agua Requerida.....	99
<b>4.4. NÚMERO DE TUBOS DE VACÍO EN EL RECEPTOR SOLAR .....</b>	<b>101</b>
4.4.1 Área de Captación .....	101
4.4.2. Cálculo del Área Superficial de cada Tubo de Vacío .....	101
4.4.3. Número de Tubos de Vacío.....	102
<b>4.5. CÁLCULO DEL VOLUMEN Y AISLAMIENTO DEL DEPÓSITO.....</b>	<b>103</b>
4.5.1. Diseño del Termotanque .....	104
<b>4.6. CÁLCULO DEL ESPESOR DE AISLANTE DEL TANQUE PARA.....</b>	<b>105</b>
<b>ALMACENAR AGUA CALIENTE .....</b>	<b>105</b>
<b>4.7. DISCUSIÓN .....</b>	<b>110</b>
4.7.1. Pruebas Realizadas con Diferentes Materiales .....	110
4.7.2. Prueba de Calentamiento de Agua con distintos Ángulos de Inclinación .....	111
<b>4.8. DISCUSIÓN FINAL.....</b>	<b>111</b>
<b>4.9. COSTOS .....</b>	<b>115</b>
<b>V. CONCLUSIONES.....</b>	<b>116</b>
<b>VI. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>117</b>
<b>VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>118</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>123</b>

**TEMA:** Diseño de sistema termo solar de torre con espejos refractarios.

**ÁREA :** Energías Renovables.

**FECHA DE SUSTENTACIÓN: 26 de julio 2023**



## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Esquema del sol. ....	23
<b>Figura 2:</b> Radiación solar que entra a la tierra.....	26
<b>Figura 3:</b> Radiación solar recibida por los sistemas de aprovechamiento de energía ...	28
<b>Figura 4:</b> Movimiento de sol .....	29
<b>Figura 5:</b> Altura solar.....	30
<b>Figura 6:</b> Hora solar.....	31
<b>Figura 7:</b> Esquema del funcionamiento de una lente Fresnel.....	35
<b>Figura 8:</b> Esquema del funcionamiento de lentes Fresnel con varias torres.....	36
<b>Figura 9:</b> Colectores solares cilindros parabólicos (CCPs).....	37
<b>Figura 10.</b> Receptor de tipo sólo-solar.....	38
<b>Figura 11:</b> Disco parabólico con motor stirling.....	39
<b>Figura 12.</b> Torre central receptor de calor .....	40
<b>Figura 13:</b> Receptor exterior.....	42
<b>Figura 14:</b> Receptor de cavidad.....	42
<b>Figura 15:</b> Receptor volumetrico.....	43
<b>Figura 16:</b> Heliostato moderno .....	45
<b>Figura 17:</b> Espejos reflectantes.....	46
<b>Figura 18:</b> Estructura del heliostato.....	47
<b>Figura 19:</b> Tecnología de campos de heliostatos y torre receptora .....	47
<b>Figura 20:</b> Plantas termo solares PS10 y PS20 con campo Norte. ....	48
<b>Figura 21:</b> Planta termosolar Gemasolar con campo circular .....	49
<b>Figura 22:</b> Receptor de sal fundida.....	50
<b>Figura 23:</b> Torre de concreto y de acero.....	51
<b>Figura 24:</b> Almacenamiento de un sistema termo solar de torre. ....	53



<b>Figura 25:</b> Mapa de radiación Global .....	56
<b>Figura 26:</b> Estación meteorológica .....	57
<b>Figura 27:</b> Curva de irradiancia vs tiempo .....	60
<b>Figura 28:</b> Tipos de torre de hormigón y acero .....	64
<b>Figura 29:</b> Tamaño del termotanque de acuerdo a la capacidad del local.....	65
<b>Figura 30:</b> Campo de heliostatos para 0°, 20° y 60° de latitud. ....	66
<b>Figura 31:</b> Nomenclatura de la eficiencia óptica en un campo de heliostatos.....	68
<b>Figura 32:</b> Definiciones fundamentales de un campo de heliostatos .....	70
<b>Figura 33:</b> Valores óptimos de plantas solares .....	71
<b>Figura 34:</b> Variación del radio entre filas.....	71
<b>Figura 35:</b> Pérdidas por sombras y bloqueo en un campo de heliostatos .....	73
<b>Figura 36:</b> Inclinación y orientación de heliostatos situados a ambos lados. ....	74
<b>Figura 37:</b> Espejo refractario .....	84
<b>Figura 38:</b> Panel reflector y su estructura de anclaje.....	86
<b>Figura 39:</b> Montaje de guía de contra-torque en estructura superior móvil. ....	87
<b>Figura 40:</b> Modelación de pedestal base .....	88
<b>Figura 41:</b> estructura de (heliostato) modelado, en vista lateral izquierda y trasera .....	89
<b>Figura 42:</b> Cimiento de anclaje.....	90
<b>Figura 43:</b> Comportamiento de la radiación solar en un día.....	91
<b>Figura 44:</b> Ilustración del receptor solar del `proyecto. ....	98
<b>Figura 45:</b> representación visual del termotanque desde la perspectiva frontal. ....	105
<b>Figura 46:</b> Perdida de calor.....	106



## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1:</b> Muestra la división de la energía emitida.....	29
<b>Tabla 2:</b> Centrales de Receptor Central del mundo .....	41
<b>Tabla 3:</b> Comparativa de tecnologías solares de concentración .....	44
<b>Tabla 4:</b> Características de los medios típicos de transferencia de calor.....	52
<b>Tabla 5:</b> Datos de irradiancia de la estación meteorológica de la UNAJ .....	59
<b>Tabla 6:</b> Promedios de radiación solar horaria W/m <sup>2</sup> para Juliaca en el año.....	61
<b>Tabla 7:</b> tabla de promedio diario, mensual de radiacion solar del Peru.....	62
<b>Tabla 8:</b> promedio mensual de la radiacion solar para Juliaca – Puno(2021-2022).....	63
<b>Tabla 9:</b> Consumo de agua caliente sanitaria por personas .....	78
<b>Tabla 10:</b> consumo típico de agua caliente.....	78
<b>Tabla 11:</b> Tipo de aislamiento y espesor recomendado.....	82
<b>Tabla 12:</b> Promedio de radiación mensual para Juliaca.....	91
<b>Tabla 13:</b> Promedio diario mensual de personas que asisten al local 2022.....	93
<b>Tabla 14:</b> Datos de diseño.....	94
<b>Tabla 15:</b> La disposición de los helióstatos sobre el campo.....	97
<b>Tabla 16:</b> Coeficiente de conductividad térmica de materiales (k) .....	107
<b>Tabla 17:</b> Valores característicos de coeficiente de transferencia de Calor .....	109
<b>Tabla 18:</b> Prueba de diferentes tipos de materiales .....	110
<b>Tabla 19:</b> Prueba de calentamiento con distintos ángulos de inclinación .....	111
<b>Tabla 20:</b> Resultados finales de los parámetros de diseño del sistema termo solar ....	114
<b>Tabla 21:</b> Costo de diseño del sistema termo solar.....	115



## ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

<b>NH</b>	: Numero de Heliostatos
<b>ACS</b>	: Agua Caliente Sanitaria
<b>I</b>	: Irradiancia
<b>SENAMHI</b>	: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú
<b>RITE</b>	: Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios
<b>UPEU</b>	: Universidad Peruana Unión
<b>UNAJ</b>	: Universidad Nacional de Juliaca
<b>ITINTEC</b>	: Instituto de Investigación Tecnológica Industrial y de Normas Técnicas
<b>UV</b>	: Ultra Violeta



## RESUMEN

El uso de combustibles fósiles está causando contaminación ambiental y poniendo en peligro la continuidad de la vida en el planeta. El cambio climático y el calentamiento global son consecuencias. En la región sur del Perú, la ingeniería mecánica eléctrica está priorizando el uso de energía solar para solucionar problemas energéticos. En ese sentido, la producción de agua caliente sanitaria se debe hacer empleando la energía del sol para disminuir la contaminación. La tesis que se desarrollo tiene como objetivo diseñar un sistema termo solar de torre con espejos refractarios, para la producción de agua caliente. Para la evaluación del sistema, se tomó como referencia un local de duchas calientes que atiende a un promedio de 60 personas/día, cuya demanda de agua caliente es de 1500L/día que está ubicado en el barrio Santa Bárbara de Juliaca. La metodología aplicada empleada se basa en la teoría de diseño en ingeniería mecánica aplicada a sistemas térmicos solares, tiene en cuenta que el departamento de Puno cuenta con una ventaja importante al ser uno de los tres departamentos del Perú con mayor radiación solar. Los datos de radiación fueron tomados de la estación meteorológica de la (UNAJ) obteniendo  $5360\text{Wh}/\text{m}^2$ , El sistema térmico del local está compuesto por 13 espejos refractarios de  $1\text{m}^2$  de área, y con una torre receptor de 3 m de alto, con 10 tubos de borosilicato en la parte superior que son llamados receptor solar que están conectados a un termotanque de 1.00m de largo y 0.40m de diámetro con una capacidad de 120 litros y un termotanque de 500L para almacenar agua caliente y evitar. Concluyéndose que este sistema es óptimo para empresas que requieran (ACS) en cantidad, ya que el tiempo de calentamiento de agua depende de la cantidad de espejos refractarios. Y el costo del sistema es accesible.

**Palabras claves:** Diseño, sistema termo solar, radiación solar, espejo refractario, tubos, de vacío.



## ABSTRACT

The use of fossil fuels is causing environmental pollution and endangering the continuity of life and time on the planet. Climate change and global warming are consequences of this situation. In the southern region of Peru, electrical mechanical engineering is prioritizing the use of solar energy to solve energy problems. In this sense, the production of hot water should be done using solar energy to reduce global warming. The objective of the thesis being developed is to design a tower thermosolar system for the production of hot water for public showers in the city of Juliaca. For the system evaluation, a hot shower facility in the Santa Barbara neighborhood of Juliaca was taken as a reference, whose environments require hot water for their operation. The methodology used is based on the theory of mechanical engineering design applied to solar thermal systems, and it is taken into account that the Puno department has an important competitive advantage by being one of the three departments in Peru with the highest solar radiation. In addition, the aim is to promote the use of renewable energies in this department. The demand of the hot shower facility is 1500L/day of hot water (ACS) and it was decided to design the tower thermosolar system that uses refractory mirrors to direct solar radiation towards the heat concentration tower. A 1.00m long and 0.40m diameter thermotank was installed with a capacity of 120 liters of ACS and a 500L thermotank to store hot water and prevent cooling. The purpose of this thesis is to reduce environmental pollution since the use of wood and gas boilers pollutes the environment. From a technical-economic point of view, these thermosolar systems should be more widely used by hot shower facilities due to their economic cost as they acquire all materials that make up the tower thermosolar system from China.

**Keywords:** Design, thermosolar system, solar radiation, refractory mirror, vacuum tubes.



# CAPITULO I

## INTRODUCCIÓN

El objetivo de este proyecto es incentivar el uso de energía más limpias y económicas, específicamente la energía termo solar para calentar agua en viviendas y grandes instalaciones como centros deportivos o clubes. Este sistema puede ser utilizado para calentar agua para duchas, piscinas y para uso sanitario. La idea es que los usuarios puedan recuperar su inversión y ahorrar dinero a largo plazo. Para la evaluación, se tomó como ejemplo un local de duchas calientes en la provincia de San Román - Juliaca, donde se requiere agua caliente sanitaria (ACS) para piscinas, duchas y cocina.

En algunos países como Japón, Israel y Australia, es común utilizar la energía solar para calentar agua. Si se utiliza una unidad solar junto con un calentador de agua convencional, se puede economizar hasta un 80% de energía en comparación con el modelo convencional. En algunas zonas, la unidad solar puede proporcionar suficiente agua caliente (entre 38°C y 55°C) sin necesidad de un calentador convencional. Sin embargo, es importante tener en cuenta que solo algunas regiones del mundo reciben más de 180 kilolangleys (1 langley = 1cal/cm<sup>2</sup>), o 2000KWh/m<sup>2</sup> de insolación por año.

En el futuro, se espera que se adopte un modelo energético basado en energías renovables, como la energía solar, que es una fuente infinita de energía limpia. Esto se debe a los cambios climáticos que enfrenta el mundo debido al calentamiento del planeta causado por el uso de energías fósiles. El proyecto de investigación sobre el sistema termo solar de torre tiene como objetivo disminuir.



Las emisiones de dióxido de carbono son gases que dañan el medio ambiente y contribuyen al efecto invernadero, el cual es responsable del cambio climático. además, es de vital importancia aprovechar la alta radiación que tiene puno.

### **1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

A lo largo del tiempo, la necesidad de energía en todo el mundo ha ido en aumento debido al crecimiento de la población y la modernización. La mayoría de esta demanda, alrededor del 80%, se satisface mediante el uso de combustibles fósiles, como el carbón, el petróleo y el gas natural. Sin embargo, el uso de estos combustibles ha tenido graves consecuencias ambientales, como el efecto invernadero. Por lo tanto, es cada vez más importante que la sociedad utilice fuentes de energía renovable. Estas fuentes de energía se dividen en convencionales y no convencionales, según el grado de desarrollo tecnológico y su aplicación en los mercados energéticos. La energía hidráulica a gran escala es la fuente de energía renovable convencional más utilizada, mientras que la energía eólica, solar, geotérmica y mareomotriz son consideradas fuentes de energía renovable no convencionales.

La energía solar es una de las fuentes de energía renovable no convencional con mayor potencial en la región de Puno debido a la alta radiación solar. De hecho, Puno es uno de los tres departamentos en el Perú con mayor radiación solar, junto con Cajamarca y Arequipa. En este contexto, se llevó a cabo este proyecto de investigación de tesis que es diseñó un sistema Termo solar de torre. Este proyecto se basó en la tecnología de termas solares con colectores solares de tubos al vacío desarrollada en Arequipa, la cual ha aumentado significativamente la eficiencia de las termas solares en la región sur del país. Teniendo en cuenta estos principios me planteé las siguientes interrogaciones de investigación que son el punto de inicio de mi tesis:



- ¿Es posible determinar la cantidad de espejos refractarios del sistema termo solar de torre?
- ¿Es viable establecer la cantidad de agua caliente sanitaria que requiere el local de duchas calientes?
- ¿Es posible establecer las dimensiones del sistema termo solar de torre?

## 1.2. JUSTIFICACIÓN

La necesidad de encontrar soluciones para los problemas ambientales, como el calentamiento global, la disminución de la capa de ozono y la gestión del agua, ha llevado a la búsqueda de tecnologías de producción más limpias. Los combustibles fósiles se consideran ahora una opción menos favorable debido a sus graves impactos ambientales y su impacto económico en los procesos de producción. Además, el alto precio del petróleo en el último año ha contribuido a encarecer los procesos productivos, empeorando aún más la crisis económica mundial.

Se utilizan grandes cantidades de petróleo, gas y carbón en el transporte, la industria y la calefacción, y los residuos de su combustión son liberados a la atmósfera en forma de partículas, humo y gases. Estos gases, como el dióxido de carbono, son los principales causantes del efecto invernadero, el cual contribuye al aumento de la temperatura del planeta. Si esta situación continúa, se podría desencadenar un colapso climático que pondría en riesgo la vida de millones de personas.

En todo el mundo se están promoviendo proyectos de investigación de energías no convencionales, incluyendo la energía solar que es el tema de esta tesis. Esto se debe a la necesidad de mitigar el calentamiento global y prevenir desastres naturales. Además, se ha identificado que el departamento de Puno es uno de los tres departamentos en Perú con mayor radiación solar, lo que lo convierte en un lugar ideal para desarrollar proyectos



relacionados con la energía solar. El altiplano andino es una zona ubicada en el sur del Perú. Se encuentra a una altura de aproximadamente 4.000 metros sobre el nivel del mar y las temperaturas pueden ser muy frías en invierno, llegando a  $-16^{\circ}\text{C}$ , mientras que en primavera pueden alcanzar un máximo de  $19^{\circ}\text{C}$ . En promedio, la irradiación solar sobre superficie horizontal es de  $6,0 \text{ kWh/m}^2$  día al año. La irradiación solar máxima ocurre en octubre con  $7,2 \text{ kWh/m}^2$  día y la mínima en enero con  $5,1 \text{ kWh/m}^2$  día. Durante los días sin nubes ni lluvia, la irradiación solar promedio global es de  $1110 \text{ W/m}^2$  entre las 9:00 y las 17:00 horas, lo que es mayor que las Condiciones Estándares de Medida (CEM) de  $1000 \text{ W/m}^2$ . Esta irradiación solar es suficiente para un funcionamiento eficiente, el sistema termo solar de torre que se está diseñando.

Actualmente las termas de tubos al vacío no son lo suficientemente eficiente para calentar agua en cantidad. Es por esa razón que optamos por este sistema termo solar de torre o de concentración, Es la mejor manera de aprovechar al máximo la radiación del sol. La tesis consistió en aplicar conocimientos de física, matemáticas, diseño y transferencia de calor, entre otras áreas, para crear un sistema termo solar de torre que sea adecuado para las condiciones ambientales de Puno. Este diseño es altamente eficiente en la transferencia de energía solar al agua que se desea calentar. Esta tesis es relevante desde un punto de vista académico, ya que el diseño de sistemas termo solares es un tema importante en el Perú, donde no existen laboratorios ni apoyo económico para este tipo de investigaciones. Además, se espera que esta investigación contribuya al desarrollo de la investigación.

### **1.3. HIPÓTESIS**

Si se aplica los conocimientos de diseño, transferencia de calor, y energía heliotérmica se mejorará el diseño del sistema termo solar de torre con espejos refractarios



para calentar agua destinada a un espacio de duchas calientes en la provincia de San Román – Juliaca.

#### **1.4. HIPÓTESIS ESPECIFICAS**

- Al aplica los conocimientos de investigaciones sobre energía solar y los datos recopilados podemos determinar el número de espejos refractarios del sistema termo solar de torre que caliente el agua para las duchas del lugar.
- Al aplica la información técnica acerca del consumo diario promedio de agua caliente por persona se puede determinar la producción de agua caliente que demanda el sistema termo solar de torre.
- Al aplica los conocimientos en diseño de ingeniería y sistemas termo solares de torre se puede mejorar el diseño de estructuras y dimensiones necesarios para el sistema termo solar de torre.

#### **1.5. OBJETIVOS GENERAL**

Elaborar un sistema termo solar de torre que emplee espejos refractarios con el propósito de generar agua caliente sanitaria para un establecimiento de duchas calientes en la urbe de Juliaca.

#### **1.6. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Determinar el número de espejos refractarios del sistema termo solar de torre.
- Determinar la cantidad de agua caliente requerida para abastecer el local de duchas calientes.
- Diseñar las dimensiones del sistema termo solar de torre.



## CAPITULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA

#### 2.1. ANTECEDENTES DEL PROYECTO

(Calle, John & fajardo, 2011). En el artículo científico divulgado en la revista Ingenius de Ecuador, mencionan que el suministro de agua caliente sanitaria (ACS) es una necesidad primordial en la ciudad de Cuenca debido a las bajas temperaturas. Actualmente, se utilizan sistemas eléctricos y basados en GLP (gas licuado de petróleo) para satisfacer esta necesidad, pero estos sistemas emiten dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) durante su producción y uso, lo que contribuye a la contaminación. En cambio, el uso de energía solar a través de sistemas termo solares de torre es una tecnología más limpia y sostenible que disminuye la dependencia de combustibles fósiles. En Ecuador, se comercializan colectores solares que han sido importados o copiados de países europeos y norteamericanos.

(Celador L, M & Acosta I, 2016). Se trata del diseño y análisis de una central termo solar de torre central que utiliza sodio fundido, también conocida como central solar de torre o central de heliostatos. Este tipo de central utiliza una torre para recibir la luz solar concentrada, la cual es enfocada mediante un conjunto de espejos planos móviles llamados heliostatos. La torre colectora transforma los rayos del sol en calor para calentar el líquido utilizado como medio de transporte de calor.

Los diseños iniciales utilizaban rayos enfocados para calentar agua y producir vapor que impulsaba una turbina. Sin embargo, diseños más nuevos utilizan sodio líquido y sales fundidas (40% de nitrato de potasio, 60% de nitrato de sodio) como fluidos de trabajo. Estos fluidos tienen una alta capacidad calorífica, lo que permite almacenar



energía antes de hacer hervir el agua y producir vapor para impulsar las turbinas. Además, estos diseños permiten la generación de energía eléctrica incluso en ausencia de luz solar.

(Vivar Samanamu & Prado Bocanegra, 2014). Se está llevando a cabo un estudio sobre el uso de sistemas termo solares de torre para calentar agua en hoteles. El objetivo es analizar la eficacia de este sistema en cubrir la demanda de agua caliente en el sector hotelero, y así reducir los costos de energía eléctrica asociados a este proceso. Los sistemas termo solares de torre son una opción económica y efectiva para calentar agua en diferentes lugares que necesitan este servicio. Al mismo tiempo se busca incentivar el uso de energías renovables y que no causen impacto en el medio ambiente.

(Kiplangat R, 2017). En un estudio realizado se utilizó una caja térmica inclinada hacia el sur a un ángulo de  $26,5^\circ$  para medir la cantidad de radiación solar recibida. Los datos obtenidos se utilizaron para crear una ecuación que relaciona la fracción difusa con el índice de claridad. Tanto la radiación difusa como la reflejada fueron consideradas para predecir la cantidad total de radiación solar recibida en la superficie inclinada, sin necesidad de utilizar recursos costosos.

## **2.2. MARCO TEÓRICO**

### **2.2.1. Energía Renovable**

Las energías renovables son aquellas que se obtienen de fuentes naturales que se reponen rápidamente. Algunos ejemplos de estas energías son la eólica, geotérmica, hidroeléctrica, mareomotriz, solar, undimotriz, biomasa y biocarburantes. Estas fuentes se renuevan constantemente y se pueden encontrar en cualquier entorno. A diferencia de los combustibles fósiles, la generación de energías renovables produce menos emisiones. Es fundamental realizar una transición de los combustibles fósiles a las energías renovables para combatir la crisis del cambio climático.



### **2.2.1.1. Escenario Actual de las Energías Renovables**

En el presente, la mayor parte de la energía primaria consumida en todo el planeta sigue siendo de origen no renovable, con las energías renovables representando aproximadamente el 8% del consumo total a nivel mundial y el 6% en Europa. La mayor parte de esta energía renovable proviene de la hidroeléctrica y la biomasa. Sin embargo, hay una creciente conciencia global sobre la importancia de abordar la problemática energética, impulsada principalmente por factores como:

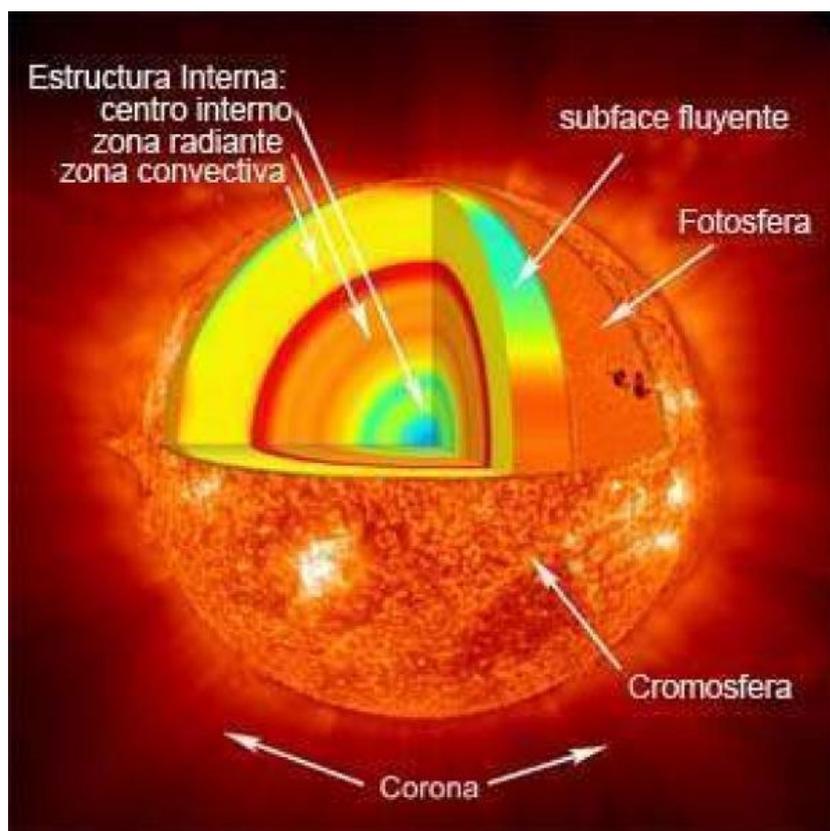
- La sumisión energética de naciones industrializados.
- Los escasos recursos energéticos fósiles.
- El impacto ambiental causado por la contaminación.

La energía solar que llega a nuestro planeta en un año supera la cantidad de energía almacenada en todas las reservas de combustibles fósiles del mundo. Si se aprovechara solamente el 0,002% de esa energía solar, se podría satisfacer la demanda global de energía y aún quedaría energía adicional.

### **2.2.2. El Sol**

El Sol es el centro de nuestro sistema solar y se formó hace 6.5 mil millones de años a partir de una nube interestelar de gas frío. El Sol está compuesto principalmente de hidrógeno y helio, con una masa total que ha cambiado a lo largo de su vida. Actualmente, el hidrógeno y el helio representan el 74.9% y el 23.8% de su masa total, respectivamente. Debido a la distancia que nos separa del Sol, que es de un poco más de ocho minutos a la velocidad de la luz, cualquier cambio que ocurre en la superficie solar lo podemos ver con un retraso de ocho minutos. Esta distancia se conoce como unidad astronómica.

Debido a la alta temperatura en el Sol, el material se encuentra en estado plasma, lo que significa que está separado en iones y electrones. El plasma es comúnmente conocido como el cuarto estado de la materia, ya que el 99% de la materia visible en el universo se encuentra en este estado debido a la carga eléctrica de las partículas. A diferencia de un gas neutro, el material de un plasma interactúa con campos eléctricos y magnéticos y se comporta de manera muy diferente.



**Figura 1:** Esquema del sol.

Fuente: Partes del sol y sus características (Glz Grome, 2017)

### **La energía solar**

Es una energía renovable, obtenida a partir del aprovechamiento de la radiación electromagnética procedente del Sol. En la actualidad, existen varias tecnologías que permiten aprovechar la radiación solar, tanto en forma de calor como de luz. Estas tecnologías incluyen células fotoeléctricas y otros captadores solares. Además, Las



tecnologías solares se dividen en dos categorías, pasivas y activas. Esta clasificación se basa en cómo se recolecta, convierte y distribuye la energía solar.

### **Utilización directa**

Se puede emplear la energía solar de dos maneras, como energía térmica, para generar calor y calentar un fluido, o como energía fotoeléctrica, para convertirla en energía eléctrica y utilizarla en el momento o almacenarla para su uso siguiente. El dispositivo delegado de capturar la radiación solar y convertirla en energía útil es conocido como panel solar.

La energía solar térmica se basa en capturar el calor generado por el Sol y transferirlo a un medio, como agua o aire. Aunque no es tan eficiente como la energía fotovoltaica, se ha avanzado mucho en su desarrollo en los últimos años y se espera que tenga un gran impacto global en el corto plazo.

### **Transformación en calor**

La energía solar puede ser utilizada de dos maneras diferentes, a través de la conversión térmica de alta temperatura, también conocida como sistema fototérmico, y mediante la conversión fotovoltaica, conocida como sistema fotovoltaico. La conversión térmica de alta temperatura consiste en transformar la energía solar en energía térmica que es almacenada en un fluido. Se utilizan dispositivos llamados heliostatos para calentar el líquido.

### **Transformación en electricidad**

La luz del sol está formada por pequeños componentes llamadas fotones, que, al llegar a las células fotovoltaicas de la placa, crean una diferencia de potencial eléctrico



entre ellas, lo que produce un flujo de corriente eléctrica. A medida que la intensidad de la luz se incrementa, la cantidad de electricidad generada también aumenta.

Las células fotovoltaicas convierten la energía de la luz solar en electricidad de corriente continua, que puede tener una graduación entre 380 y 800 voltios. Sin embargo, para utilizar esta energía en nuestros hogares se necesita un dispositivo llamado inversor, que convierte la corriente continua en corriente alterna. La cual es la que se utiliza en nuestros hogares. De esta manera, se mejora el resultado obtenido y se puede hacer uso de la energía generada por las células fotovoltaicas.

#### **Ventajas de utilizar energía solar:**

- Disminuye la contaminación ambiental.
- No emite monóxido de carbono que es dañino para el medio ambiente.
- La instalación y mantenimiento son sencillos.
- No hay sujeción de empresas eléctricas.

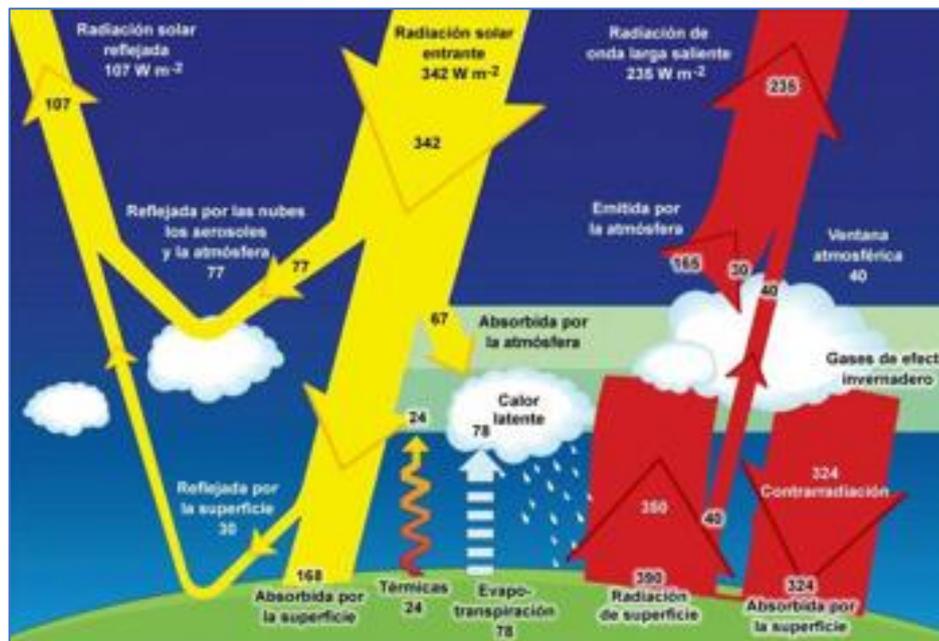
#### **Desventajas de utilizar energía solar:**

- Los componentes de concentración como baterías contienen químicos peligrosos.
- Los espacios ocupados en gran escala por los paneles afectan el ecosistema.
- El empolvamiento de los paneles solares en el exterior.

#### **2.2.2.1. Radiación solar**

El Sol es la principal fuente de energía que llega a nuestro planeta, y lo hace a través de radiación electromagnética que varía en longitud de onda. Desde ondas de radio con longitudes de kilómetros, hasta rayos X y radiaciones gamma con longitudes de milésimas de nanómetro. La cantidad de energía emitida por el Sol es de 63 450 720

$W/m^2$  y la energía que llega al exterior de la atmósfera terrestre sobre una superficie perpendicular a los rayos solares se conoce como constante solar, la cual tiene un valor fijo de  $1353 W/m^2$ . Sin embargo, esta cantidad puede variar un  $\pm 3 \%$  durante el año debido a la elipticidad de la órbita terrestre. La energía solar es un conjunto de radiaciones de diferentes longitudes de onda.



**Figura 2:** Radiación solar que entra a la tierra

Fuente: División de la radiación en el planeta (MeteoGlosario Visual de AEMET)

#### 2.2.2.2. Tipos de Radiación Solar

La energía que emana del Sol y se mueve por el espacio en forma de ondas electromagnéticas es conocida como radiación solar. Esta energía afecta muchos procesos atmosféricos y climáticos, y tiene un impacto directo o indirecto en nuestra vida diaria, como la fotosíntesis de las plantas, el sostenimiento de una temperatura adecuada para la vida y la generación de energía eólica a través del viento.

Los tres tipos de radiación solar en la tierra:

- **Radiación directa:** La radiación solar directa es aquella que llega a nosotros sin haber sido desviada ni cambiado de dirección al encontrarse con algo en su



camino. Esta radiación es la responsable de producir sombras y se presenta en días soleados.

- **Radiación difusa:** es aquella que se produce cuando parte de la radiación solar es disipada en la atmósfera. En días soleados, esta energía puede representar alrededor del 15% de la radiación total. Sin embargo, en días nublados, cuando la radiación directa es baja, la radiación difusa puede ser mucho más significativa en términos porcentuales.
- **Radiación reflejada o albedo:** La cantidad de radiación reflejada que llega a un punto de la Tierra depende del coeficiente de reflexión de la superficie. Las superficies horizontales no reciben radiación reflejada porque no están en contacto directo con la Tierra, mientras que las superficies verticales reciben más radiación reflejada.

En resumen, la energía solar directa y difusa varían de acuerdo a la época del año y los escenarios climáticos. En Cáceres, durante un día medio de marzo, la energía difusa representa el 48% del total, mientras que, en un día medio de agosto, la energía difusa representa el 25% del total. Esto se debe a que en agosto hay menos nubes que en marzo.



**Figura 3:** Radiación solar recibida por los sistemas de aprovechamiento de energía  
Fuente: Radiación solar (Carbonell F, 2023)

La energía proveniente del Sol puede ser absorbida por el suelo, difundida en la atmósfera o reflejada. La radiación solar que llega a la parte superior de la atmósfera es del 100%, pero solo el 25% llega directamente a la superficie terrestre. El otro 25% se dispersa en la atmósfera como radiación difusa hacia la superficie. En total, aproximadamente el 50% de la radiación total incidente llega a la superficie terrestre. De ese porcentaje, el 20% es absorbido por nubes y gases atmosféricos, mientras que el otro 30% se pierde hacia el espacio. La atmósfera dispersa un 6%, las nubes reflejan un 20% y el suelo refleja el otro 4% de ese último porcentaje. En promedio, el flujo de radiación solar incidente en la parte superior de la atmósfera es de alrededor de  $342 \text{ W/m}^2$ , pero se reduce a unos  $168 \text{ W/m}^2$  en la superficie debido a la reflexión y absorción.

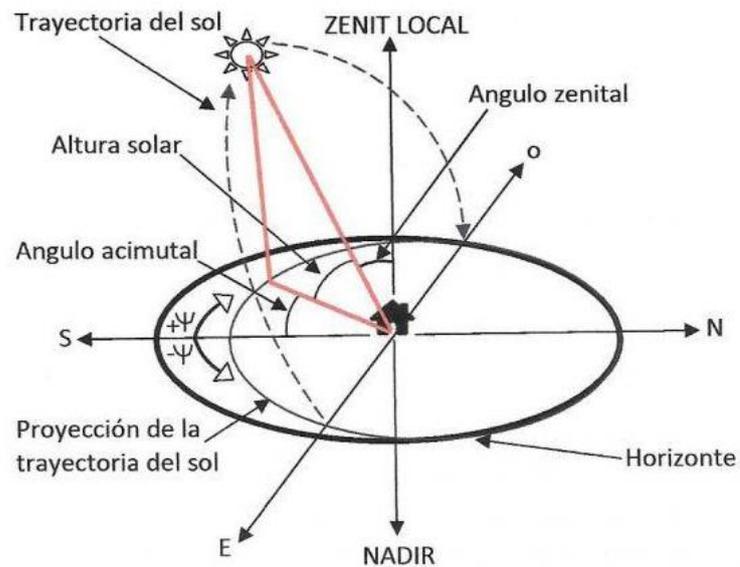
**Tabla 1:** Muestra la división de la energía emitida.

Intervalo de distancia de onda, m	Energía transmitida, cal./(min.)(cm <sup>2</sup> )					
	m=0	1	2	3	4	5
Ultravioleta, 0.28 - 0.41	0.137	0.047	0.0285	0.0139	0.015	0.0038
Visible, 0.39 -0.68	0.772	0.604	0.4695	0.3695	0.298	0.2345
Infrarrojo, por encima de 0.71	0.979	0.669	0.5595	0.487	0.425	0.37695
Totales Calorías por minuto/ cm2	1.895	1.3295	1.063	0.870	0.7295	0.61595

Fuente: Energía transmitida (Mendes M, J & Cuervo G, 2011).

### 2.2.2.3. Movimiento del sol

Un sistema de coordenadas nos ayuda a determinar la ubicación del sol en el cielo. Esto se logra trazando una línea imaginaria vertical desde nuestro punto de observación que atraviesa la superficie terrestre. Esta línea se llama "zenit" o "cenit" cuando apunta hacia arriba y "nadir" cuando apunta hacia abajo.

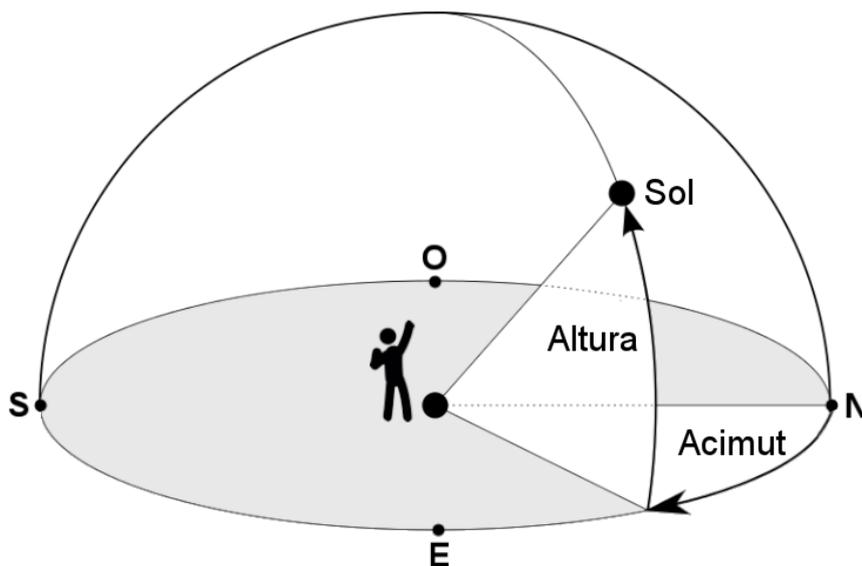


**Figura 4:** Movimiento de sol

Fuente: Trayectoria del sol (Rosar T, 2019)

- a) **El ángulo cenital**, está formado por la vertical del lugar donde nos encontremos y la dirección hacia el sol.
- b) **Elevación solar**, pertenece al ángulo con el que visualizamos el sol y la horizontal entre el suelo.
- c) **Ángulo azimut o acimutal**, Se refiere a una zona de la Tierra que abarca desde el Polo Norte ( $0^\circ$ ) en sentido horario hasta la línea vertical que indica la ubicación del sol en la superficie terrestre. En el hemisferio norte, esta línea se dirige hacia el sur y en el hemisferio sur, se dirige hacia el norte.

Para determinar la posición del sol en cualquier instante, es necesario tener en cuenta las latitudes del lugar. En el hemisferio norte, las latitudes se consideran positivas (+), mientras que, en el hemisferio sur, se consideran negativas (-). Primero se debe conocer la latitud del lugar en el que se encuentra para poder realizar los cálculos correspondientes. La trayectoria en la que incide la radiación solar se llama incidencia solar, y puede ser directa o reflejada (difusa) por diferentes objetos, incluyendo el suelo.



**Figura 5:** Altura solar

Fuente: Conocer la posición del sol (Eclipses solar NASA, 2020)

### 2.3. HORA SOLAR PICO

Se ha notado que la cantidad de luz solar que llega a la Tierra cambia durante el día. En el gráfico 2.6. el momento en que hay más luz solar se muestra como una línea horizontal constante que cubre la misma área que la curva que describimos antes.

La hora solar pico es el período durante el cual se recibe una irradiación solar de  $1000\text{W}/\text{m}^2$  y representa el tiempo en que un panel fotovoltaico puede generar su máxima potencia, siempre y cuando se cumplan las condiciones estándar. Para calcular la energía que un panel puede generar, se multiplica la hora solar pico por la potencia pico del panel. Es importante tener en cuenta que las pérdidas pueden reducir la cantidad de energía generada en un 20%.

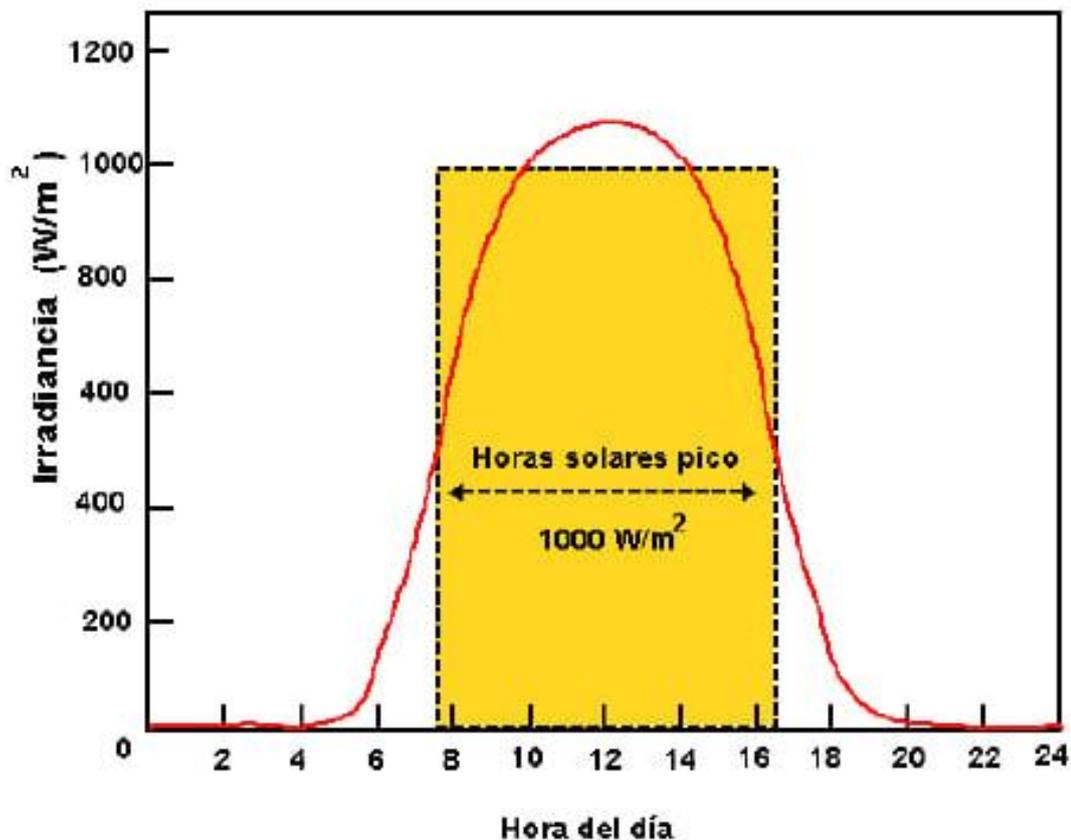


Figura 6: Hora solar

Fuente: Hora solar pico (Pérez Martínez et al., 2017)

### **2.3.1. Sistemas solares térmicos**

La energía solar térmica o energía termo solar consiste en el aprovechamiento de la energía del Sol para producir calor que puede aprovecharse para cocinar alimentos o para la producción de agua caliente destinada al consumo de agua doméstico, ya sea agua caliente sanitaria, calefacción o para producción de energía mecánica y, a partir de ella, de energía eléctrica. Es relevante señalar que la energía solar térmica y la energía solar fotovoltaica son distintas en cuanto a su eficiencia. Mientras que la primera convierte la energía solar en calor, la segunda la transforma directamente en electricidad.

Hay tres tipos de colectores de energía solar térmica que se clasifican según su temperatura, baja, media y alta. Los colectores de baja temperatura se utilizan para calentar agua y suelen ser placas planas. Los colectores de temperatura media también son placas planas y se utilizan para calentar agua o aire en aplicaciones residenciales o comerciales. Por otro lado, los colectores de alta temperatura concentran la luz solar mediante espejos o lentes y se utilizan principalmente para la producción de energía eléctrica.

#### **2.3.1.1. Manejo de un Sistema Termo Solar de Torre**

El método del sistema termosolar de torre convierte la energía solar térmica en energía eléctrica a través de un ciclo termodinámico. Se compone de varios espejos planos, también conocidos como heliostatos o espejos refractarios, que están colocados en un terreno de manera ordenada y orientados para reflejar la radiación solar directa que reciben durante todo el día. Esta radiación se concentra en un receptor ubicado a una altura sobre el terreno donde están los espejos, y allí se transforma en energía térmica por medio de la radiación. El calor generado se transfiere al agua, que se calienta a una temperatura determinada y se utiliza para diferentes propósitos. La energía solar captada



durante el día debe ser almacenada en un intercambiador de calor para su uso durante la noche o en aplicaciones simples.

## 2.4. TIPOS DE SISTEMAS SOLAR TÉRMICOS

El sistema solar de torre se utiliza principalmente en sistemas térmicos que dependen del calor final alcanzado por el líquido.

### a) Colectores estáticos

Tenemos tres grupos de colectores fijos:

Hay diferentes tipos de colectores solares térmicos, pero el más común es el colector plano. Este colector está hecho de una placa plana absorbente que permite que el fluido térmico circule por ella. Se coloca en una caja aislada y se cubre con un cristal de alta transmitancia. Aunque este tipo de tecnología es muy utilizada, generalmente no alcanza temperaturas superiores a los 80°C.

El colector parabólico compuesto. Este está formado por dos secciones de una parábola que se enfrentan para concentrar toda la radiación que entra en su rango de apertura en un absorbedor ubicado en el foco de las parábolas. Este tipo de colector es capaz de alcanzar temperaturas de hasta 240°C y ofrece diversas opciones de formas geométricas para el foco y las parábolas concentradoras.

Los colectores de tubos evacuados están hechos de tubos vacíos con una placa metálica en su interior por la que circula un fluido en un estado de fluctuación entre líquido y vapor. El fluido se evapora al atravesar el tubo y luego se condensa en el condensador, liberando su calor latente. Este tipo de colector es ideal para zonas frías y puede alcanzar temperaturas de hasta 200°C.



## b) Colectores con seguimiento

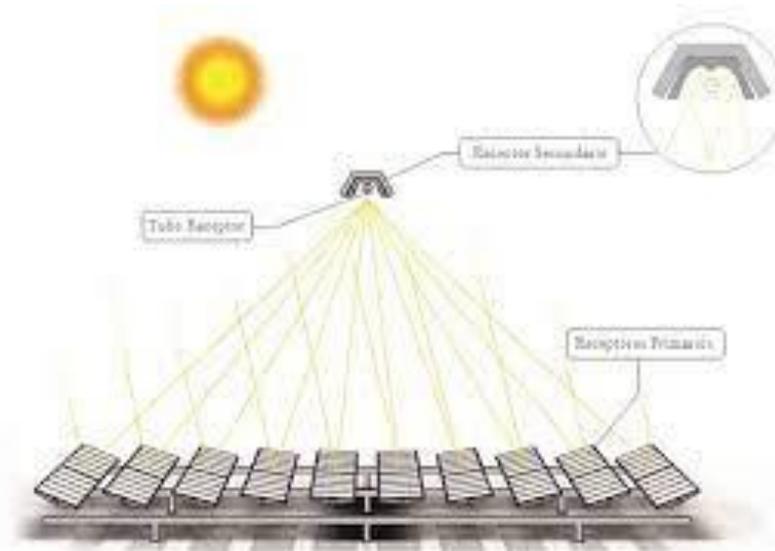
Se distribuyen básicamente en colectores de concentración y colectores de no concentración. La diferencia entre ellos radica en que los colectores no concentradores tienen la misma área para interceptar que para absorber la radiación solar, mientras que los colectores concentradores tienen un sistema de seguimiento que refleja los rayos solares en otra superficie de menor área. Esto se logra interponiendo un dispositivo óptico entre la fuente de radiación y la superficie absorbente, lo que permite concentrar una gran cantidad de radiación en un punto pequeño y reducir el área receptora, disminuyendo así las pérdidas por radiación y convección de esta superficie. El radio de concentración se define como la relación entre el área concentradora y el área receptora. Debido a que los colectores con sistema de seguimiento solar tienen un rendimiento mucho mayor, la mayoría de los colectores concentradores tienen este sistema implementado.

Hay varios tipos de colectores de concentración solar que dependen de la naturaleza de los concentradores y los receptores. Los concentradores pueden ser refractores o reflectores, cilíndricos o parabólicos, y continuos o segmentados. Por otro lado, los receptores pueden ser cóncavos o convexos, cilíndricos o planos, cubiertos o descubiertos, y pueden tener uno o dos ejes de seguimiento.

### 2.4.1. Colector Fresnel

Existen dos variedades de colectores Fresnel, siendo el menos común el colector de lentes Fresnel. Este tipo de colector está hecho de plástico y cuenta con películas reflectantes que están diseñadas para enfocar los rayos solares en un punto específico, como se muestra en la Figura 7. La lente se divide en secciones anulares concéntricas, lo

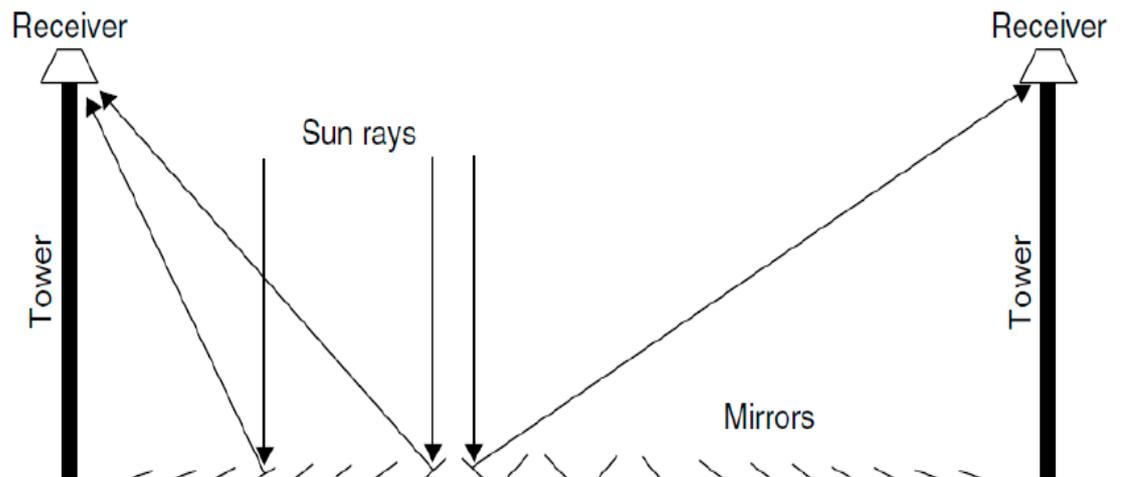
que permite reducir la cantidad de material necesario en comparación con una lente convencional.



**Figura 7:** Esquema del funcionamiento de una lente Fresnel  
Fuente: Lente Fresnel (Yapu Maldonado, 2018)

Una tecnología de colector diferente es el reflector lineal Fresnel. En lugar de espejos curvos, utiliza espejos planos dispuestos en una fila para concentrar la luz en un receptor alargado. Aunque funciona de manera similar al concentrador cilíndrico parabólico, este tipo de colector alcanza temperaturas más bajas.

No obstante, la versión más común del reflector lineal Fresnel utiliza una torre como receptor, que se coloca estratégicamente entre varias filas de espejos. Esta tecnología tiene varias ventajas, como el menor costo de producción de los espejos planos en comparación con los espejos parabólicos u otros tipos de geometría compleja.



**Figura 8:** Esquema del funcionamiento de lentes Fresnel con varias torres

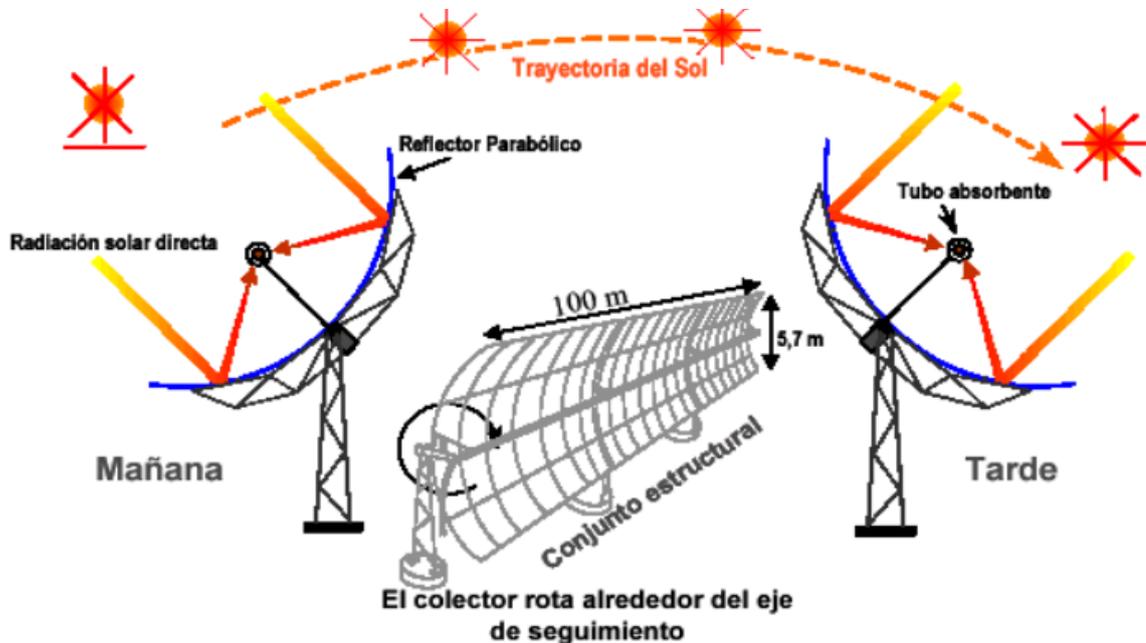
Fuente: Funcionamiento de lentes Fresnel con torres(Celador L, M & Acosta I, 2016)

#### 2.4.2. Colector Cilindro Parabólico

Los colectores cilíndrico parabólicos (CCP) son dispositivos que utilizan un concentrador con forma de parábola para reflejar la luz solar en un tubo concentrador que se coloca en la línea focal del receptor. El fluido de trabajo que se encuentra en el tubo se calienta mediante la radiación solar, gracias al soporte metálico del concentrador que tiene un sistema de seguimiento solar de un solo eje. Los módulos pueden ser muy largos y el radio de concentración varía entre 10 y 85. Los CCP pueden alcanzar temperaturas del fluido térmico de hasta 400°C. Para reflejar la radiación solar se utilizan películas de plata o aluminio sobre un soporte de cristal que aporta la rigidez necesaria al concentrador. Para proteger esta conformación se suele añadir una capa de cobre y otra de pintura epoxi.

Se utiliza el espacio entre dos tubos para disminuir las pérdidas por convección. El tubo metálico está cubierto con un material que absorbe bien la energía solar y emite poca energía térmica. El tubo exterior tiene un tratamiento para reducir la reflexión y mejorar la transmisión, lo que reduce las pérdidas de calor por convección y protege el material del tubo interior de las condiciones climáticas. El aceite térmico es el fluido de

trabajo más común, aunque se están explorando otros fluidos que pueden alcanzar temperaturas más altas. Sin embargo, también hay desventajas asociadas con esta tecnología.



**Figura 9:** Colectores solares cilindros parabólicos (CCPs)

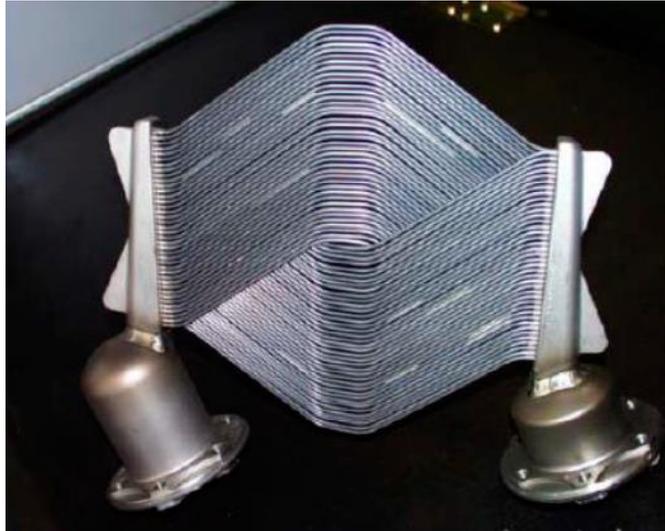
Fuente: Sistema de seguimiento (Lopez Guzman, 2012)

### 2.4.3. Disco parabólico

Se usa un dispositivo llamado concentrador parabólico de gran tamaño para enfocar la energía del sol en el punto focal del paraboloide. Allí hay un receptor que convierte esta energía en calor, que luego es transferido a un fluido térmico que circula por él. Los fluidos más comunes son el helio y el hidrógeno, aunque también se pueden usar nitrógeno y aire. La temperatura alcanzada puede ser tan alta como 1500°C. Se pueden diferenciar dos tipos de receptor según las horas de operación. Los receptores de tipo sólo-solar solo funcionan durante el día, desde el amanecer hasta la puesta del sol, como se muestra en la Figura 10.

Se pueden utilizar dos métodos diferentes para convertir el calor almacenado en el fluido térmico en energía eléctrica. El primer método implica conectar un motor

Stirling directamente al receptor, lo que permite convertir la energía térmica del fluido en electricidad mediante la compresión y expansión cíclica del fluido de trabajo que mueve un pistón. Esta tecnología es comúnmente utilizada en concentradores solares. La segunda opción consiste en instalar un circuito para el fluido térmico que lo lleva a una planta de potencia convencional con varios discos parabólicos.



**Figura 10.** Receptor de tipo sólo-solar

Fuente: Receptor en Disco Parabólico (Gonzales Quintero, 2014)

El colector solar más efectivo en la actualidad es el disco parabólico con motor Stirling, gracias a su capacidad de concentración que varía entre 600 y 2000 en términos de radio. Además, su alta modularidad y autonomía permiten su funcionamiento independiente y acoplamiento a sistemas más grandes. Aunque tiene un enorme potencial a largo plazo, En resumen, su capacidad de generar energía es limitada a menos de 25 kW, lo que dificulta su uso en la producción de electricidad a gran escala. Sin embargo, es muy útil para el autoconsumo en áreas remotas donde el acceso a la red eléctrica es difícil.



**Figura 11:** Disco parabólico con motor stirling  
Fuente: Motor Stirling (Fernandes R, 1992)

#### 2.4.4. Torre Solar

En resumen, la tecnología utiliza heliostatos, que son espejos especiales, para concentrar la energía solar en un punto en la parte superior de una torre. Luego, el receptor solar en la parte superior de la torre utiliza esta energía para calentar un fluido de trabajo y generar electricidad mediante un ciclo de potencia. Esta tecnología es flexible en cuanto al ciclo de potencia, permitiendo el uso de diferentes tipos de fluidos térmicos y del ciclo de potencia. Se utilizan tanques de acumulación para el líquido de trabajo a temperaturas mínimas y altas para permitir que el sistema funcione en momentos de baja radiación solar y en días fríos.

Los heliostatos tienen un sistema de seguimiento solar de doble eje que les permite reflejar un alto porcentaje de la luz solar incidente en el receptor solar sin ángulo de incidencia. Los espejos no son completamente planos y pueden tener diferentes geometrías según el tipo de receptor. Los paneles solares de torre están compuestos por vidrio con una capa reflectante de plata o aluminio y una capa de pintura protectora en la parte posterior. En la parte superior de la torre se encuentra el receptor solar, que está

ubicado a una altura adecuada para la disposición de los heliostatos. Estas torres pueden estar construidas de hormigón armado o de estructuras metálicas en celosía, como se aprecia en la figura 12.



**Figura 12.** Torre central receptor de calor

Fuente: Receptor solar de china (Revista Helioscsp, 2020)

El receptor es quizás el componente más importante de la instalación ya que de su configuración depende en gran medida el rendimiento de la central. tenemos dos opciones en cuanto al tipo de transferencia de calor que ocurre en el receptor. Si el líquido es expuesto directamente a la radiación y lo absorbe, se habla de receptor de intercambio directo. Por otro lado, si hay algún componente alternativo que transforma la radiación en calor y luego lo transfiere al líquido de trabajo por convección, se trata de un intercambio indirecto. En el siguiente cuadro se puede ver todas las Centrales termo solares que existen en el mundo:

**Tabla 2:** Centrales de Receptor Central del mundo

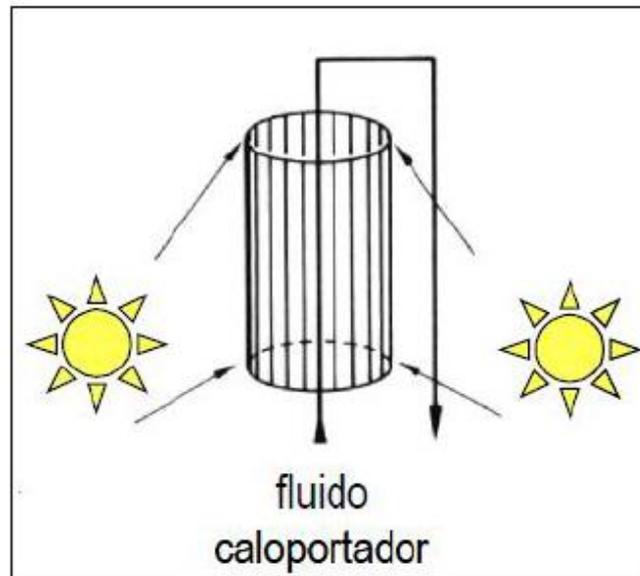
Central	Localización	Empresas	Potencia	Uso
AORA Solar Tulip Tower	Almería España	AORA	0.1 MW	1+D
CESA 1 (PSA)	Almería España	CIEMAT	-	1+D
Coalinga	EEUU	Chevron	29 MW	Comercial
Daegu Solar Power Tower	Korea Sur	Daesung Energy	0.2 MW	1+D
Eureka	Sevilla, España	Abengoa Solar	2 MW	1+D
Gemasolar	Sevilla, España	Torresol Energy	20 MW	Comercial
Ivanpah SEGS	EEUU	BrightSource	377 MW	Comercial
PS10	Sevilla, España	Abengoa Solar	11 MW	Comercial
PS20	Sevilla, España	Abengoa Solar	20 MW	Comercial
Solugas	España	Abengoa Solar	4.6 MW	1+D
Yanqing Solar Thermal	china	IEE - CAS	1 MW	1+D
Cerro Dominador	Chile	Acciona Abengoa	110MW	Comercia

Fuente: (Gonzales Quintero, 2014)

Al mismo tiempo existen cuatro principales tipos de receptores según su naturaleza:

a) **Receptor exterior**

La radiación solar se absorbe en unos tubos situados en el exterior por los que circula el fluido de trabajo como se muestra en la Figura 13. En resumen, la exposición al ambiente provoca pérdidas de calor significativas, lo que impide que se alcancen temperaturas superiores a 600°C. Además, esta exposición limita las relaciones de concentración del receptor, ya que, si son muy elevadas, los tubos pueden fundirse.

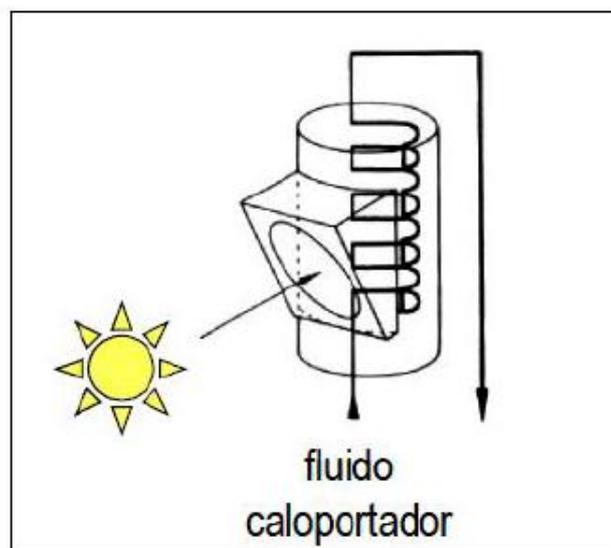


**Figura 13:** Receptor exterior

Fuente: (Celador L, M & Acosta I, 2016)

#### b) Receptor de cavidad

Los tubos receptores se encuentran en el interior de una cavidad que los protege del exterior haciendo que haya menos pérdidas, tal y como se ilustra en el esquema de la Figura 14. También rota una menor cantidad por ellos por eso el calor que obtiene el material es menor.

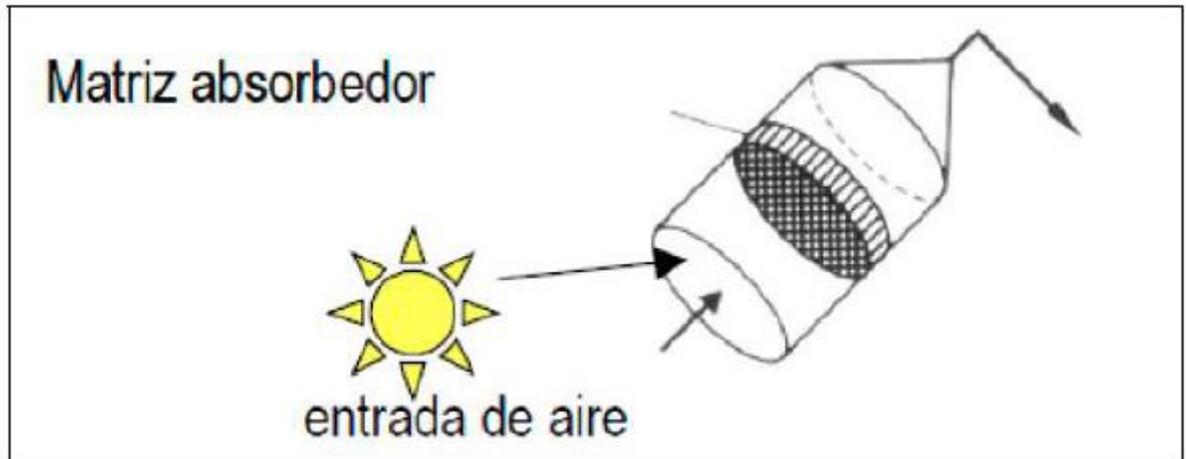


**Figura 14:** Receptor de cavidad

Fuente: (Celador L, M & Acosta I, 2016)

### c) Receptor volumétrico

La radiación se absorbe en una matriz porosa Figura 15. por la que circula el fluido térmico. Debido a que el líquido está en contacto directo con la pared que recepción la energía térmica, se pueden lograr calores significativamente más altos.



**Figura 15:** Receptor volumetrico

Fuente: (Celador L, M & Acosta I, 2016)

### d) Receptor de lecho fluido

En este receptor se utiliza como superficie receptora partículas de un material refractario que se encuentran en contacto directo con el fluido. Sus aplicaciones están más orientadas a la química solar que a la generación de electricidad. El rango de concentración de este tipo de instalaciones puede variar entre 600 y 2000. Las pérdidas en el receptor son mucho menores que en otro tipo de instalaciones solares debido a que su área es mucho más reducida. Esto hace que las pérdidas de Las partes más significativas son aquellas relacionadas con la reflexión de los espejos (alrededor del 10%) y la precisión en la orientación de la radiación hacia el receptor.

**Tabla 3:** Comparativa de tecnologías solares de concentración

Tecnología	Eficiencia	Rango de Temperaturas	Coste	Concentración	Seguimiento
Cilindro parabólico	Baja	50 – 500°C	Baja	15 - 45	Un eje
Lente Fresnel	Baja	50 – 300°C	Muy baja	10 – 40	Un eje
Torre solar	Alta	300 – 2000°C	Alto	150 – 1500	Dos ejes
Disco Stirling	Alta	150 – 1500°C	Muy alto	100 - 1000	Dos ejes

Fuente: (Gonzales Quintero, 2014)

## 2.5. COMPONENTES DE LA TORRE SOLAR

Una instalación de energía solar de generación en forma de torre está compuesta por los siguientes elementos.

### 2.5.1. Heliostatos

Los sistemas de torre solar aprovechan la energía del sol a través de los heliostatos, que reciben su nombre por "helio" que significa sol, y "stato" porque mantienen la imagen solar reflejada en una posición fija durante el día. Estos espejos tienen una curvatura leve para enfocar la imagen del sol y cuentan con un mecanismo de seguimiento para recolectar y concentrar la energía solar en un receptor ubicado en una torre. Existen revisiones detalladas sobre la tecnología antigua, actual y futura de los heliostatos. En la Figura 16 se muestran los heliostatos de segunda generación de Brightsource Energy.



**Figura 16:** Heliostato moderno

Fuente: (Revista Acciona y Tewel, 2021)

### 2.5.2. Superficie Reflectante

En la actualidad, los espejos de vidrio con revestimiento de plata son la opción preferida debido a su resistencia a la degradación. Los espejos delgados de vidrio (~1mm) tienen una mayor reflectividad, pero necesitan una estructura adicional de soporte. Por otro lado, los espejos de vidrio más gruesos (~4mm) son auto soportantes y requieren pocos puntos de sujeción. Existen alternativas como las placas de aluminio y películas metalizadas de polímero, pero tienen una baja reflectividad y necesitan revestimientos adicionales para protegerlos contra la abrasión y la limpieza. Para justificar el uso de alternativas, la reducción de costo del material debe ser mayor que la pérdida en reflectividad multiplicada por el costo específico del heliostato completo.

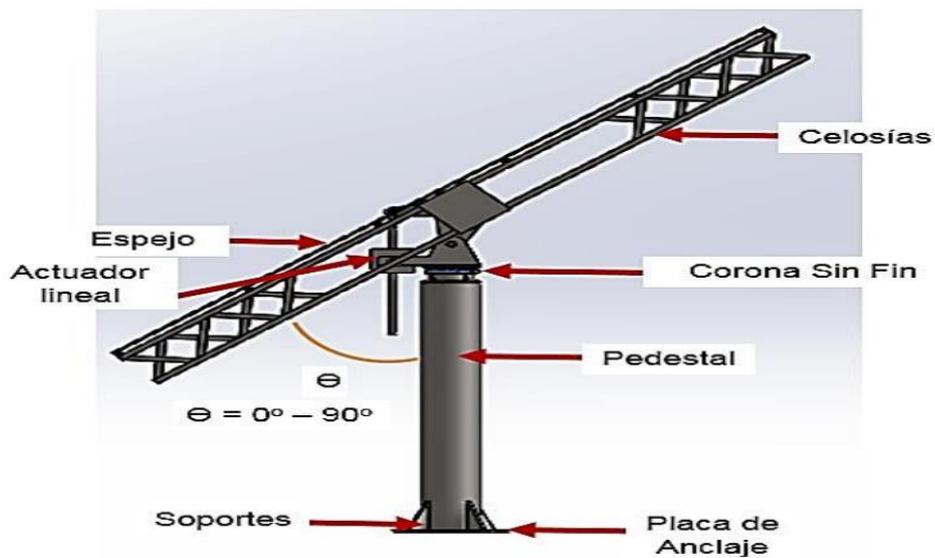


**Figura 17:** Espejos reflectantes

Fuente: (Santillan R, 2022)

### 2.5.3. Estructura del heliostato

Para propósitos de análisis se utilizó el modelo mostrado en la Figura 18, el cual está formado por un pedestal con soportes anclados al piso, un sistema de posicionamiento que incluye un mecanismo de biela manivela con un sistema de corona sin fin y un actuador lineal, y, por último, la estructura de soporte del cristal formada a partir de perfiles estructurales en acero ASTM A-36. Se decidió utilizar tubos PTR de 1.5" x 1.5" con un grosor de pared de 1/8" como marco principal para la estructura de soporte. Para las separaciones internas de refuerzo en cada tramo, se utilizaron tubos PTR de 1" x 1" con un grosor de pared de 1/8". El brazo central que permite el giro de la estructura está hecho de tubo con un diámetro de 4" y un grosor de pared de cédula 80. Asimismo, las placas laterales que sostienen el brazo a la estructura son de placa de 1/2".



**Figura 18:** Estructura del heliostato

Fuente: (LEDESMA JAIME, Reynaldo & RODRÍGUEZ SÁNCHEZ, 2016)

#### 2.5.4. Campo Solar de heliostatos

Se trata de un sistema compuesto por espejos dispuestos alrededor de una torre, la cual cuenta con un receptor solar en su parte superior. El objetivo de este sistema es concentrar la energía solar que ingresa al planeta y dirigirla hacia un punto específico, donde se genera una alta temperatura capaz de producir vapor.



**Figura 19:** Tecnología de campos de heliostatos y torre receptora

Fuente: Campos de heliostatos y torre receptora (Gentileza A, 2013)

### 2.5.5. Conceptos del Campo Solar

Tenemos dos disposiciones para el campo solar:

- **Campo norte:** La disposición de los heliostatos se encuentra ubicada en la parte frontal de la torre, específicamente al norte de la misma, lo que permite aprovechar al máximo la energía solar al tener un ángulo de incidencia más favorable. Además, la edificación del receptor es más simple ya que solo se requiere enfocarlo en una sola dirección. Figura 20.



**Figura 20:** Plantas termo solares PS10 y PS20 con campo Norte.

Fuente: (Yapu Maldonado, 2018)

- **Campo circular,** los espejos solares están dispuestos en un campo alrededor de la torre, y algunos de ellos están ubicados en la parte sur del campo. Figura 21.



**Figura 21:** Planta termosolar Gemasolar con campo circular

Fuente: (Yapu Maldonado, 2018)

La organización del conjunto de heliostatos se basa en dos factores a tener en cuenta:

- 1) La eficiencia anual de un campo de heliostatos ubicado en latitudes más al norte será mayor que la de un campo circular, especialmente en el hemisferio norte. Esto se debe a la ubicación geográfica de la planta termosolar en relación al ecuador terrestre.
- 2) El costo de la torre aumenta bruscamente con la altura, y los campos de heliostatos ubicados en latitudes más al norte necesitan torres más elevados que los campos circulares para generar la misma cantidad de energía térmica en el receptor.

Se debe considerar que, al aumentar el campo solar y el espacio de trabajo, el rendimiento óptico disminuirá, independientemente de la disposición elegida.

### **2.5.6. Receptores de calor**

El receptor absorbe la luz solar concentrada y Se puede entender que hay dos tipos de receptores solares que convierten la radiación solar en calor utilizable. En la actualidad, los paneles de los receptores comerciales tienen varios tubos, pero en el futuro se espera

que los receptores utilicen la absorción directa para lograr temperaturas más altas y una mayor eficiencia. El diseño de estos receptores puede variar desde tubos simples hasta receptores volumétricos presurizados más complejos, y se pueden clasificar en dos grupos principales.

Se requieren requisitos muy estrictos para los receptores debido a las condiciones extremas a las que están expuestos, como altos flujos de densidad solar y altas temperaturas. El receptor debe ser capaz de transferir el calor de manera eficiente, aceptar flujos de calor no uniformes y tener una larga vida útil sin ser muy costoso.



**Figura 22:** Receptor de sal fundida

Fuente: Central Crescent Dunes (Dr. Reiner B, 2014)

### **2.5.7. Torre**

La torre solar es la estructura que soporta el receptor solar y debe estar ubicada a una altura adecuada sobre el campo solar para maximizar la eficiencia. Según el (Dr. Reiner B, 2014). Dependiendo del diseño de la central de torre solar, la torre puede contener componentes adicionales como bloques de potencia, tuberías e instalaciones de mantenimiento. Hay diferentes tipos de torres disponibles según las condiciones del

emplazamiento, como torres de hormigón armado, torres de celosía y torres arriostradas. Además, se considera el uso de torres de turbinas eólicas para reducir los costos de inversión. La altura y forma de la torre tienen un impacto en la eficiencia del campo de heliostatos y en los costos de generación de calor. Al planificar la construcción de la torre, se deben considerar varios aspectos únicos.



**Figura 23:** Torre de concreto y de acero

Fuente: (Dr. Reiner B, 2014)

### 2.5.8. Medio de transferencia de calor

El medio de transferencia de calor es un elemento crucial en la configuración del sistema y los componentes de una central de torre solar. El receptor, ubicado en la parte superior de la torre, convierte la radiación solar en energía térmica, calentando así el medio de transferencia de calor. Luego, este fluido transfiere la energía térmica al bloque de potencia y/o almacenamiento. En sistemas donde el fluido de transferencia de calor es también el fluido de trabajo del ciclo de potencia, como en sistemas de agua/vapor, no se necesita un intercambiador de calor adicional.

Los medios que tienen una estructura sólida, al igual que las partículas sólidas, pueden ser empleados para la transmisión de calor, tal como se sugiere en la producción de energía solar mediante el uso de partículas cerámicas con un tamaño cercano a 1mm.

A diferencia de los fluidos, las partículas sólidas no sufren cambios de estado en un amplio intervalo de temperaturas y no tienen un límite mínimo de temperatura.

**Tabla 4:** Características de los medios típicos de transferencia de calor

	T min (°C)	T max (°C)	CONDUCTIVIDAD TÉRMICA (W/MK)	CAPACIDAD TÉRMICA VOLUMÉTRICA (KJ/M³K)
Agua / vapor	0(pf)	-	0.09 <sup>6</sup>	-
Aire	-	-	0.059	0.2
Helio	-	-	0.32	3.0
Sal solar	220(pf)	-565	0.55	2675
Sodio	98 (pf)	883 (pe)	64.9	1042
Eutéctico, plomo, bismuto	125 (pf)	1553 (pe)	14.9	1415
Partículas solidas	-	>1000	6.7	3560

(pf = punto de fusión; pe = punto de ebullición a presión estándar).

Fuente: (Dr. Reiner B, 2014)

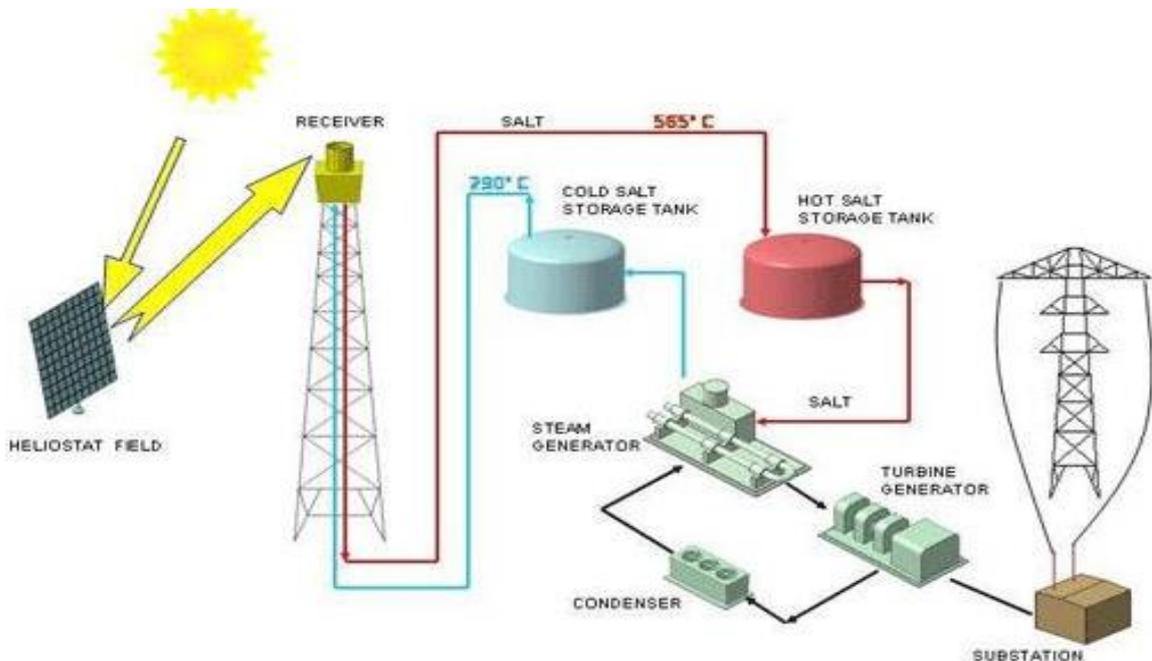
### 2.5.9. Almacenamiento

La inclusión del almacenamiento de energía térmica es una característica sumamente relevante que distingue a las plantas de energía solar concentrada (CSP) de la mayoría de las tecnologías de energía renovable. La acumulación de calor ofrece múltiples beneficios:

- La producción de energía permite ajustar la transmisión de electricidad a la red de acuerdo con la solicitud correspondiente.
- Alto rendimiento del sistema.

- Los sistemas de acumulación de calor tienen una capacidad de almacenamiento muy eficiente, con eficiencias que oscilan entre el 95% y el 99%.
- Es posible disminuir el tiempo necesario para poner en funcionamiento la central mediante el manejo de la energía almacenada.

La configuración del sistema de almacenamiento está estrechamente vinculada al diseño del sistema termo solar de torre y al conjunto de potencia. La selección y organización del almacenamiento térmico se basa principalmente en el tipo de líquido de transferencia de calor utilizado y en la temperatura que entra y sale del receptor.



**Figura 24:** Almacenamiento de un sistema termo solar de torre.

Fuente: (Dr. Reiner B, 2014)



## CAPITULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 MATERIALES

El presente proyecto se basa en el diseño y análisis de un sistema termo solar de torre central con almacenamiento que se describe a continuación.

Este sistema utiliza la energía solar para producir la potencia necesaria, a través de heliostatos que irradian la luz solar a un receptor en la torre principal. El receptor contiene agua que absorbe el calor y se transporta a un tanque de almacenamiento caliente. El fluido caliente se almacena para su uso posterior y también se puede utilizar una caldera de gas para producir calor cuando el receptor no está activo. El fluido caliente se distribuye a través de tuberías instaladas en cada cuarto del local de duchas calientes.

Existen dos maneras de usar agua caliente, el sistema puntual, que se utiliza en hogares donde el agua caliente se consume al comienzo o al final del día, y el sistema continuo, que se utiliza en lugares como locales de duchas calientes donde el agua caliente se consume durante todo el día. El sistema continuo resulta ser más efectivo y económico que el sistema puntual, debido a que emplea un depósito de almacenamiento de menor capacidad y una temperatura del agua almacenada más baja, lo que disminuye las pérdidas de calor.

##### 3.1.1 Local de Duchas Calientes

La ubicación geográfica del proyecto que se diseñó en el jr. 2 de mayo barrio santa Barbara en Juliaca – puno el predio cuenta con una superficie de  $200m^2$ . Dispone con los servicios de agua, desagüe y electricidad, el condominio se ubica en un lugar totalmente



libre de componentes que puedan obstaculizar la instalación. Por consideraciones de diseño, el local de duchas calientes cuenta con un aforo de 25 personas, los cuartitos son personales y familiares. La producción de agua caliente sanitaria será para todo el día, la atención al público es desde las 6 :30 am hasta las 7 :00 pm.

Las coordenadas geográficas de Juliaca son:

- Latitud : **15° 29 27''**
- Longitud : **70° 07 37''**
- Radiación Solar promedio diario: **5,36 Kwh/m2/día**
- Altitud: **3824 m.s.n.m.**

### **3.1.2. Orientación e Inclinación**

Se hace girar los espejos en un eje vertical para seguir la circulación del sol de este a oeste, a la vez que en un segundo eje horizontal se gira un tubo que sostiene los espejos para seguir su elevación durante el día. Los espejos tienen forma parabólica y reflejan los rayos solares hacia un punto focal, es decir, verticales al plano de reflexión del heliostato.

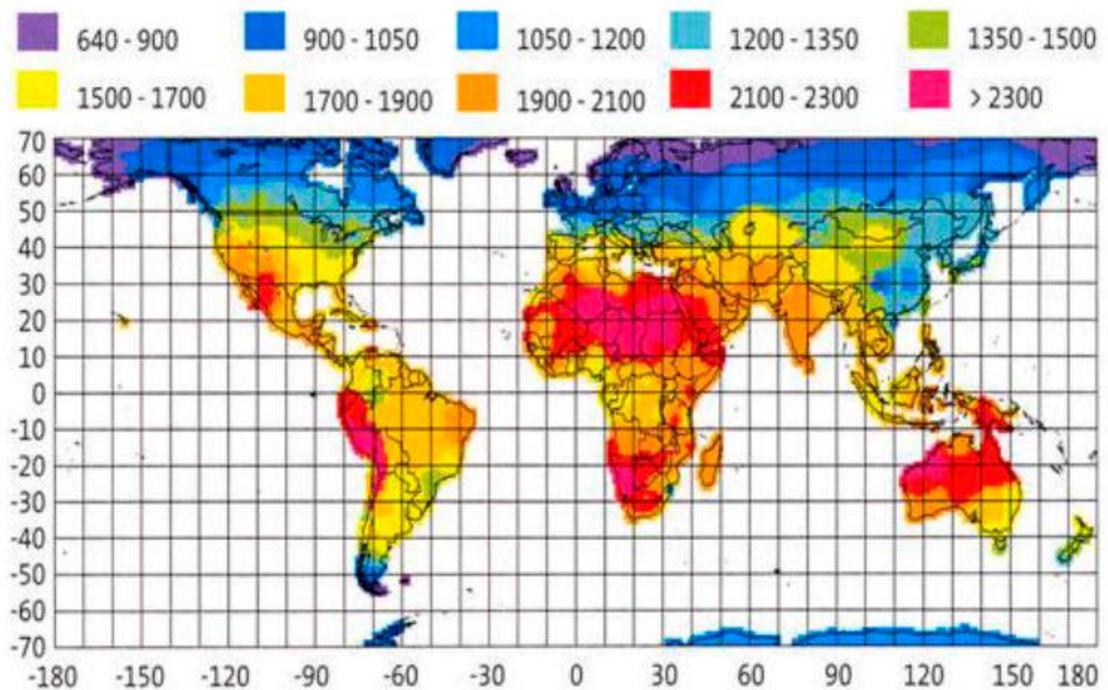
### **3.1.3. Estructura del Soporte**

El plan contempla el uso de la azotea del tercer piso para instalar un sistema termo solar de torre, junto con las estructuras necesarias para su montaje y un termotanque para almacenar agua caliente sanitaria. Tanto las estructuras como el soporte serán diseñados en base a un cálculo previo.

## 3.2. MÉTODO

### 3.2.1. Emplazamiento

Considerando el diseño del sistema termo solar de torre, es importante asegurarse de que la ubicación geográfica propuesta proporcionará la cantidad necesaria de energía para hacer que el diseño sea viable. Para ello, se utiliza un mapa general de radiación solar, tal como se mencionó en el capítulo anterior (Fig. 25), para calcular la variación de la energía solar. La experiencia indica que se recomienda una cantidad mínima de 3-4 KWh/m<sup>2</sup>día.



**Figura 25:** Mapa de radiación Global

Fuentes: (Yapu Maldonado, 2018)

### 3.2.2. Radiación Solar

En la creación del sistema termo solar de torre en Juliaca, se tomó en cuenta la radiación solar como un factor esencial en su diseño. Se utilizaron fuentes confiables como la información del SENAMHI - Juliaca. Los datos registrados por el SENAMHI y los datos medios de radiación solar horaria W/m<sup>2</sup> de sus diversas estaciones

meteorológicas de la región se utilizaron para el diseño. Las respuestas se muestran en tablas (3.1) y (3.2), donde al multiplicar la radiación promedio por la cantidad de horas del día se obtiene el promedio mensual de radiación en KWh/m<sup>2</sup>/día, que es el mecanismo habitual utilizada.

### 3.2.3. Detalle de la Medición de Irradiancia Solar.

Se ha utilizado los datos de una estación meteorológica cercana al lugar del proyecto de la estación se obtuvo datos como la irradiancia solar. Este sistema está hecho para ser usado en aplicaciones fotovoltaicas y fototérmicas y para evaluar el potencial solar en una zona determinada.

Además, los datos se pueden almacenar en la memoria del equipo desde donde es posible obtener los registros de mediciones realizados dentro de un lapso específico de tiempo. Es fácil de instalar y los datos se almacenan en un servidor, donde se presentan en gráficos para una buena interpretación del usuario como se ve en la figura.26.



**Figura 26:** Estación meteorológica  
Fuente: (medidor de radiacion solar, 2019)



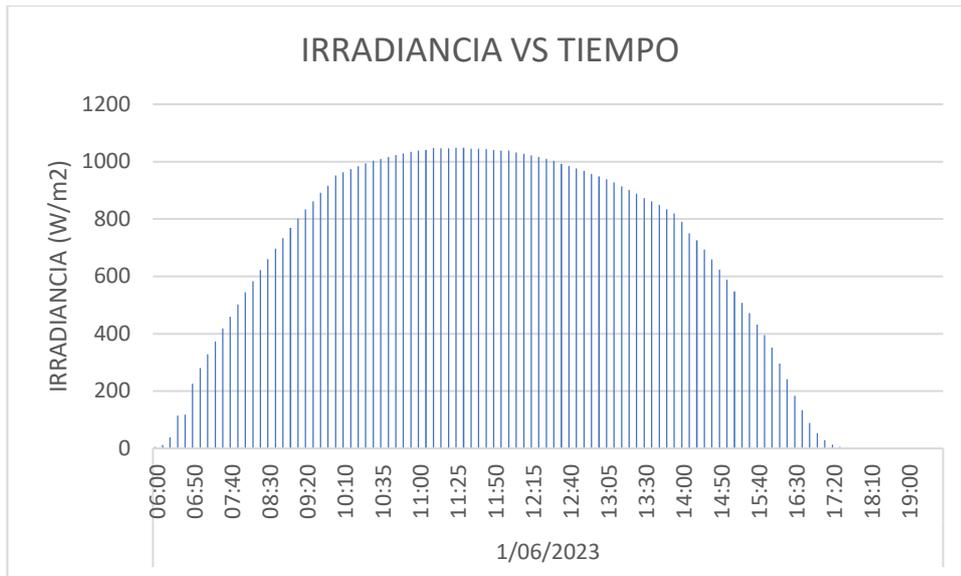
### **3.2.4. Técnica para la Identificación de la Radiación Solar en Juliaca**

Para identificar las propiedades de la radiación solar, se manejaron los valores obtenidos de la estación meteorológica de la universidad nacional de Juliaca que se solicitó los datos de irradiancia de un año y se trabajó con datos de todo un día. Posteriormente, se reducirá la cantidad de datos almacenados en el dispositivo mediante un procedimiento estadístico. Los valores de irradiancia de un día en intervalos de 5 a 10 min se presentan en la siguiente tabla 5.

**Tabla 5:** Datos de irradiancia de la estación meteorológica de la UNAJ

IRRADIANCIA (W/m <sup>2</sup> )								
FECHA	HORA	W/m <sup>2</sup>	FECHA	HORA	W/m <sup>2</sup>	FECHA	HORA	W/m <sup>2</sup>
1/06/2023	06:00	5	1/06/2023	11:00	1039	1/06/2023	14:00	790
1/06/2023	06:10	12	1/06/2023	11:05	1041	1/06/2023	14:10	750
1/06/2023	06:20	39	1/06/2023	11:10	1047	1/06/2023	14:20	726
1/06/2023	06:30	115	1/06/2023	11:15	1046	1/06/2023	14:30	693
1/06/2023	06:40	118	1/06/2023	11:20	1046	1/06/2023	14:40	659
1/06/2023	06:50	226	1/06/2023	11:25	1049	1/06/2023	14:50	623
1/06/2023	07:00	280	1/06/2023	11:30	1048	1/06/2023	15:00	589
1/06/2023	07:10	328	1/06/2023	11:35	1045	1/06/2023	15:10	548
1/06/2023	07:20	373	1/06/2023	11:40	1045	1/06/2023	15:20	508
1/06/2023	07:30	418	1/06/2023	11:45	1044	1/06/2023	15:30	472
1/06/2023	07:40	460	1/06/2023	11:50	1041	1/06/2023	15:40	432
1/06/2023	07:50	502	1/06/2023	11:55	1039	1/06/2023	15:50	395
1/06/2023	08:00	544	1/06/2023	12:00	1038	1/06/2023	16:00	352
1/06/2023	08:10	583	1/06/2023	12:05	1032	1/06/2023	16:10	296
1/06/2023	08:20	622	1/06/2023	12:10	1027	1/06/2023	16:20	241
1/06/2023	08:30	660	1/06/2023	12:15	1022	1/06/2023	16:30	184
1/06/2023	08:40	697	1/06/2023	12:20	1016	1/06/2023	16:40	133
1/06/2023	08:50	733	1/06/2023	12:25	1010	1/06/2023	16:50	89
1/06/2023	09:00	769	1/06/2023	12:30	1003	1/06/2023	17:00	53
1/06/2023	09:10	801	1/06/2023	12:35	992	1/06/2023	17:10	29
1/06/2023	09:20	834	1/06/2023	12:40	985	1/06/2023	17:20	13
1/06/2023	09:30	862	1/06/2023	12:45	976	1/06/2023	17:30	5
1/06/2023	09:40	891	1/06/2023	12:50	968	1/06/2023	17:40	2
1/06/2023	09:50	916	1/06/2023	12:55	957	1/06/2023	17:50	0
1/06/2023	10:05	952	1/06/2023	13:00	948	1/06/2023	18:00	0
1/06/2023	10:10	963	1/06/2023	13:05	938	1/06/2023	18:10	0
1/06/2023	10:15	974	1/06/2023	13:10	927	1/06/2023	18:20	0
1/06/2023	10:20	984	1/06/2023	13:15	914	1/06/2023	18:30	0
1/06/2023	10:25	994	1/06/2023	13:20	901	1/06/2023	18:40	0
1/06/2023	10:30	1003	1/06/2023	13:25	888	1/06/2023	18:50	0
1/06/2023	10:35	1010	1/06/2023	13:30	873	1/06/2023	19:00	0
1/06/2023	10:40	1016	1/06/2023	13:35	862	1/06/2023	19:10	0
1/06/2023	10:45	1023	1/06/2023	13:40	849	1/06/2023	19:20	0
1/06/2023	10:50	1029	1/06/2023	13:45	834	1/06/2023	19:30	0
1/06/2023	10:55	1034	1/06/2023	13:50	819	1/06/2023	19:40	0

Elaboración propia



**Figura 27:** Curva de irradiancia vs tiempo

Elaboración propia

máximo	1024.4
mínimo	0
Kw – H/m2	5.36

**Tabla 6:** Valores promedios de radiación solar horaria W/m<sup>2</sup> para Juliaca en el año

Hora/Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Promedio
1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6	11.65	4.36	2.61	1.53	0.32	0.00	0.00	0.35	13.27	36.31	46.15	25.42	11.83
7	120.23	111.46	108.84	98.97	85.19	27.43	48.39	89.03	192.03	229.55	299.35	169.71	131.68
8	313.39	322.04	358.39	326.10	122.94	49.43	71.23	330.48	462.30	490.62	534.08	356.74	311.48
9	510.71	568.82	601.65	568.60	324.10	58.47	153.03	543.61	676.47	694.79	712.19	576.84	499.11
10	693.03	781.04	768.13	763.23	698.87	635.70	576.13	723.77	888.43	868.72	883.62	780.35	755.09
11	813.32	939.86	867.52	860.13	813.55	782.97	783.35	848.03	1026.77	978.45	1026.38	820.77	880.09
12	935.90	1044.54	923.94	877.53	825.00	838.17	827.97	872.90	1080.07	958.00	1013.96	898.26	924.69
13	850.55	920.61	822.48	807.37	762.10	790.03	764.68	769.90	973.43	894.72	967.69	849.84	847.78
14	811.84	938.75	686.71	699.10	665.29	653.60	651.74	678.77	832.80	732.14	879.54	728.61	746.57
15	659.26	719.68	587.84	550.33	547.06	548.20	565.29	553.45	651.63	552.90	693.96	598.29	602.32
16	408.97	486.07	352.65	318.93	329.42	338.97	324.42	350.26	401.20	368.07	435.77	326.87	370.13
17	221.06	250.43	153.65	121.30	125.00	120.20	135.58	157.77	176.37	148.41	207.00	148.65	163.78
18	58.00	59.79	26.94	8.53	3.77	3.73	9.03	13.42	20.17	19.86	37.00	36.48	24.73
19	1.61	0.61	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.45	0.23
20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
21	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
22	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
23	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>Promedio</b>	<b>267.06</b>	<b>267.83</b>	<b>260.89</b>	<b>250.07</b>	<b>220.94</b>	<b>201.95</b>	<b>204.62</b>	<b>247.16</b>	<b>308.12</b>	<b>290.52</b>	<b>322.36</b>	<b>263.22</b>	<b>261.23</b>
<b>Maximo</b>	935.90	1044.54	923.94	877.53	825.00	838.17	827.97	872.90	1080.07	978.45	1026.38	898.26	927.43

Fuente: SENAMHI - JULIACA

**Tabla 7:** tabla de promedio diario, mensual de radiacion solar del Peru

Site	Lat	Long	Ele	Yr	I	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Aug	Sr
Abancay	13,63 S	72,88	2398	2	I	5,42	4,89	5,03	4,94	4,72	4,56	4,81	5,11	5,08	5,86	5,97	5,33	5,14	H
Angostura	15,17 S	71,63	4155	3	I	5,47	4,92	4,89	4,97	4,83	4,78	4,89	5,36	5,42	6,86	6,14	5,64	5,28	H
Alacocha	10,58 S	76,22	4023	2	I	4,78	4,44	4,75	5,08	5,00	4,94	5,11	5,28	4,94	5,53	5,44	5,11	5,03	H
Bambamarca	6,68S	78,52	2600	3	I	4,75	4,67	4,64	4,69	4,56	4,94	5,11	5,17	5,17	5,17	5,53	5,39	4,96	H
Cajamarca	7,17S	78,52	2750	1	I	4,56	4,89	4,25	4,44	4,58	4,28	4,44	5,08	4,72	4,75	5,11	5,08	4,68	H
Calana	17,93 S	70,18	590	3	I	6,44	6,19	5,72	5,11	4,33	4,03	4,11	4,69	5,28	6,39	6,44	6,42	5,43	P
CampodeMarte	12,07 S	77,03	137	1	I	4,94	5,58	5,17	5,39	4,06	2,89	2,56	2,83	3,56	3,5	5,28	5,06	4,24	H
Capochica	15,63 S	69,83	3868	3	I	5,47	5,44	5,19	5,31	4,89	4,83	5,03	5,44	5,78	6,17	6,28	5,64	5,46	H
Cañete	13,10 S	76,30	36	3	I	5,19	5,19	5,14	4,97	3,92	2,97	2,92	3,17	3,56	4,25	4,75	5,22	4,27	H]
Cartavio	7,92S	79,17	51	3	I	5,53	5,44	5,5	5,0	4,89	4,06	4,14	4,08	4,5	5,06	5,67	5,67	4,96	H
CasaGrande	7,77S	79,17	158	3	I	5,39	5,33	5,39	5,0	5,19	3,92	4,06	4,28	4,42	4,97	5,14	5,53	4,88	H
Caylloma	15,18 S	71,77	4320	2	I	5,56	4,92	4,78	4,86	4,75	4,78	4,97	5,44	5,31	6,06	6,14	5,86	5,28	H
Cayalli	6,88S	79,57	150	2	I	5,36	5,81	5,5	5,39	5,25	4,44	4,72	5,08	5,22	5,78	5,86	6,03	5,37	H
Characato	16,47 S	71,45	2461	3	I	6,14	5,33	6,56	5,50	5,22	4,81	5,19	5,64	6,11	6,92	7,06	6,58	5,84	H
Conococha	10,12 S	77,33	4020	3	I	4,86	4,33	4,44	4,72	4,78	4,89	5,17	5,42	5,25	4,69	5,53	5,08	4,95	H
CuscaRio Verde	15,48 S	70,67	4260	3	I	5,47	4,81	5,00	5,14	4,89	4,83	4,97	5,36	5,42	5,94	5,92	5,53	5,27	H
Cuzco	13,52 S	71,95	3365	3	I	5,19	4,69	4,92	5,03	4,81	4,78	5,06	5,11	5,17	5,64	5,75	5,22	5,11	H
Desaguadero	16,65 S	69,00	3850	3	I	5,72	5,56	5,58	5,53	4,92	4,67	4,81	5,39	5,47	6,17	6,06	5,67	5,46	H
DonMartin	11,03 S	77,68	50	3	I	5,33	5,06	5,06	4,86	4,0	3,25	3,36	3,58	3,97	4,36	5,03	5,44	4,44	H
El Fraile	16,15 S	71,18	4015	2	I	5,39	4,39	4,47	4,56	4,75	4,67	4,81	5,22	5,67	6,06	5,94	5,67	5,13	H
Fundolberia	11,35 S	69,57	180	3	I	4,81	4,67	4,64	4,31	4,25	4,31	4,69	5,25	5,03	5,0	5,06	4,61	4,72	H
GrunjaM. Sausapa	6,52S	79,92	45	1	I	5,75	5,81	6,22	6,28	5,83	5,0	4,86	5,31	5,81	6,0	5,94	5,89	5,72	H
HaciendaMajero	14,83 S	74,97	620	3	I	5,56	5,72	5,81	5,06	5,03	4,28	4,53	5,06	5,81	6,58	6,36	5,94	5,48	H
Haciendita	17,02 S	71,62	450	2	I	6,42	5,38	5,92	5,33	4,39	4,06	3,94	4,5	4,78	6,08	6,42	5,56	5,25	H
Huaraz	9,53S	77,52	3207	2	I	5,06	4,83	5,08	5,11	5,25	5,11	5,39	5,72	5,47	5,28	5,72	5,5	5,29	H
Huancaayo	12,05 S	75,18	3350	3	I	5,25	4,86	4,94	4,64	4,92	4,83	5,0	5,11	5,11	5,33	5,83	5,39	5,1	H
Huancaayo	12,12 S	75,33	3380	3	I	7,38	6,71	6,54	6,54	6,18	6,28	6,3	6,75	7,18	7,47	7,75	7,21	6,86	P
Huancayo	9,90S	75,75	1912	2	I	4,67	4,53	4,64	4,64	4,78	4,58	4,81	5,14	4,86	5,08	5,33	4,89	4,83	H
Huayra-Moho	15,35 S	69,50	3890	3	I	5,25	4,69	5,0	5,31	4,83	4,83	5,14	5,56	5,69	5,86	6,03	5,31	5,29	H
Ica	14,08 S	75,73	398	2	I	5,86	5,0	5,42	5,11	4,78	5,75	4,17	4,81	5,25	6,17	6,44	6,14	5,41	H
Imata	15,82 S	71,07	4405	3	I	5,25	4,81	4,78	4,94	4,81	4,72	5,0	5,33	5,31	5,86	5,94	5,53	5,19	H
Juli	16,20 S	69,43	3862	2	I	5,5	4,81	4,47	5,25	5,11	4,78	4,97	4,97	5,47	6,06	6,06	5,33	5,23	H
Kayra	13,55 S	71,88	3219	2	I	5,0	4,47	4,61	4,86	4,64	4,78	4,97	5,03	5,08	5,33	5,56	4,89	4,93	H
Lagunillas	15,58 S	70,92	4280	3	I	5,67	5,22	5,11	5,03	4,67	4,53	4,89	5,53	5,58	6,28	6,39	5,75	5,39	H
Lambayeque	6,70S	79,90	18	3	I	5,17	5,61	5,5	5,31	5,08	4,64	4,39	4,72	5,03	5,47	5,64	5,81	5,2	H
LaMolina	12,08 S	76,95	251	3	I	5,03	5,17	5,25	5,0	3,97	3,33	3,31	3,56	3,75	4,36	4,83	5,08	4,39	H
Lampas Alto	10,08 S	77,28	4030	3	I	4,78	4,11	4,56	4,56	4,78	4,72	5,25	5,42	5,25	4,67	5,44	4,97	4,88	H
Lampas Bajo	10,07 S	77,37	3950	3	I	4,86	4,44	4,56	4,64	4,81	4,92	5,36	5,42	4,19	4,97	5,64	5,53	4,94	H
LaPunta	12,07 S	77,17	13	2	I	4,5	5,08	4,94	4,72	3,89	2,94	2,89	3,0	3,17	3,61	4,28	4,86	3,99	H
LaSalle	16,40 S	71,53	2330	3	I	6,14	5,33	5,58	5,33	5,22	4,72	5,11	5,64	5,94	6,58	7,06	6,58	5,77	H
Limacon	6,68S	78,52	2600	1	I	4,64	4,89	4,56	4,08	4,14	4,47	4,39	4,72	5,03	5,28	5,53	5,69	4,78	H
LosCedros	3,13S	80,67	5	3	I	4,78	5,39	5,44	5,25	5,28	4,53	4,61	4,67	4,39	5,48	4,86	5,39	4,93	H
Moquegua	17,20 S	70,93	1420	2	I	7,67	5,19	5,89	5,92	5,14	4,92	5,0	5,75	6,5	7,03	7,33	7,28	6,13	H
Nashua	8,63S	74,92	340	1	I	4,81	4,72	4,14	3,75	3,78	3,53	4,28	5,03	5,17	5,08	5,17	5,67	4,59	H
PampaBlanca	17,10 S	71,75	455	2	I	5,28	4,75	5,19	4,78	3,67	3,11	3,42	3,42	3,28	4,42	4,66	5,11	4,27	H
PampaDe Majes	16,35 S	72,17	1433	3	I	6,58	5,97	6,08	5,69	5,22	4,86	5,36	5,81	6,22	7,03	7,31	6,92	6,09	H
Puno	15,42 S	71,07	4524	3	I	5,03	4,69	4,58	4,67	4,33	4,61	4,64	4,83	4,83	5,22	5,72	5,31	4,87	H
Puno	15,83 S	70,03	3875	2	I	5,69	5,22	5,28	5,28	4,97	4,78	5,0	5,61	5,78	6,39	6,61	5,67	5,52	H
PuntadeCotas	17,68 S	71,38	15	2	I	6,67	6,36	6,61	5,19	4,14	3,25	3,0	3,67	3,42	4,58	6,36	6,28	4,96	P
Querocococha	9,68S	77,35	3935	1	I	4,33	4,22	4,56	4,83	4,72	4,61	5,0	5,25	5,17	4,67	5,31	4,64	4,78	H
Quillabamba	12,83 S	72,72	1660	2	I	4,44	4,33	4,72	4,25	4,33	4,22	4,44	4,44	4,5	4,89	4,97	4,56	4,51	H
Salcedo	15,32 S	70,02	3852	3	I	5,47	5,11	5,11	5,14	4,83	4,61	4,69	5,28	5,5	6,17	5,36	5,64	5,34	H
San Jacinto	9,17S	78,32	283	3	I	5,06	4,33	5,17	4,94	4,75	4,0	4,33	4,5	4,97	5,72	5,83	5,83	4,95	H
San Jorge	8,53S	74,87	270	2	I	4,81	4,61	4,67	4,5	4,42	4,36	4,92	5,39	5,0	5,19	4,53	4,61	4,75	H
San Lorenzo	9,75S	77,47	3750	1	I	4,86	4,44	4,56	4,92	4,72	4,75	5,28	5,42	5,36	5,19	5,75	5,19	5,04	H
San Ramon	11,15 S	75,38	800	3	I	4,5	4,33	4,44	4,5	4,53	4,25	4,64	4,69	4,72	5,19	5,14	5,14	4,67	H
Sibayo	15,48 S	71,45	3847	3	I	5,36	4,69	4,69	4,94	4,81	4,75	4,89	5,0	5,22	5,86	5,94	5,53	5,14	H
Tablazo	5,37S	81,78	147	3	I	4,19	5,28	5,61	5,17	5,33	4,64	4,83	5,44	5,64	5,89	5,78	6,14	5,33	H
Tarapoto	6,58S	76,32	356	3	I	4,75	4,67	4,36	4,28	4,17	4,06	4,58	4,83	4,72	4,72	4,69	4,83	4,57	H
Tejederos	4,75S	80,23	2500	3	I	4,47	4,75	5,08	4,81	5,28	4,86	5,05	5,39	5,64	5,75	5,78	5,58	5,2	H
Tinajones	6,67S	79,47	220	3	I	5,44	5,61	5,39	5,58	5,72	5,06	5,75	5,86	6,0	6,22	6,5	6,64	5,81	H
Tumelcero	13,12 S	75,07	4600	3	I	4,97	4,67	5,14	4,97	4,67	4,81	5,08	5,42	5,28	5,66	6,97	5,44	5,19	H
Yurac	9,00S	75,67	420	3	I	4,31	4,0	4,14	4,11	3,94	3,67	4,17	4,72	4,69	4,67	4,64	4,31	4,28	H
Zorrillos	3,67S	80,67	5	2	I	5,03	5,53	5,08	5,42	5,25	5,11	4,75	4,25	4,56	5,11	5,42	5,33	5,07	H

Fuente: (SENAMHI - JULIACA,)

**Tabla 8:** promedio mensual de la radiación solar para Juliaca – Puno(2021-2022)

MES	2021	2022	PROMEDIO
Enero	6.20	6.30	6.25
Febrero	6.75	6.21	6.98
Marzo	6.32	6.48	6.40
Abril	5.74	5.94	5.84
Mayo	5.40	5.32	5.36
Junio	4.86	4.94	4.90
Julio	5.31	5.29	5.30
Agosto	6.54	6.52	6.53
Setiembre	6.98	7.22	7.10
Octubre	6.93	6.89	6.91
Noviembre	7.84	7.44	7.64
Diciembre	6.57	6.85	6.71
<b>PROMEDIO</b>	<b>6.35</b>	<b>6.41</b>	<b>6.38</b>

Fuente: (SENAMHI - JULIACA.)

### 3.2.5. Punto de Diseño del Sistema Termo Solar de Torre

Según (Dr. Romero Alvarez, 2008) la fase inicial del diseño, se determinará la hora solar (ts) y el día del año (N) específico para el diseño, considerando que cada día tiene una radiación directa de diseño. Por lo general, se comienza el diseño a partir del mediodía solar en el equinoccio de primavera y se establece una potencia de diseño. A partir de esto, se obtendrá la potencia térmica en Watts (Wt). Durante la noche, cuando no hay radiación solar, se implementará un sistema de almacenamiento.

### 3.2.6. Múltiplo Solar (ms)

La correspondencia entre la cantidad de energía que el receptor recibe y la cantidad de energía que el sistema está diseñado para recibir se llama Múltiplo Solar (MS). Si se desea tener un sistema de almacenamiento que funcione sin radiación solar, se debe elegir

un MS mayor que 1. Por otro lado, si no se necesita almacenamiento, se puede elegir un MS igual a 1. Según.(Gonzalez Aguilar, 2016).

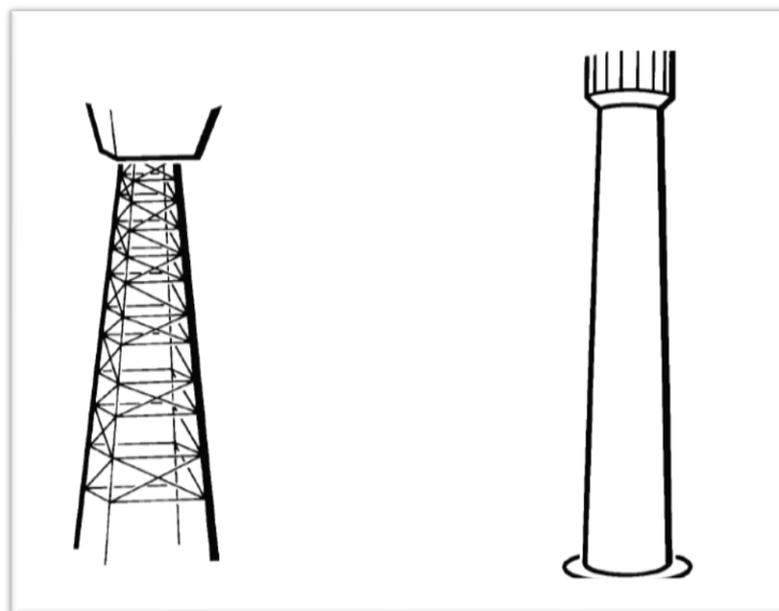
Para hallar el múltiplo solar lo realizamos mediante la ecuación 3.1

$$MS = \frac{P_{Receptor}}{P_{Diseño}} \quad (3.1)$$

Donde: Potencia receptor ( $P_{receptor}$ ) en MWt será mayor a la potencia de diseño ( $P_{diseño}$ ) en MWe.

### 3.2.7. Altura de la Torre

La función principal de las torres es levantar el receptor a la altura requerida, la cual varía según el diseño de la planta y el tamaño del receptor. El material utilizado para la construcción de las torres puede ser acero, celosía o hormigón armado, dependiendo de los requisitos y del presupuesto disponible. En general, se utiliza acero para torres de menos de 120 metros y hormigón armado para torres más altas según. (Dr. Romero Alvarez, 2008).



**Figura 28:** Tipos de torre de hormigón y acero

Fuente:(Gonzales Quintero, 2014)

### 3.2.8. Área del Receptor

Después de determinar la altura de la torre, se determina la superficie de absorción del receptor de acuerdo al fluido de transferencia de calor (HTF) utilizado para almacenar el agua. A partir de este volumen, podemos hallar las medidas básicas del receptor, como el diámetro y la altura.

### 3.2.9. Dimensionado del Almacenamiento

La cantidad de acumulamiento está relacionada con la cantidad de energía solar y es un factor importante a considerar. Si se tiene un sistema de acumulamiento que pueda proporcionar energía para el funcionamiento de las duchas calientes durante todo el día, sería una opción práctica y rentable. La capacidad del sistema debería ser similar a la de los sistemas convencionales de alta eficiencia, lo que se puede lograr con un factor de capacidad de entre 8 y 12 horas de funcionamiento.



**Figura 29:** Tamaño del termotanque de acuerdo a la capacidad del local.

Fuente: Master en Energía Renovable (Gonzalez Aguilar, 2016)

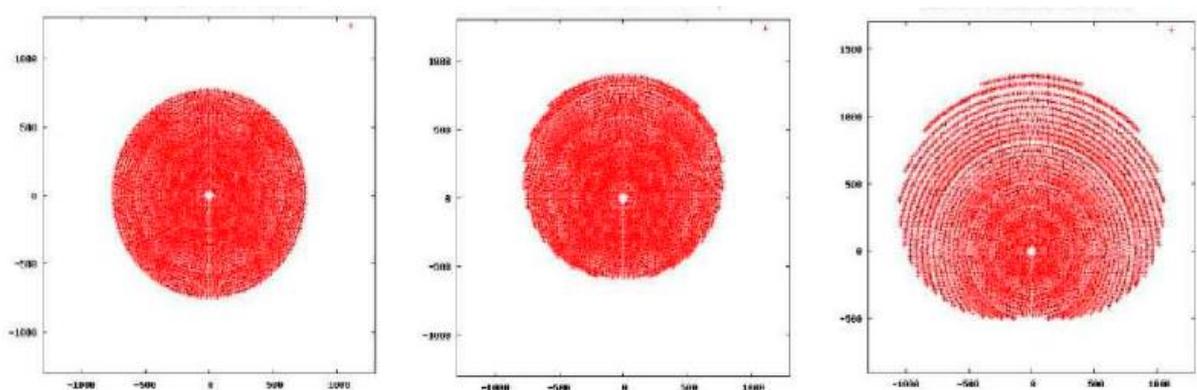
### 3.3. DISEÑO DEL SISTEMA TERMO SOLAR DE TORRE

Antes de empezar a diseñar un sistema termo solar de torre, es importante asegurarnos de que la ubicación geográfica tenga la cantidad suficiente de energía solar para que el diseño sea viable. Para esto, se utiliza un mapa general de radiación solar que se mencionó en el apartado 1, el cual muestra cómo de inestable es la energía solar en diferentes lugares del mundo. La experiencia indica que se necesitan al menos 3-4 KWh/m<sup>2</sup>día para que el sistema sea efectivo.

#### 3.3.1. Campos de Espejos Refractarios (Heliostatos)

Para diseñar de un sistema termo solar de concentración de torre, el primer paso es dimensionar el campo de heliostatos, ya que es la parte más costosa económicamente.

Aunque se supone que el campo debiera ser circular debido a que el receptor cilíndrico vertical lo es, en realidad siempre se tiende a juntar más heliostatos en la parte norte que en la sur en un sistema termo solar situado en el hemisferio norte. Según (Morón Orta, 2016) Esto se debe al ángulo de incidencia del sol por lo tanto, los campos suelen tener una geometría ovalada y la distribución del campo de heliostatos varía de acuerdo a la latitud. En la figura 30. se muestra esta variación.



**Figura 30:** Campo de heliostatos para 0°, 20° y 60° de latitud.

Fuente: Mecanismos de Orientación (Morón Orta, 2016)

- En los sistemas termo solares de torre, la posición de los espejos en el campo se determina siguiendo premisas comunes, que serán aplicadas en esta instalación.
- La primera fila de espejos está ubicado a una longitud de la torre de valor que equivale a la mitad de la altura de la torre, lo que sería igual a 1.5 metros.
- Para prevenir posibles interferencias entre las filas, se aplicará una separación radial ( $\Delta R$ ) a los anillos. La fórmula que se utilizará para calcular esta separación es la siguiente:

$$\Delta R = \sqrt{A} \cdot \left(1.25 + \frac{i}{20}\right) \quad (3.2)$$

Donde: A sería la superficie del espejo de cada heliostato ( $m^2$ ) e i sería el anillo en el que se encuentra el heliostato.

Para evitar que los heliostatos cercanos creen problemas de sombras, se separarán longitudinalmente ( $\Delta L$ ) utilizando la ecuación: 3.3.

$$\Delta L = \sqrt{A} \cdot \left(1.5 + \frac{i}{20}\right) \quad (3.3)$$

Donde: A es el área del espejo de cada heliostato ( $m^2$ ) e “i” es la fila en el que se encuentra el heliostato.

La cantidad de heliostatos en cada anillo del campo podría ser determinada utilizando la fórmula 3.4.

$$NH(i) = 2 \cdot \pi \cdot \frac{R_i}{\sqrt{A} \cdot \left(1.5 + \frac{i}{20}\right)} \quad (3.4)$$

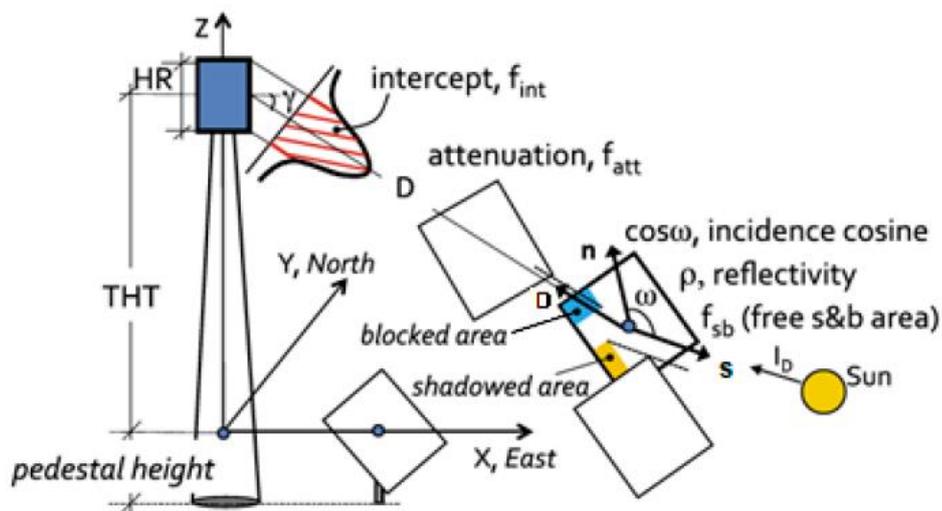
Es importante calcular el área total que abarca el campo de espejos refractarios para poder tener en cuenta el costo y la disponibilidad del terreno. Si conocemos el radio, podemos calcular fácilmente el área que cubre cada anillo.

$$Area = \pi * R(i)^2 \quad (3.5)$$

### 3.3.2. Campo de Espejos Refractarios (Heliostatos) Circular

Se utilizo un modelo simplificado llamado modelo pseudo-continuo para diseñar el campo de espejos refractarios para un local de duchas calientes con campo circular. Este modelo combina una función razonada de la densidad de flujo que envía un espejo al área del receptor, estudiado por (Callado Gimenes, F.J. & A. Gomes, 1986) con una distribución de densidad especular optimizada.

Para diseñar un campo circular, es importante analizar los factores que afectarán su eficiencia y determinar las medidas preliminares, como la longitud de la torre (THT) y el receptor (HR). Estas medidas están estrechamente relacionadas con la medida del campo solar. Una vez que se tienen claros estos pasos, se puede proceder a determinar la medida y posición de los espejos para originar el campo de espejos. Según (Yapu Maldonado, 2018) en este proceso, se deben considerar definiciones como el factor de interceptación  $f_{int}$ , el factor de atenuación  $f_{att}$ , el ángulo de incidencia  $\omega_i$ , la reflectividad  $\rho$ , el factor de bloqueo y las sombras  $f_{sb}$ . como se muestra en la figura. (31).



**Figura 31:** Nomenclatura de la eficiencia óptica en un campo de heliostatos

Fuente: Diseño de una planta termo solar (Yapu Maldonado, 2018)

### 3.3.2.1. Diagonal del Espejo Refractivo (heliostato)

La ecuación para calcular la diagonal de un heliostato (DH) utiliza el largo y la altura del heliostato, así como la altura del mismo. Con esta información, podemos evaluar la longitud entre heliostatos adyacentes.

$$DH = (\sqrt{1 + wr^2})LH \quad (3.6)$$

$$wr = \frac{LW}{LH} \quad (3.7)$$

Donde: LW= Ancho del heliostato, LH= Altura del heliostato, wr = Relación de largo y altura del heliostato.

### 3.3.2.2. Diagonal con distancia de Seguridad

La razón por la cual se agrega una distancia de seguridad mediante la ecuación 3.8 es porque los espejos adyacentes no pueden estar en unión entre sí para dejar su desplazamiento de altitud y azimut.

$$DH_s = (\sqrt{1 + wr^2} + ds)LH \quad (3.8)$$

Donde: DHs = Diagonal con longitud de seguridad, ds = longitud de seguridad En cuanto a la longitud de seguridad (ds) esta oscila entre  $0.1m \leq ds \leq 0.85m$ .

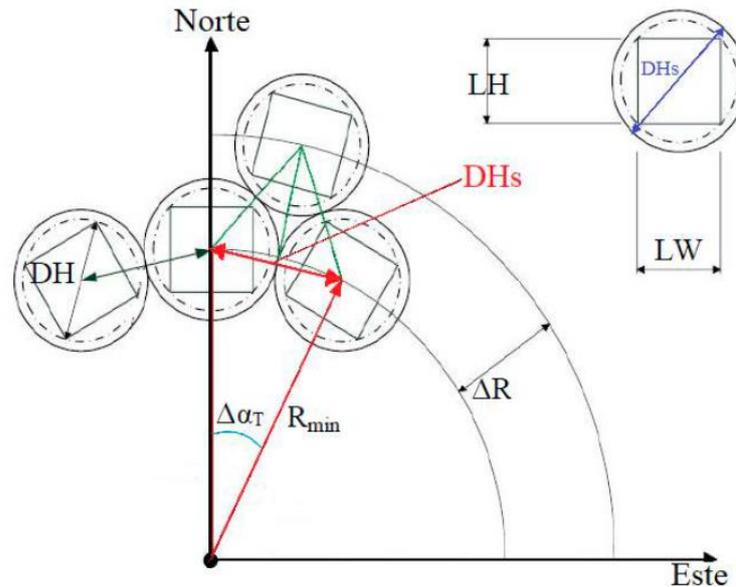
### 3.3.2.3. Angulo azimutal incremental

Se refiere al cambio del ángulo azimutal en cada fila de helióstatos al moverse desde el medio de la torre principal hacia afuera. A medida que se aumenta el radio entre anillos, el ángulo disminuye y se puede calcular utilizando la ecuación.

$$\Delta\alpha_r = 2\tan^{-1}\left(\frac{DH_s}{R_{min}}\right) \quad (3.9)$$

Donde:  $\Delta\alpha_r$  = aumento del ángulo azimutal,  $R_{min}$  = Radio inicial de longitud de la primera fila de heliostatos.

La figura 32. muestra las variables que se examinaron previamente. Se puede utilizar el triángulo formado por las líneas rojas para calcular el ángulo azimutal en diferentes posiciones.



**Figura 32:** Definiciones fundamentales de un campo de heliostatos

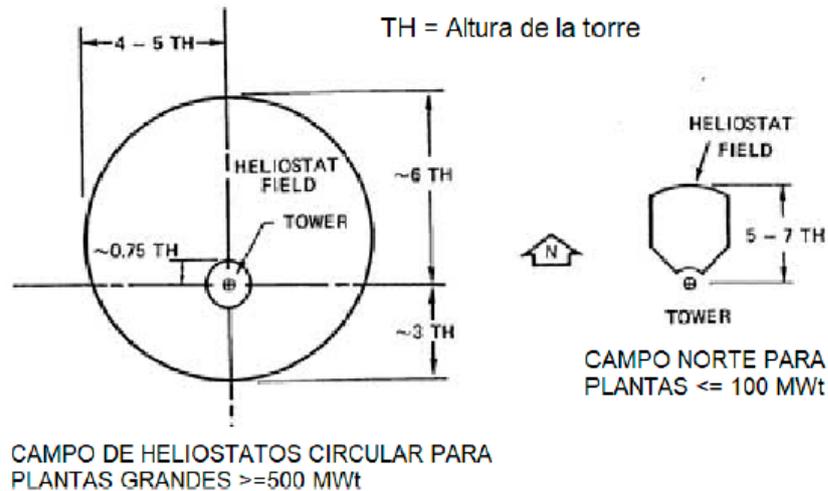
Fuente: Diseño de una planta termo solar (Yapu Maldonado, 2018)

### 3.3.2.4. Radio Inicial (R<sub>min</sub>)

Se han realizado diversas investigaciones de optimización para determinar el valor inicial del radio mínimo, y se han obtenido valores optimizados como resultado.

$$R_i = \frac{H_{\text{TORRE}}}{2} \quad (3.10)$$

En el caso de (Battleson stine, 1989), se nos dan datos sobre la altura de la torre en plantas termosolares que tienen una capacidad menor a 100 MWt y otra para aquellas con una capacidad mayor a 500 MWt, ambas arrojan un valor aproximado del 75% de la altura de la torre. como se ve en la Figura 3.9.

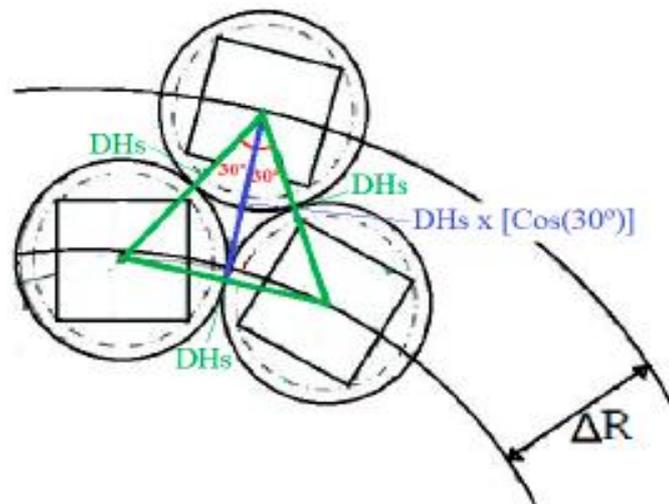


**Figura 33:** Valores óptimos de plantas solares

Fuente: Valores optimos de plantas termosolares (Battleson stine, 1989)

### 3.3.2.5. Incremento Radial entre Filas Consecutivas ( $\Delta R$ )

Se puede calcular la desigualdad de radios entre cada línea de heliostatos utilizando una relación geométrica. En la figura (34) se puede visualizar que el triángulo formado por tres heliostatos circundantes es equilátero y, si se amplía la imagen a la figura (35), se puede definir la ecuación (3.11).



**Figura 34:** Variación del radio entre filas

Fuente: Variación del radio entre filas (Battleson stine, 1989)

$$\Delta R \approx DH_s \cos 30^\circ \quad (3.11)$$

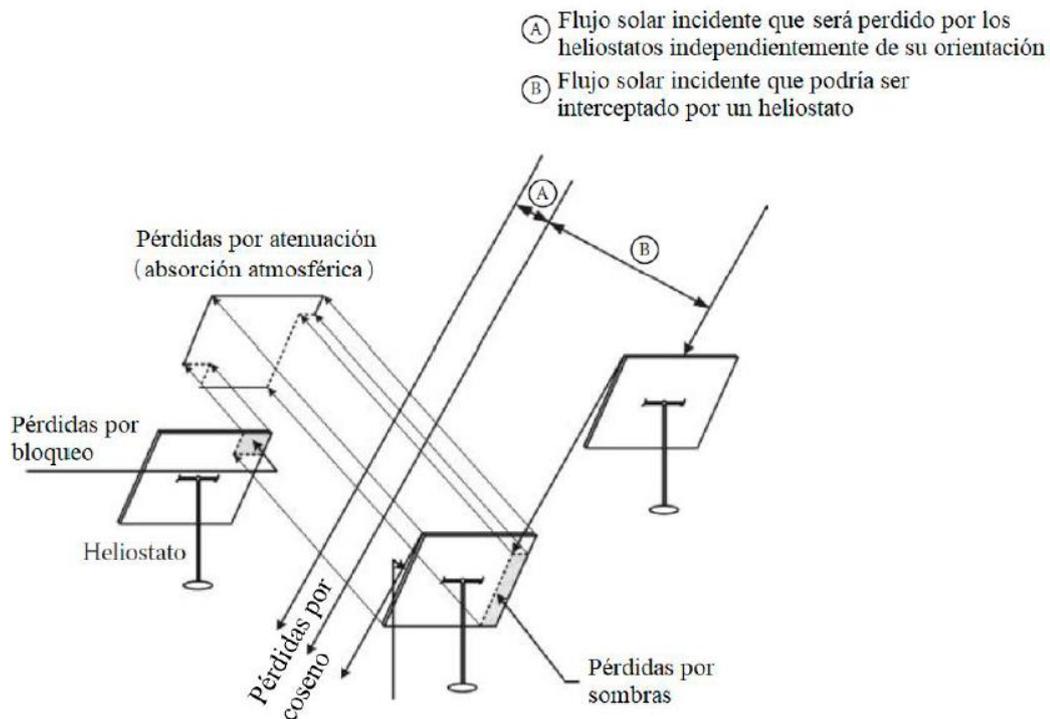
Si se busca una medida precisa para calcular cómo varía el radio en cada fila de helióstatos, se puede utilizar la ecuación (3.12) que se obtiene a partir del factor de sombras y bloqueo. Si asumimos que el terreno es plano, lo que implica que  $\beta=0$ , y que el factor de bloqueo ( $f_b$ ) de la primera fila es constante para los demás valores, entonces podemos resolver para  $\Delta R$  utilizando la ecuación.

$$\Delta R = \left[ \left( \frac{\cos \omega_i}{\cos \epsilon_t} \right) \left( 1 - \frac{(1-f_{sb})wr}{2wr - (\sqrt{1-wr^2} + ds)} \right) \right] LH \quad (3.12)$$

En relación al factor de bloqueo ( $f_b$ ), se emplea el valor promedio anual comúnmente utilizado. El promedio general de pérdida debido a sombras y bloqueo es del 5,60%, lo que significa que  $f_b$  equivale a 0,944.

### 3.3.2.6. Factor Sombras y Bloqueo

El factor de sombras y bloqueo depende de la postura del sol, el emplazamiento del heliostato y de los espejos adyacentes. Si un espejo obstruye la radiación incidente, se produce sombreado. Si la figura reflejada de un espejo es obstruida por otro, figura (35) se produce bloqueo. El factor de sombreado y bloqueo se define como la proporción entre el área del espejo que no está sombreada o bloqueada y el área total del espejo. Si se desea disminuir la reducción causada por el sombreado y bloqueo, se puede aumentar la distancia entre los espejos, pero esto implica un aumento en el tamaño del campo de espejos, el factor de atenuación atmosférica y los costos.



**Figura 35:** Pérdidas por sombras y bloqueo en un campo de heliostatos

Fuente: Perdidas por sombra y bloqueo (Yapu Maldonado, 2018)

### 3.3.2.7. Inclinación y orientación del espejo refractario (heliostato)

Los rayos siempre apuntan hacia un plano perpendicular al plano de reflexión cuando el eje de rotación está alineado con el receptor. Si se utilizan grandes heliostatos en pequeñas centrales eléctricas, se puede lograr una ganancia significativa en eficiencia. Sin embargo, en pequeñas centrales eléctricas se suelen utilizar heliostatos más pequeños, lo que resulta en una ganancia porcentualmente menor en eficiencia. Además, el esfuerzo adicional requerido para ordenar el eje de giro con el objetivo es significativo.

En resumen, según el (Dr. Reiner B, 2014), los heliostatos ubicados al norte de la torre tienen un ángulo de incidencia menor que los ubicados al sur, lo que resulta en menores pérdidas de coseno. Existen dos tipos principales de campos de heliostatos: los campos norte y los campos envolventes, aunque se da mayor énfasis a los primeros. Los campos norte tienen un rendimiento anual superior fuera del ecuador, con su rendimiento máximo ubicado alrededor de los 30°N. Por otro lado, los campos envolventes presentan

un mejor rendimiento en el ecuador. En latitudes más altas ( $>40^\circ$ ), ambos tipos de campos tienen mejores rendimientos debido al efecto de bloqueo y sombreado, como se observa en la figura 36.



**Figura 36:** Inclinación y orientación de heliostatos situados a ambos lados de la torre.

Fuente: Condiciones geométricas de heliostatos (Dr. Reiner B, 2014)

Para maximizar la captación de radiación solar durante el día, es recomendable que el sistema termosolar esté orientado hacia el norte (azimut) y tenga un ángulo de inclinación de alrededor de  $30^\circ$  a  $40^\circ$  (latitud). Además, se debe limitar el rango de ángulo a  $120^\circ$  o menos para los campos envolventes. En cuanto al segundo eje, se necesitaría más información para proporcionar una respuesta precisa.

### 3.4. RECEPTOR CILÍNDRICO VERTICAL

#### 3.4.1 Características generales del receptor

El tamaño del receptor cilíndrico en la parte de arriba de la torre debe ser adecuado para:



- Trata de capturar la mayor porción de radiación solar reflejada por los espejos refractarios, también conocidos como (heliostatos.)
- Lograr que el líquido utilizado para transferir calor alcance la temperatura requerida según el diseño.

### 3.4.2. Potencia enviada al receptor por un heliostato

En general, la potencia enviada por un heliostato al receptor puede variar significativamente de acuerdo a las condiciones ambientales y los parámetros del sistema. Por lo tanto, es importante realizar cálculos precisos y tener en cuenta todos los factores relevantes al diseñar la ecuación 3.14, podemos inferir que la cantidad total de energía enviada por un heliostato a un receptor será.

$$P_r = A_h \rho I_D f_{sb} fat \cos\omega i \quad (3.13)$$

Donde:  $I_D$  = Radiación directa de diseño,  $\rho$  = Reflectividad de los espejos,  $f_{sb}$  = Factor de sombras y bloqueo,  $fat$  = Factor de atenuación atmosférica.  $A_h$  = área del heliostato,  $\cos\omega i$  = Coseno del ángulo incidente.

Es crucial mencionar las pérdidas que experimenta el receptor, al igual que con el campo. Dichas pérdidas se deben a la conversión fototérmica y pueden ser clasificadas en diferentes tipos.

- La disminución de energía por radiación se puede dividir en dos tipos: pérdidas por reflexión, que están relacionadas con la superficie que absorbe la energía, y las mermas por emisión, que dependen de la temperatura y de la capacidad de área para emitir energía.
- Las pérdidas de calor que se generan por la transferencia de calor entre el área absorbente y el viento circundante, ya sea por convección natural o forzada debido



al viento, son proporcionales a la desigualdad de calor entre el área absorbente y el ambiente.

- Las mermas que se originan desde el absorbedor hasta los componentes estructurales y auxiliares que están en conexión con el receptor a la vez dependen de la desigualdad de temperatura entre el absorbedor y estos componentes.

### 3.4.3. Fluido térmico (agua)

El líquido vital, agua, se puede encontrar en los tres estados de la materia en nuestro planeta: sólido, líquido y gaseoso. El hielo flota en el agua debido a que es menos denso y no tiene propiedades sensoriales como sabor, olor o color. Su punto de congelación es de cero grados Celsius y su punto de ebullición es de 100 grados Celsius al nivel del mar. El agua en la Tierra está en un estado constante de movimiento y transformación.

Se describe un líquido que es económico como transmisor de calor, pero que requiere presurización para temperaturas superiores a 100°C. Debido a este aumento de costo, su uso se limita a temperaturas menores a 100°C y a emplear como la calefacción doméstica. El agua es importante en las industrias como enfriador y para regular la temperatura del viento según las épocas del año, gracias a su alto índice específico de calor.

### 3.4.4. Demanda Energética

La cantidad de energía que se requiere para aumentar la temperatura de una cantidad específica de agua desde una temperatura de inicio ( $T_i$ ) hasta una temperatura final ( $T_f$ ) se conoce como demanda energética.

$$D_e = MC_e(T_f - T_i) \quad (3.15)$$



Donde:  $D_e$ , es demanda energética (KJ/día),  $M$  cantidad de agua a calentar en un día (KJ/día),  $C_e$  calor específico del agua en (4.18KJ/Kg°C),  $T_i$  temperatura inicial del agua (°C)  $T_f$  temperatura final del agua (°C).

Para calcular la masa total de agua caliente requerida para las duchas y la piscina, se utilizaron tablas que indican la cantidad de litros que una persona consume diariamente. Las tablas de consumo se basan en el tipo de vivienda y se han obtenido de estudios realizados por organismos de investigación en energía solar, como las españolas. Sin embargo, para adaptar los datos a nuestra región, se buscó información relevante. El ITINTEC y algunas universidades nacionales han recopilado información sobre la experiencia en el desarrollo de sistemas solares en la ciudad blanca por parte de la empresa Solartec S.R.L. y han establecido los siguientes consumos de agua caliente sanitaria (ACS) en base a sus proyectos desarrollados.

**Tabla 9:** Consumo de agua caliente sanitaria por personas

<b>Criterio de demanda</b>	<b>Litros/día·unidad</b>	<b>unidad</b>
Vivienda	28	Por persona
Hospitales y clínicas	55	Por persona
Ambulatorio y centro de salud	41	Por persona
Hotel *****	69	Por persona
Hotel ****	55	Por persona
Hotel ***	41	Por persona
Hotel/hostal **	34	Por persona
Camping	21	Por persona
Hostal/pensión *	28	Por persona
Residencia	41	Por persona
Centro penitenciario	28	Por persona
Albergue	24	Por persona
Vestuarios/Duchas colectivas	21	Por persona
Escuela sin ducha	4	Por persona
Escuela con ducha	21	Por persona
Cuarteles	28	Por persona
Fábricas y talleres	21	Por persona
Oficinas	2	Por persona
Gimnasios	21	Por persona
Restaurantes	8	Por persona
Cafeterías	1	Por persona

Fuente: Cálculo del consumo de ACS. (Gaspar A, 2019)

**Tabla 10:** consumo típico de agua caliente

<b>Consumo típico de agua caliente</b>	
• Duchas	: 21 litros por persona
• Viviendas	: 28 litros por persona

Fuente: cálculo del consumo de ACS. (Gaspar A, 2019)



El lugar donde se instalará el sistema termo solar de torre cuenta con 12 duchas individuales y 8 duchas familiares. Basándonos en esta información más precisa y acorde a nuestro entorno, se considerará un consumo diario de agua caliente de 50 L/día por cada ducha familiar y 25 L/día por cada ducha individual.

Entonces la cantidad de agua  $M$  se puede hallar con la ecuación:

$$M = n_p \cdot v_p \quad (3.16)$$

Donde:  $n_p$  número de personas (personas/día),  $v_p$  cantidad de agua (L/persona).

### 3.4.5. Volumen

El volumen es una medida escalar que describe el tamaño tridimensional de un espacio. Esta magnitud se obtiene multiplicando las tres dimensiones del objeto, que son su largo, ancho y altura. En resumen, el volumen es una medida derivada de la longitud. En términos físicos, según (Mills M, I & Wallard J, 2006) los objetos ocupan un espacio debido a su extensión y el metro cúbico es la medida de volumen en el Sistema Internacional de Unidades. En el sistema métrico decimal, el estére era una unidad de volumen para sólidos, pero en el presente no se emplea mucho. Para calcular la capacidad de fluido, se creó el litro en el mismo sistema, y es aceptado por el SI.

$$1 \text{ litro} = 1 \text{ dm}^3$$

$$1000 \text{ litro} = 1 \text{ m}^3$$

$$1 \text{ ml} = 1 \text{ cm}^3$$

### 3.4.6. Densidad

La densidad es un valor que indica cuánta masa está presente en un determinado volumen de una sustancia, y es una medida comúnmente utilizada en los campos de la física y la química. La densidad es la proporción entre la cantidad de masa y el volumen

de un material, independientemente de si se trata de un líquido, gas o sustancia química. La letra " $\rho$ " se utiliza para representar la densidad, y su unidad de medida es  $\text{kg/m}^3$ . Además del  $\text{Kg/m}^3$ , hay otras formas comunes de expresar la densidad, como  $\text{g/cm}^3$ ,  $\text{kg/dm}^3$  y  $\text{g/dm}^3$  para gases. Como la densidad del agua se puede expresar como  $1000 \text{ Kg/m}^3$ , Esto se menciona en la (Organización internacional de metrología legal, 2011).

$$1\text{g/ml} = 1\text{g/ cm}^3$$

$$1\text{g/ cm}^3 = 1000\text{kg/cm}^3$$

#### 3.4.7. Cálculo de la Energía para Calentar la Cantidad de Agua Requerida

Mediante la ecuación 3.17. se realizará el cálculo para determinar la cuantía de energía que deben producir el campo de heliostatos para satisfacer la demanda energética.

$$Q_{hel\ total} = NH * P_r \quad (3.17)$$

Dónde:  $Q_{hel\ total}$ : Potencia térmica total incidente sobre el receptor NH: número de heliostatos,  $P_r$  : Radiación directa incidente W.

#### 3.4.8. Cantidad de Tubos de Vacío en el Receptor Solar

Para calcular la cantidad de tubos del sistema termo solar de torre, es importante tener información acerca de la superficie de captación y el rendimiento total del colector de tubos de vacío.

#### 3.4.9. Área de captación

El área de captación se refiere al espacio que se necesita para percibir la energía solar necesaria para cubrir la petición energética. Esta superficie requiere de la radiación solar esperada y la eficiencia total del sistema térmico de los tubos de vacío.

$$A_{cap} = \frac{D_e}{I_d \cdot \eta_g} \quad (3.18)$$



Donde:  $A_{cap}$ : superficie de captación (m<sup>2</sup>),  $I_d$ : Radiación solar de diseño (KJ/m<sup>2</sup>),  $D_e$ : Demanda energética (KJ),  $\eta_g$ : Eficiencia total del sistema (%).

#### 3.4.10. Cálculo Superficial de Cada Tubo de Vacío

El cálculo del área superficial de cada tubo de vacío es importante porque permite calcular la cantidad de tubos de vacío para el sistema termo solar de torre.

$$A_t = \pi \cdot D \cdot L \quad 3.19$$

Donde:  $D$ : Diámetro exterior;  $L$ : Longitud útil:

#### 3.4.11. Número de Colectores

Entonces, la fórmula para calcular el número de tubos de vacío ( $N_t$ ) requeridos para cubrir la petición energética es la siguiente:

$$N_t = \frac{A_{cap} \cdot F.S.}{A_c} \quad (3.20)$$

Donde:  $N_c$ : Número de colectores,  $A_{cap}$ : superficie de captación (m<sup>2</sup>),  $A_c$  = superficie de un colector (m<sup>2</sup>),  $F.S.$ : Factor de seguridad (1-5).

#### 3.4.12. Capacidad y Aislamiento del Termotanque

La temperatura de almacenamiento del agua se conoce como temperatura equivalente ( $t_{eq}$ ) y se altera de acuerdo a la temperatura del agua fría. En consecuencia, el aumento de temperatura, que es la diferencia entre la temperatura equivalente y la del agua fría, es consistente en cada sistema. En el sistema continuo, este aumento es de aproximadamente 30°C, mientras que en el sistema puntual es de alrededor de 20°C.

La demanda energética se recalcula utilizando la temperatura equivalente y se obtiene una nueva masa de agua llamada masa de agua a almacenar. Para llevar a cabo el

cálculo, se reemplaza la temperatura de salida del agua por la temperatura equivalente y la cantidad de agua a calentar por la cantidad de agua a almacenar. El tamaño del tanque dependerá de la cantidad de agua que se desee acumular y del uso que se le dará, ya sea para un sistema puntual o continuo. En el caso de un sistema continuo, se debe aumentar la cantidad de agua a acumular en un 15% para calcular la cantidad necesaria para un día completo.

$$V_{\text{dep}} = 1.15V \quad (3.21)$$

Donde:  $V_{\text{dep}}$ : Volumen del tanque de acumulamiento (L)  $M$ : Masa de agua a acumular (Kg/día).

En el sistema puntual, el cálculo del volumen se basa en el 20% de la cantidad de agua que se va a acumular. La tabla 11. presenta las opciones de aislamiento disponibles, junto con su espesor correspondiente.

**Tabla 11:** Tipo de aislamiento y espesor recomendado

Tipo de Aislamiento	Espesor recomendado (mm)		Conductividad Térmica (W/m.°c)
	Sistema puntual	Sistema continuo	
Algodón	50	75	0.059
Asbesto	75	125	0.174
Lana de vidrio	25	30	0.038
paja	50	100	0.090

Fuente: Sistema de calentamiento solar de agua. (Guevara vásquez, 2003).

## CAPITULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1. SELECCIÓN DEL ESPEJO REFRACTARIO (HELIOSTATOS)

Para que un espejo refractario funcione correctamente, es necesario que cumpla con varias subfunciones que suelen estar relacionadas con sistemas y componentes específicos.

<b>Subfunción</b>	<b>Componente o sistema asociado</b>
1) Reflejar radiación solar	Espejos
2) Fijar los espejos	Estructura de soporte
3) Fijación a tierra	Vigas y cimientos
4) Medición de la desviación	Control
5) Rotación de los espejos	Mecanismo motriz

##### 4.1.1. Espejos

Hay diferentes opciones de superficies reflectantes disponibles en el mercado, pero las más comunes son la película o cinta reflectante y el vidrio reflectante. Según (Carvajal Carrasco, 2018) el vidrio reflectante es una opción popular debido a su bajo costo, alta durabilidad y buen nivel de reflexión. Además, es muy ligero, lo que se traduce en costos estructurales más bajos. El espesor del vidrio puede variar desde 1 hasta 4mm.

Según (Hongn B, Marcos & Flores Larsen, 2014) para determinar valores de reflectancia, se realizaron ensayos con dos modelos de 2 y 3mm de grosor, y un modelo de 4mm de grosor. Los soportes de vidrio de las muestras de 2 y 3mm son similares en calidad al de la muestra de 4mm, ya que son del mismo fabricante. Los ensayos se llevaron a cabo para diferentes ángulos de incidencia, desde 10° hasta 70°. Se observó

que la reflectancia del material disminuye a medida que se aumenta el ángulo de incidencia, pero esta disminución es muy pequeña. Los valores promedio de reflectancia en el espectro de medida mostraron que el modelo de 4mm presentó una reflectancia entre el 94% y el 90% para el rango de ángulos de incidencia nombrado, el modelo de 2mm valores entre el 82% y el 79%, y la muestra de 3mm entre el 80% y el 77%. Se pueden hallar otros tipos de espejos, como aquellos con superficie de metal pulido o plástico, pero suelen tener una reflectancia muy baja, lo que puede ser un problema.

Para el proyecto se utilizará los espejos refractarios (heliostatos) de 1m x 1m de lado y 4mm de espesor ya que poseen una reflectancia de entre 94 y 90% la reflectancia es muy buena, es ligera y el costo de los espejos es barato y comercial. Este material es ideal para el propósito deseado ya que cuenta con características altamente beneficiosas. Es altamente transparente, lo que significa que tiene bajas pérdidas ópticas. Además, es resistente a la luz ultravioleta (UV), lo que lo hace ideal para su uso en exteriores. También es bastante duro y resistente a la abrasión, lo que lo hace duradero. Es químicamente inerte, lo que significa que no reacciona químicamente con otros materiales y es fácil de limpiar, como observa en la figura 37.



**Figura 37:** Espejo refractario

Fuente: Espejo solar (Vásquez Arango, Juan F & Pfahl B, 2017)

#### **4.1.2. Estructura de soporte**

Hay una gran variedad de diseños disponibles que varían en cuanto a su área de captación, tipo de armadura, sistema de sujeción y anclaje. Sin embargo, los diseños más comunes y las condiciones necesarias para que la estructura funcione adecuadamente son:

- Menor peso de estructura
- Menor carga en los rodamientos
- No requiere componentes mecánicos de precisión

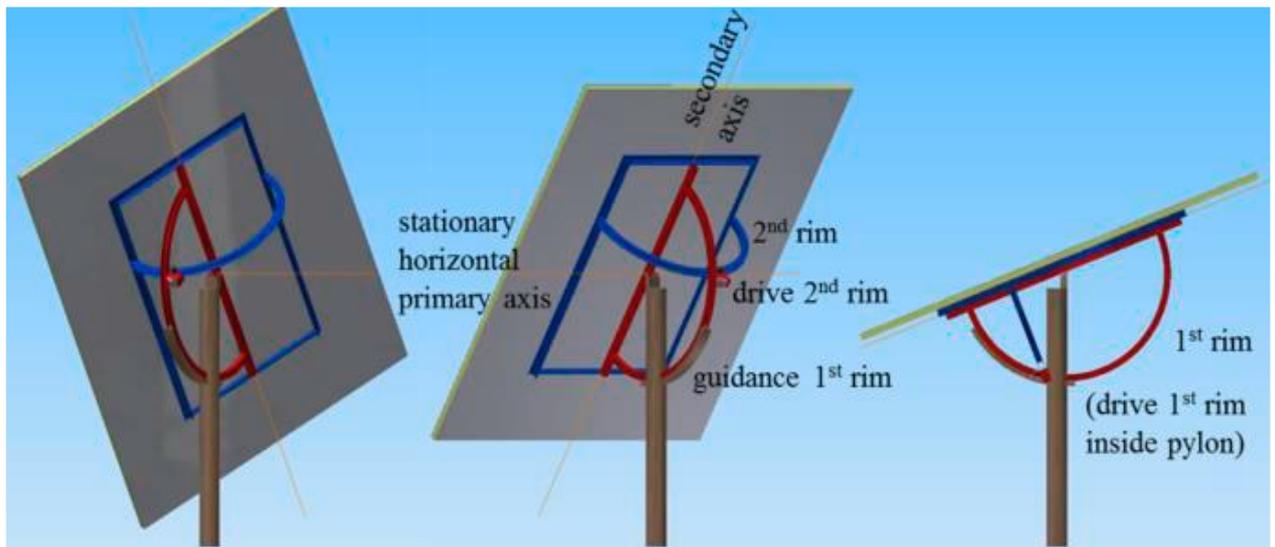
Se utilizará una estructura con paneles tipo sándwich, los cuales consisten en paneles reflectantes formados por un espejo delgado de 1m x 1m de lado y 4mm de espesor en un lado, una capa de acero en el otro y una espuma de poliuretano entre ambos. Los bordes están sellados y enmarcados para evitar la humedad. La estructura estará compuesta por tubos y planchas de acero de dos guías perpendiculares que pivotean con respecto a dos ejes, primario y secundario, unidas a un marco que sostiene al panel reflectante. La rotación se logra mediante dos ruedas, una en cada guía, las cuales permiten el movimiento del panel en torno a ambos ejes.

##### **4.1.2.1. Panel Reflector**

Se ha elegido un diseño ligero que utiliza planchas de plumavit recubiertas con espejos reflectantes de 4mm. Estas planchas estarán unidas mediante un adhesivo especial para EPS, formando una estructura de 1m x 1m x 0.04 m. Para fijar la estructura al soporte, se utilizará un arreglo de tubos pequeños de acero, incluyendo cuatro tubos cuadrados de acero de 2 [mm] de grosor en la parte trasera del panel y dos tubos de acero de 0.4m (uno en cada extremo) orientados perpendicularmente al plano de reflexión. Puede encontrar una imagen del diseño en la figura 38.

Se requieren los siguientes elementos para fabricar este componente:

- 1 planchas de renobon de 1m x 1m x 0.04 m.
- 4 tubos cuadrados de acero de espesor 2 [mm] y longitud de 0.8m.
- 2 tubos cuadrados de acero de espesor 2 [mm] y longitud de 0.70 m.



**Figura 38:** Panel reflector y su estructura de anclaje.

Fuente: Diseño de la estructura tipo sándwich (Carvajal Carrasco, 2018)

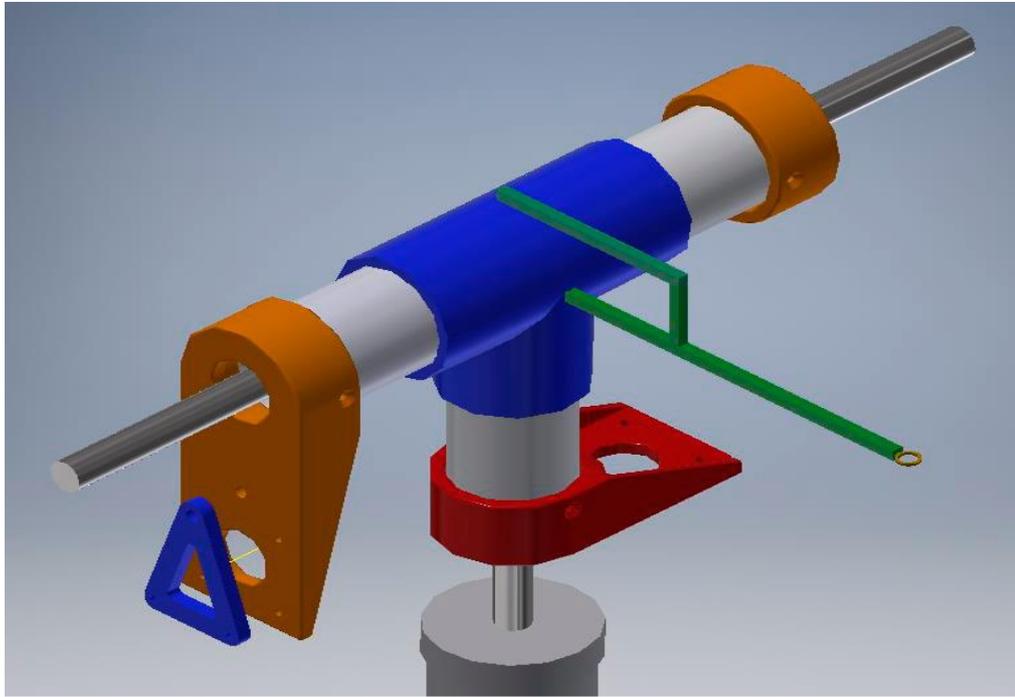
#### 4.1.2.2. Soporte

Esta sección incluye dos sistemas principales que trabajan juntos para sostener todos los componentes, transferir el movimiento al panel reflector y mantener la estabilidad de la estructura. Estos sistemas son:

##### a) Estructura móvil superior

Se describe un soporte tipo T que se compone de tubos de acero de 0.70 m de longitud y 2mm de espesor. Este soporte tiene la función de transmitir el giro cenital y azimutal al panel reflectante. El cuerpo principal es una estructura tipo T que aloja el eje cenital y está acoplado a dos rodamientos enclaustrados, uno en cada extremo. Cada extremo tiene una tapa que aloja el rodamiento y sirve como

punto de apoyo. Sobre la tapa se ubica un soporte triangular que actúa como punto de anclaje para la rueda dentada intermedia y asegura la estabilidad del sistema de transmisión.



**Figura 39:** Montaje de guía de contra-torque en estructura superior móvil.  
Fuente: Diseño y construcción de un heliostato (Carvajal Carrasco, 2018)

Los elementos necesarios para fabricar este componente son:

- 2 tubos de acero de diámetro 0.08 m y longitud de 0.70 m.
- 1 tubo de acero de diámetro 0.08m y longitud de 0.80 m.
- 1 tubo de acero de diámetro 0.08 m.
- 1 tapa circular con soporte para rodamiento.
- 1 espacio para dos ruedas.
- 1 buje inferior.
- 2 ejes de acero con diámetro 12 mm y longitud de 335mm.
- 2 rodamientos de 12mm.

- 1 anclaje inferior de eje azimutal.
- 3 pernos, para sujetar el anclaje inferior.
- 2 palo de madera de 10 mm por 10 mm.
- 4 pernos, para la sujetar de la guía de contra-torque.

#### b) Pedestal Base

La estructura que sostiene el espejo refractario es un trípode hecho de acero con tres patas soldadas a su superficie en un ángulo de 120 grados. Para asegurar la estabilidad en cualquier tipo de suelo, hay un perno con tuerca en el extremo opuesto de cada pata, lo que permite que el pedestal se mantenga derecho y estable sin importar lo irregular que sea la superficie.

Para fabricar este componente, se requieren los siguientes elementos:

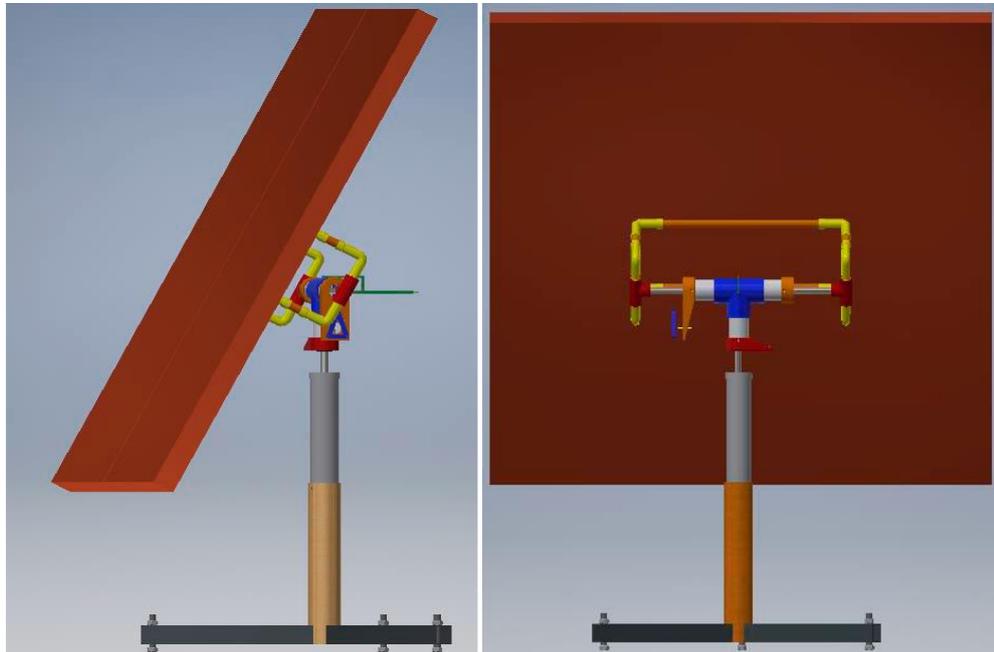
- 1 tubo acero de diámetro 55mm 3.5mm de espesor y 300mm de longitud.
- 4 perfiles cuadrados de 20mm x 20mm y longitud 300mm.
- 4 pernos de seguridad de largo 60mm mínimo, con sus respectivas tuercas.



**Figura 40:** Modelación de pedestal base

Fuente: Diseño y construcción de un heliostato (Carvajal Carrasco, 2018)

Si unimos el soporte con el panel reflector, conseguimos armar el espejo refractario en su totalidad, también conocido como heliostato.



**Figura 41:** estructura de (heliostato) modelado, en vista lateral izquierda y trasera

Fuente: Diseño y construcción de un heliostato (Carvajal Carrasco, 2018)

#### 4.1.3. Vigas y Cimientos

Los cimientos de hormigón son necesarios para anclar la estructura del espejo refractario al suelo. Este método proporciona una base sólida a un precio razonable. Para lograr esto, se debe construir una base de concreto sólida a la cual la estructura del espejo refractario (heliostato) se une mediante métodos de sujeción mecánica, como pernos, que son capaces de aguantar las cargas eólicas a las que se vea sometido. figura 42.



**Figura 42:** Cimiento de anclaje

Fuente: diseño y construcción de heliostatos (Carvajal Carrasco, 2018)

#### **4.1.4. Orientación e Inclinación de los Espejos Refractarios**

Es esencial que los espejos refractarios estén alineados adecuadamente para que los rayos del sol puedan incidir en el área del receptor solar.

- **Orientación**

Según (Dr. Reiner B, 2014) Los heliostatos que se encuentran al norte de la torre reflejan el sol con un ángulo de incidencia más bajo que los que están al sur, lo que reduce las pérdidas de coseno, esto significa que los campos de heliostatos son principalmente hacia el norte en el caso de receptores planos o de cavidad, o tienen más heliostatos en el lado norte en campos envolventes.

- **Inclinación**

Los campos en latitudes norte con un máximo de  $30^{\circ}\text{N}$  tienen un rendimiento anual superior, mientras que los campos en el ecuador tienen el mejor rendimiento. Sin embargo, tanto los campos norte como los envolventes muestran mejores rendimientos en latitudes más altas ( $>40^{\circ}$ ) debido a que el efecto de bloqueo y sombreado empieza a tener un mayor impacto.

#### 4.1.5. Radiación Solar

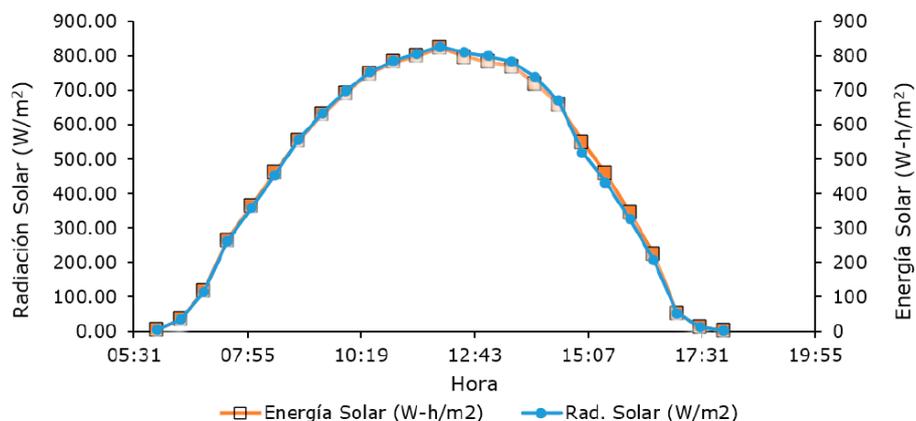
Es esencial calcular con precisión la radiación que incide sobre los espejos refractarios para diseñar un sistema termo solar de torre adecuado. Para ello, se tomará en cuenta la tabla de radiación solar para Juliaca y se considerará una baja radiación según los criterios de diseño. El objetivo es garantizar la producción de agua durante todo el año sin la obligación de ir a un sistema auxiliar de calentamiento.

**Tabla 12:** Promedio de radiación mensual para Juliaca

Radiación Mensual (Kwh/ m <sup>2</sup> )											
ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
6.25	6.98	6.40	5.84	5.60	5.36	5.30	6.53	7.10	6.91	7.64	6.71

Fuente: (SENAMHI - JULIACA)

Durante los días de prueba, se observaron variaciones en la radiación solar. El mayor pico de energía solar se registró alrededor de las 12:00 horas, con un promedio de 850 W/m<sup>2</sup>. La figura 43. muestra la actuación de la radiación e incidencia solar.



**Figura 43.** Comportamiento de la radiación solar en un día.

Fuente: Estación meteorológica UPEU (Mamani B, y & Arratea J, 2022)



De la tabla 4.1 tomamos la radiación de diseño con respecto al mes de junio

$$I_d = 5360Wh/m^2$$

## 4.2. DEMANDA ENERGÉTICA

Se calcula por la ecuación 3.15

$$D_e = MC_e(T_f - T_i)$$

El calor específico es constante  $C_e = 4,18 \text{ KJ/Kg}^\circ\text{C}$ :

La temperatura final, ( $t_f$ ), es la temperatura a la que se calentará el agua y se considera la temperatura de consumo del ACS. En este caso, para el diseño se ha establecido que la ( $t_f$ ) será de  $40^\circ\text{C}$ , lo que se considera una temperatura adecuada desde la perspectiva técnico y económico en proyectos de producción de agua caliente.

Para garantizar que la temperatura del agua fría cumpla con los estándares de seguridad, se utilizarán datos estadísticos del Senamhi sobre la temperatura mínima anual, la cual se ha registrado en  $11^\circ\text{C}$  según su página web. Además, se considerará que el agua caliente almacenada en el tanque o depósito durante la noche anterior también contribuirá a mantener la temperatura adecuada. De esta manera, se tendrá un factor de seguridad en cuanto a la temperatura del agua fría.

### 4.2.1. Cálculo de la Demanda de ACS

Debido a las importancias metodológicas presentadas, asumiremos que la ocupación del local de duchas calientes se tomara un promedio de las personas que asistieron durante un mes la ocupación puede alcanzar el 100% del local.

**Tabla 13:** Promedio diario mensual de personas que asisten al local 2022

Cantidad de personas que se Bañaron											
ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
46	48	55	52	58	54	59	60	57	53	50	47

Elaboración Propia

Según a estudios en el diseño de sistemas térmicos, se tomó en cuenta que cada persona requeriría 25 L/día de agua, lo cual es una cantidad recomendada por el ITINTEC. Esto significa que se asumió un volumen de agua de 25 litros por persona para el diseño del sistema termo solar de torre. En la tabla 13. se muestra un intervalo de personas que asistieron al local a bañarse, para hacer nuestro calculo tomaremos el promedio más alto de la tabla que es del mes de agosto con 60 personas por día.

#### 4.2.2. Cálculo de la Cantidad de Agua a Calentar en un Día (M)

Se calcula por la ecuación 3.16:

$$M = n_p \cdot v_p$$

Donde:

$n_p$  : 60 personas/día

$v_p$  : 25 l/personas

$$M = 60 \text{ personas/día} * 25 \frac{\text{L}}{\text{personas}}$$

$$M = 1500\text{L/día}$$

Por tanto:



$$M = 1500L/dia = 1500Kg/dia$$

#### 4.2.3. Cálculo de la Demanda Energética ( $D_e$ )

Por la ecuación 3.15

$$D_e = MC_e(T_f - T_i)$$

Donde:

$$M : 1500Kg/día$$

$$C_e : 4.18 \text{ KJ/Kg}^\circ\text{C}$$

$$T_f : 40^\circ\text{C}$$

$$T_i : 11^\circ\text{C}$$

$$D_e = 1500Kg/dia * 4.18 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}^\circ\text{C}} (40 - 11)^\circ\text{C}$$

$$D_e = 181830\text{KJ}/dia$$

#### 4.2.4 Cálculo del Campo de Espejos (Heliostatos)

Para calcular el tamaño del campo de heliostatos, es necesario considerar ciertos datos importantes, como son:

**Tabla 14:** Datos de diseño

Promedio de radiación solar	:	5360	Wh/m <sup>2</sup>
Tamaño de los espejos refractarios (heliostatos)	:	1	m <sup>2</sup>
Altura de la torre	:	3	m
Geometría del receptor	:		Tubos de vacío
Temperatura promedio	:	11	°C

Elaboración propia

Estos datos fueron tomados según el campo de helióstatos de la central Gemasolar en España como modelo de referencia. (Solis Á, C & Aberto G, 2009) Esta central es una de las más grandes del mundo. Después de probar varias configuraciones para asegurarse de que cumplieran con las especificaciones necesarias, el campo de helióstatos se calcula así, la primera fila de espejos debe colocarse a una longitud de la torre de valor que sea igual a la mitad de su altura, que en este caso es de 1.5 metros. Esta decisión se tomó en base a la experiencia de otros proyectos similares. De esta manera, se podrá instalar el anillo de potencia de la planta justo al lado de la torre.

- **Hallamos el radio inicial**

Mediante la ecuación 3.10

$$R_i = \frac{H_{\text{TORRE}}}{2}$$

Donde:

$R_i$  : radio inicial

$H_{\text{TORRE}}$  : altura torre = 3 m

$$R_i = \frac{3\text{m}}{2}$$

$$R_i = 1.5\text{m}$$

- **Para prevenir posibles interferencias entre las filas ( $\Delta R$ )**

Se aplicará una separación radial ( $\Delta R$ ) a los anillos. calculamos esta separación con la ecuación 3.2.

$$\Delta R = \sqrt{A} \cdot \left(1.25 + \frac{i}{20}\right)$$

Donde:

A: 1 ( $m^2$ )



i: 0

En el primer anillo, se estima que la distancia angular entre los colectores es de 1,5 veces la longitud característica ( $\sqrt{A}$ ), este valor es solo para la primera fila lo que resulta:

$$\Delta R = 1.5 \cdot \sqrt{A}$$

$$\Delta R = 1.5 \cdot \sqrt{1}$$

$$\Delta R = 1.5 \cdot m$$

- **Para evitar que los heliostatos cercanos creen problemas de sombras ( $\Delta L$ )**

Se separarán longitudinalmente ( $\Delta L$ ) utilizando la ecuación: 3.3.

$$\Delta L = \sqrt{A} \cdot (1.5 + \frac{i}{20})$$

Donde:

A: 1 ( $m^2$ )

i: 1

$$\Delta L = \sqrt{1} \cdot (1.5 + \frac{1}{20})$$

$$\Delta L = (1.5 + 0.05)$$

$$\Delta L = 1.55m$$

#### 4.2.5. La Cantidad de heliostatos en Cada Anillo (NH)

Se determinada utilizando la fórmula 3.4.

$$NH(i) = 2 \cdot \pi \cdot \frac{R_i}{\sqrt{A} \cdot (1.5 + \frac{i}{20})}$$

Donde:

A: 1 ( $m^2$ )

i: 1

 $R_i: 1.5\text{m}$ 

$$NH(i) = 2 \cdot \pi \cdot \frac{1.5}{\sqrt{1} \cdot (1.5 + \frac{1}{20})}$$

$$NH(i) = \frac{9.42477}{1.55}$$

$$NH(i) = 6 \text{ heliostatos}$$

Se utilizo las ecuaciones (3.2), (3.3), (3.4) y (3.10) del capítulo 3 para calcular las dimensiones del campo de helióstatos, y en la Tabla 15. se presentan los cálculos obtenidos, donde "i" representa el número de anillo,  $\Delta R$  es la distancia entre dos anillos continuos, R es el radio del anillo,  $\Delta L$  es la longitud entre dos helióstatos continuos en un mismo anillo y NH es la cantidad total de helióstatos a la altura de cada anillo.

**Tabla 15:** La disposición de los helióstatos sobre el campo

Anillo (i)	R(m)	$\Delta R$ (m)	$\Delta L$ (m)	NH
1	1.5	1.5	1.55	6
2	2.85	1.35	1.6	11
3	4.25	1.4	1.65	16
4	5.7	1.45	1.7	21
5	7.2	1.5	1.75	25

Elaboración propia

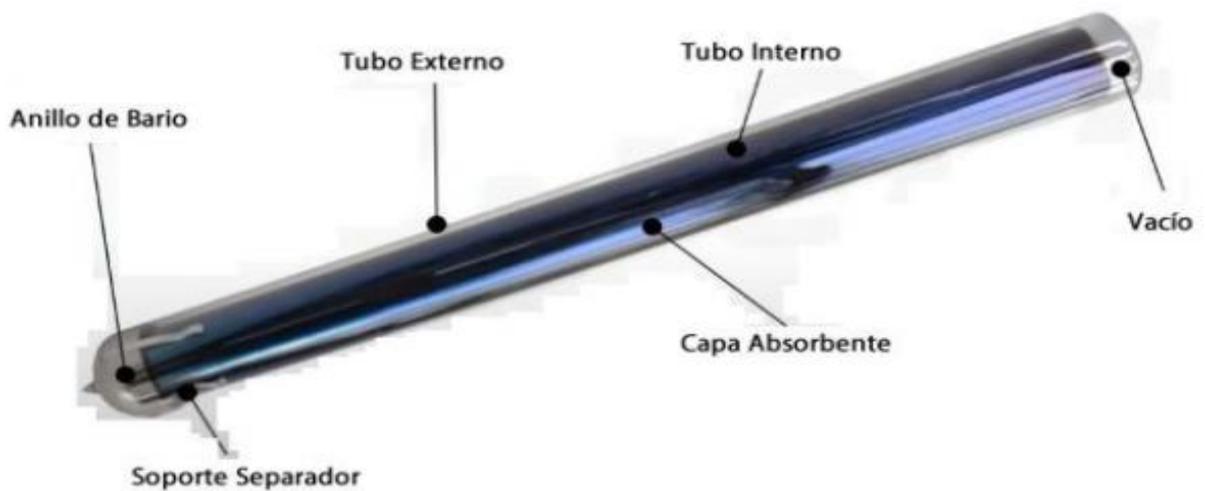
### 4.3. RECEPTOR SOLAR

El tipo de receptor que se empleará en esta tesis es un colector de tubos de vacío debido a su mayor rendimiento del 70% en comparación con los colectores de placa plana que tienen una eficiencia del 40%. Esto es fundamental para el diseño de la tesis y además,

este tipo de receptor está disponible a un precio asequible en el mercado local. En cuanto a sus propiedades técnicas, son:

Diámetro del tubo	:	0.058m
Diámetro interior	:	0.050m
Espesor	:	3mm
Longitud del tubo	:	1.75m
Presión máxima de operación	:	5Kgf/cm <sup>2</sup>

En este sistema, el agua se usó como líquido de trabajo y se aprovecha una característica física del agua, la cual se expande al calentarse, disminuyendo su densidad. Debido a esto, el agua caliente tiende a subir por diferencia de densidades en el termotanque ubicado en la parte superior del acumulador, en tanto que el agua fría desciende hacia el colector.



**Figura 44:** Ilustración del receptor solar del proyecto.

Fuente: Cómo funciona un calentador solar (Ramos b, 2020)

#### 4.3.1. Potencia enviada sobre el receptor por un heliostato

Calculamos la potencia que recibe el receptor con la ecuación 3.14.

$$P_r = A_h \rho I_D f_{sb} \text{ fat } \cos\omega_i$$



Donde:

$$A_h = 1 \text{ m}^2$$

$$I_D = 5360 \text{ Wh/m}^2$$

$$\rho = 93\%$$

$$f_{sb} = 95\%$$

$$f_{at} = 95\%$$

$$\cos \omega_i = 0.866$$

Según (Dr. Reiner B, 2014) El Angulo de incidencia será de  $30^\circ$  por que los campos norte tienen una alta eficiencia anual fuera del ecuador con un máximo de  $30^\circ$ .

Remplazando los datos tenemos:

$$P_r = 1 \text{ m}^2 \cdot 0.93 \frac{5360 \text{ wh}}{\text{m}^2} \cdot 0.95 \cdot 0.95 \cdot \cos 30$$

$$P_r = 3.8959 \text{ Wh}$$

#### 4.3.2. Cálculo de la Energía para Calentar la Cantidad de Agua Requerida

Mediante la ecuación 3.17:

$$Q_{hel \text{ total}} = NH * P_r$$

Dónde:

NH: 13

$P_r$  : 3.8959Wh

La cantidad de heliostatos (NH) se está tomando de la tabla 4.3 de donde ya se hizo el cálculo, para una potencia de 182328Kj se requiere 13 heliostatos es la cantidad de espejos para complacer la demanda energética del proyecto.



$$Q_{hel\ total} = NH * P_r$$

$$Q_{hel\ total} = 13 * 3.8959wh$$

$$Q_{hel\ total} = 50.6467Wh$$

Convirtiendo el resultado a Kj:

$$1W = 1J/s$$

$$1h = 3600s$$

Entonces del resultado  $Q_{hel\ total}$  tenemos:

$$Q_{hel\ total} = 1823228Kj$$

Por consiguiente, la energía producida por el campo de heliostatos hacia el receptor ( $Q_{hel\ total}$ ) es mayor que la demanda energética ( $D_e$ ) eso quiere decir que la cantidad de 13 espejos refractarios (heliostatos) de  $1\ m^2$  de área es suficiente para satisfacer la demanda energética.

$$Q_{hel\ total} > D_e$$

$$1823228kj > 181830kj$$



#### 4.4. NÚMERO DE TUBOS DE VACÍO EN EL RECEPTOR SOLAR

Es fundamental contar con datos sobre la superficie de recolección y el rendimiento general del colector de tubos de vacío para calcular el número de tubos necesarios en el sistema termo solar de torre.

##### 4.4.1 Área de Captación

Determinamos mediante la ecuación 3.18:

$$A_{cap} = \frac{D_e}{I_d * NH * \eta_g}$$

Donde:

NH: número de heliostatos

$I_d$ : 19296 (kj/m<sup>2</sup>)

$D_e$ : 181830kj

$\eta_g$ : 0.30

$$A_{cap} = \frac{181830kj}{\frac{19296kj}{m^2} \cdot 13 * 0.30}$$

$$A_{cap} = 2.42m^2$$

##### 4.4.2. Cálculo del Área Superficial de cada Tubo de Vacío

Lo calculamos por la ecuación 3.19:

$$A_T = \pi \cdot D \cdot L$$

Donde:

$D$ : 0.058m

$L$ : 1.75m



$$A_T = \pi (0.058) * 1.75$$

$$A_T = 0.32m^2$$

Para asegurarnos de que la percepción de energía solar de cada tubo de vacío cumpla con los requisitos de diseño y tener un margen de seguridad, solo se considerará el 75% del área de diseño en el cálculo de la cantidad de tubos.

$$A_t = 0.32m^2 * 0.75$$

$$A_t = 0.24m^2$$

#### 4.4.3. Número de Tubos de Vacío

Se determina mediante la ecuación 3.20

$$N_t = \frac{A_{cap} \cdot F.S}{A_t}$$

Donde:

$$A_{cap}: 2.42m^2$$

$$A_t: 0.24m^2$$

$$F.S.: 1$$

El factor de seguridad (F.S) es el parámetro que se usa en la planificación y diseño de proyectos para garantizar que la capacidad instalada sea suficiente para satisfacer la demanda esperada en el futuro varía entre (1 – 1.5).

Reemplazando en la ecuación los datos:

$$N_t = \frac{2.42m^2 * 1}{0.24m^2}$$

$$N_t = 10 \text{ tubos de vacío}$$



#### 4.5. CÁLCULO DEL VOLUMEN Y AISLAMIENTO DEL DEPÓSITO DE

##### ACUMULAMIENTO

La temperatura a la que se guarda el líquido se llama temperatura equivalente ( $T_{eq}$ ) y depende de la temperatura del agua fría. A pesar de esto, el aumento de temperatura ( $T_{eq}$  - temperatura del líquido frío) es casi constante para cada sistema, siendo de alrededor de 30 °C para el sistema puntual y 20 °C para el sistema continuo.

$$T_{eq} = t_i + 30^{\circ} C$$

Donde:

$$t_i = 11^{\circ}C$$

Reemplazando:

$$T_{eq} = 11 + 30^{\circ} = 41^{\circ}C$$

Reevaluación de la capacidad energética de un sistema con 10 tubos de vacío, donde cada tubo tiene una zona de captación solar de 0.24 m<sup>2</sup>.

$$D_e = N_{tv} * A_{tv} * I_d * n_g$$

Donde:

$N_{tv}$ : 10 tubos de vacío

$A_{tv}$ : 0,24 m<sup>2</sup>

$I_d$ : 19296 KJ/m<sup>2</sup>

$n_g$ : 91.3%

Reemplazando:

$$D_e = 10 * 0.24m^2 * \frac{19296kj}{m^2} * 0.913$$



$$D_e = 42281.4 \text{ kJ}$$

Calculamos de la ecuación 3.15 la masa a almacenar:

$$M = \frac{D_e}{C_e(T_{eq} - T_i)}$$

$$M = \frac{42281.4 \text{ kJ}}{4.18 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}^\circ\text{C}} (41 - 11)^\circ\text{C}}$$

$$M = 337.2 \text{ kg} = 337.2 \text{ L}$$

Entonces el volumen del termotanque por la ecuación 3.21. es:

$$V_{dep} = 1.15V$$

$$V_{dep} = 1.15 \times 337.2 \text{ L}$$

$$V_{dep} = 388 \text{ L}$$

Se adiciona más 112 litros o  $0.112 \text{ m}^3$  de agua caliente ACS por la necesidad de agua caliente en las tardes y mañanas cuando no hay presencia de sol y así cubrir la demanda de ACS. Entonces el nuevo valor es

$$V_{dep} = 388 \text{ L} + 112 \text{ L}$$

$$V_{dep} = 500 \text{ L}$$

En el mercado local, hay termotanques de volumen similar que utilizan tubos de vacío y son más económicos que mandar a fabricar.

#### 4.5.1. Diseño del Termotanque

Sabiendo que podemos encontrar un termotanque de 500 L de capacidad realizaremos el diseño para dicha capacidad.

$D_i$ : 0,70 m

$V_i$ :  $0,500 \text{ m}^3 = 500 \text{ L}$

$L_i$ : Longitud interior

Hallamos en el volumen de un cilindro:

$$0.500 \text{ m}^3 = \frac{\pi(0.7\text{m})^2}{4} * L_i \quad (4.1)$$

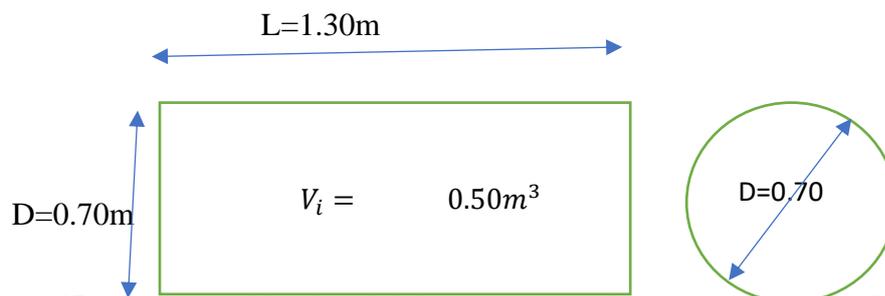
$$L_i = 1.30\text{m}$$

Las medidas de capacidad del termotanque son:

$D = 0,70 \text{ m}$

$L = 1,30 \text{ m}$

$V = 0,5 \text{ m}^3$

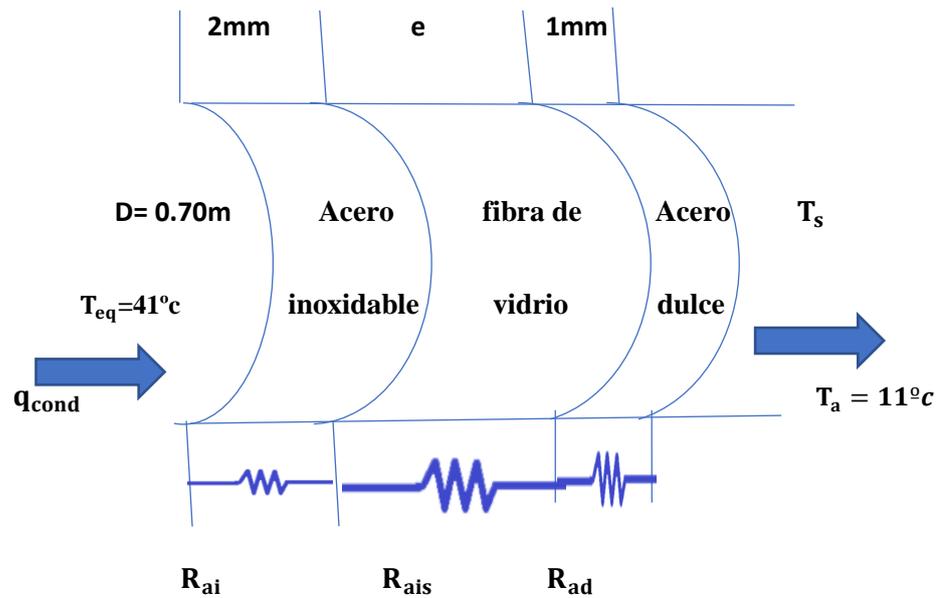


**Figura 45:** representación visual del termotanque desde la perspectiva frontal.

Fuente: Elaboración propia

#### 4.6. CÁLCULO DEL ESPESOR DE AISLANTE DEL TANQUE PARA ALMACENAR AGUA CALIENTE

En resumen, el aislante del termotanque tiene como objetivo principal mantener el agua caliente y evitar que se pierda calor. Según cómo esté diseñado el tanque, las tapas permiten menos pérdida de calor que la superficie cilíndrica del tanque. En la figura 46. se muestra cómo se da la transferencia de calor en la pared cilíndrica.



**Figura 46:** Perdida de calor  
Elaboración propia.

$$R_{cond} = R_{ai} + R_{ais} + R_{ad}$$

Entonces la perdida por conducción será:

$$q_{cond} = \frac{t_{eq} - t_a}{R_{cond}} \quad (4.2)$$

La fórmula utilizada para calcular las resistencias térmicas en la conducción de paredes cilíndricas es la siguiente:

$$R_c = \frac{\ln(\frac{D}{d})}{2LK} \quad (4.3)$$

Donde:

$D$  = Diámetro mayor

$d$  = diámetro menor

$K$  = Coeficiente de conducción térmica

$L$  = Longitud del tanque

**Tabla 16:** Coeficiente de conductividad térmica de materiales (k).

MATERIAL	COEFICIENTE CONDUCTIVIDAD TERMICA(W/m°C)
Plancha de acero inoxidable	15.75
Aislante fibra de vidrio	0.038
Plancha de acero dulce	58.600

Fuente: Diseño de terma solar tesis UNAP (Arhuide M, I & Hanco M, 2020)

Para encontrar el grosor adecuado del aislante de fibra de vidrio, se llevará a cabo un proceso de ensayo y error en el que se asignarán varios valores a "e" y se repetirá el proceso hasta que la cantidad de calor perdida por conducción sea igual a la cantidad perdida por convección.

$$q_{cond} = q_{conv} \quad (4.4)$$

Utilizando la ecuación (4.3) hallamos las resistencias:

$$R_{ai} = \frac{\ln\left(\frac{0.702}{0.700}\right)}{2 \times 1.30 \times 15.75} = 0.00006967^{\circ}C/W$$

$$R_{ai} = \frac{\ln\left(\frac{0.732}{0.702}\right)}{2 \times 1.30 \times 0.038} = 0.42869812^{\circ}C/W$$

$$R_{ai} = \frac{\ln\left(\frac{0.733}{0.732}\right)}{2 \times 1.30 \times 58.6} = 0.00000896027^{\circ}C/W$$

Sumando obtenemos la resistencia total de conducción:

$$R_{cond} = R_{ai} + R_{ais} + R_{ad}$$

$$R_{cond} = 0.42878^{\circ}C/W$$

Calculando  $q_{cond}$  con la ecuación (4.2) tenemos:

$$q_{cond} = \frac{(41-11)^{\circ}C}{0.42878^{\circ}C/W}$$

$$q_{cond} = 69.97W$$



Se ha calculado que la cantidad de calor que se escapa por conducción a través de una estructura que consta de una plancha interior de acero inoxidable de 2 mm de grosor, una capa de 30 mm de fibra de vidrio y una plancha exterior de acero dulce de 1 mm, es de 69,965 W. Para compensar esta pérdida de calor, se requiere que la cantidad de calor que se pierde por convección en la superficie exterior del termotanque sea igual a la cantidad mencionada anteriormente. El grosor del aislante de fibra de vidrio se ha determinado en 30 mm mediante un proceso iterativo.

Para hallar la disminución de calor por convección usaremos la ecuación:

$$q_{\text{cond}} = A_e * h(t_s - t_a) \quad (4.4)$$

Hallamos el área del termotanque:

$$A_e = 2\pi R_e * L \quad (4.5)$$

Donde:

Re: 0,333 m

L: 1,30 m

$$A_e = 2\pi(0.333m) * 1.30m$$

$$A_e = 2.719m^2$$

**Tabla 17:** Valores característicos de coeficiente de transferencia de Calor.

PROCESO	$h$ ( $W/m^2 \cdot ^\circ C$ )
<b>CONVECCION NATURAL</b>	
Gases	2 - 25
Líquidos	50 - 1000
<b>CONVECCION FORZADA</b>	
Gases	25 - 250
Líquidos	50 - 20000

Fuente: Diseño de termas solares tesis UNAP (Flores Zamalloa, 2018)

El método de transferencia de calor es mediante convección natural. Al revisar la tabla con un criterio conservador, se ha decidido utilizar un valor promedio del rango para el diseño. 2-25, optamos:  $h = 13 W/m^2 \cdot ^\circ C$ .

Temperaturas de desarrollo de convección:

$t_s$ : Temperatura exterior del termotanque:  $13^\circ C$ .

$t_a$ : temperatura del ambiente:  $11^\circ C$ .

sustituyendo datos en la ecuación 4.4:

$$q_{conv} = 2.719 * 13 \frac{W}{m^2 * ^\circ C} * (13 - 11)^\circ C$$

$$q_{conv} = 70.69 W_{conv}$$

Mediante la ecuación (4.4) igualamos los flujos de calor perdido:

$$q_{cond} = q_{conv}$$

$$69.97 W \cong 70.69 w$$

La fórmula presentada es precisa y nos indica que el termotanque contará con un aislamiento de 30 mm de grosor hecho de fibra de vidrio. Este aislamiento se situará entre una plancha interior de acero inoxidable de 2 mm de espesor y otra plancha exterior de

acero suave de 1 mm de espesor. El volumen interior del termotanque tiene dimensiones de 0,70 m de diámetro y 1,30 m de longitud, lo que le da una capacidad de 500 L. En términos generales, estas dimensiones son adecuadas desde un punto de vista de diseño.

## 4.7. DISCUSIÓN

### 4.7.1. Pruebas Realizadas con Diferentes Materiales

En la siguiente tabla 18. están los resultados obtenidos de pruebas elaboradas con diferentes materiales, esta prueba se realizó con la finalidad de saber cuál de estos materiales es capaz de absorber mayor cantidad de calor. Y así emplearlo en el sistema termo solar de torre que estoy diseñando.

**Tabla 18:** Prueba de diferentes tipos de materiales

<b>Pruebas con diferentes tipos de material utilizados en el receptor solar</b>				
<b>Nombre</b>	<b>Tipo de Material</b>	<b>Medidas diámetro y Longitud(m)</b>	<b>Tiempo de prueba (min)</b>	<b>Temperaturas T°.C</b>
Tubo de vacío	Boro silicato	D=0.058, L=1.80	T=30min	To=11°C, Tf=85°C
Tubo de inox	Acero inoxid	D=0.10, L=1.00	T=30min	To=11°C, Tf=21°C
Tubo de aluminio	Aluminio dul	D=0.12, L=1.00	T=30min	To=11°C, Tf=18°C
Tubo de polietileno	polietileno	D=0.050, L=1.20	T=30min	To=11°C, Tf=30°C

Elaboración propia

En resumen, podemos decir que el tubo de vacío de vidrio borosilicato es el material más efectivo para absorber calor, lo que lo convierte en un componente esencial en los colectores solares térmicos utilizados en sistemas de termas solares para calentar agua. Este tubo está hecho de vidrio de borosilicato de alta calidad y su función es absorber la energía del sol y trasladar al agua que rota por su interior.

#### 4.7.2. Prueba de Calentamiento de Agua con distintos Ángulos de Inclinación

Se realizaron pruebas utilizando tres tubos de vacío de vidrio borosilicato de la misma marca con diferentes ángulos de inclinación. Estas pruebas se realizaron en un día soleado a las 11:50 a.m., que es la hora solar máxima. Las respuestas de estos ensayos se pueden encontrar en la tabla 19.

**Tabla 19:** Prueba de calentamiento con distintos ángulos de inclinación

<b>Prueba de Calentamiento de Agua con distintos Ángulos de Inclinación</b>			
Angulo de inclinación	20°	45°	90°
Tiempo de prueba	2:45 h	2:45 h	2:45 h
Cantidad de agua	3.5 L	3.5 L	3.5 L
Temperatura final	88.3°C	80°C	60.2°C

Elaboración propia

La finalidad de esta prueba es si los tubos de vacío de vidrio de borosilicato pueden calentar agua están parados con un Angulo de 90° llegamos a la conclusión de que Sí, los tubos de vacío de borosilicato son capaces de calentar agua en cualquier Angulo de inclinación ya que están diseñados para absorber la energía solar y transferirla al líquido en su interior.

#### 4.8. DISCUSIÓN FINAL

En la actualidad, es de gran importancia el desarrollo de tecnologías de sistemas termo solares de torre sostenibles con el medio ambiente. Este trabajo ha demostrado que la energía solar es una tecnología prometedora para generar agua caliente sanitaria (ACS) a partir de recursos renovables como el sol. Para lograr altas potencias en estos sistemas, se requiere alcanzar temperaturas óptimas que permitan altos rendimientos y así hacer que los sistemas solares de torre sean competitivos.



Después de realizar el estudio, se evaluó el funcionamiento de las diferentes configuraciones de receptor central externo y cómo afectan los diferentes parámetros de diseño. Los resultados del modelo hidrodinámico indican que, para reducir las pérdidas de carga, es recomendable optar por configuraciones de receptor con diámetros de tubo de vacío grandes y menor número de paneles o espejos refractarios.

Los resultados del estudio han permitido evaluar el rendimiento de diferentes configuraciones de receptor central externo y la influencia de los parámetros de diseño. El modelo hidrodinámico indica que, para minimizar las pérdidas de carga, es necesario seleccionar configuraciones de receptor con grandes diámetros de tubo y menos paneles.

En el sistema termo solar de torre se utilizó los tubos de vacío de vidrio de borosilicato (estos tubos son utilizados en termas solares). Se eligió este tubo por su alto rendimiento y mayor capacidad de absorción de calor, se utilizó un total de 10 tubos de vacío instalados en la parte de arriba de la torre receptor solar conectados a un termotanque acumulador a agua caliente. Alrededor del sistema están instalados 13 espejos refractarios (heliostatos) que se encargan de enfocar la radiación hacia el receptor. Las tuberías de agua caliente y fría están conectados a la red de conexión del local de duchas calientes la cantidad de agua caliente sanitario (ACS) requerida es de 1500L/día a una temperatura de 40°C para un promedio de 60 personas/día lo cual es suficiente agua caliente y, más considerando que la temperatura confort de agua es de 20°C y el resto de agua caliente ACS estarán depositados en un termotanque de 500L de almacenamiento con sus respectivas dimensiones calculada. Y así cubrir toda la demanda de agua caliente requerida del local de duchas calientes.

Durante el proceso de investigación para la tesis, se tomaron en cuenta las recomendaciones del reglamento de instalaciones térmicas de los edificios (RITE) para definir las condiciones necesarias para el sistema termo solar de torre. En la región, hay



empresas en Arequipa y Cusco que producen sistemas solares térmicos que utilizan tubos de vacío. Estas empresas importan los componentes necesarios, como los tubos de vacío y termotanques, desde China debido a que los precios son más competitivos en el mercado. Para garantizar un diseño seguro y eficiente, se consideró la obtención de agua caliente sanitaria en cualquier nivel de radiación solar en el lugar donde se utilice el sistema.

Entonces, para llevar a cabo el proyecto, se deben seleccionar los sistemas térmicos disponibles en el mercado y hacer las modificaciones necesarias en su instalación. Esto incluye ajustar la inclinación y orientación de los espejos y determinar el número de tubos de vacío necesarios. En la región, los tubos de vacío tienen un costo de 50 soles, mientras que en China su precio es de alrededor de 3 dólares, lo que equivale a una cuarta parte del precio en Perú.

Teniendo el valor de la demanda energética que es de 181830KJ, calculamos para este valor la energía en el receptor que tiene que ser igual o mayor a la energía demandada, para ello se utilizó la radiación de 5360WH/m<sup>2</sup>, luego se calculó el número de espejos refractarios (NH), altura de la torre receptor, especificaciones del receptor solar, cantidad de tubos de vacío utilizados, que se detallaran en la tabla 20.

**Tabla 20:** Resultados finales de los parámetros de diseño del sistema termo solar.

Resultados de los parámetros de diseño del sistema termo solar de torre	
Puntos de diseño	26 de mayo, 12:00 AST
Coordenadas geográficas	latitud: 15° 49 85" longitud: 70° 14 87"
Radiación solar	5360wh/m <sup>2</sup>
Morfología del campo	Campo circular
Número total de heliostatos (NH)	13 heliostatos
Área reflectante por heliostato	1 m <sup>2</sup>
altura de la torre receptor	3m
Área refractante total	13m <sup>2</sup>
Cantidad de tubos de vacío de borosilicato	10 tubos
Demanda de Energía requerida	181830KJ
Cantidad de agua ACS requerida por el local	1500L
Cantidad de energía producida por el sistema	1823228KJ
Volumen del termo tanque diseñado	500L

Elaboración propia

En la tabla 20. Se puede visualizar todos los resultados de cálculo realizado para el sistema termo solar de torre propuesto, donde se halló la cantidad de heliostatos que es 13, la altura de la torre receptor solar 3m, la cantidad de tubos de vacío 10 tubos de borosilicato y las dimensiones del termotanque de 500L de capacidad que se compró a empresas dedicadas al diseño y montaje y así cubrir la demande de agua caliente del local de duchas calientes. Teniendo estos resultados podemos concluir que el sistema termo solar de torre es factible y una buena opción para demandas de agua caliente en mayor cantidad.



## 4.9. COSTOS

**Tabla 21:** Costo de diseño del sistema termo solar

<b>Costos de Diseño del Sistema Termo Solar de Torre con Espejos Refractarios</b>			
<b>Descripción</b>	<b>Precio unitario</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo sub total</b>
Tubos de vacio	S/50.00	10	S/500.00
Tubos de acero	S/52.00	6	S/312.00
Espejos refractarios	S/25.00	13	S/325.00
Termo tanque	S/1400.00	1	S/1400.00
Torre receptor	S/300.00	1	S/300.00
Tubos de pvc	S/10.00	8	S/80.00
Material adicional	S/50.00	5	S/250.00
	<b>Costo total</b>		<b>S/3167.00</b>

Elaboración propia



## V. CONCLUSIONES

Se diseñó satisfactoriamente el sistema termo solar de torre y se han determinado los principales parámetros del sistema. Se obtuvieron datos precisos sobre el nivel de radiación solar en Juliaca, lo que permitió diseñar el sistema termo solar de torre, con una cantidad de 13 espejos refractarios con  $1m^2$  de área y una torre central de 3 m de alto con 10 tubos de vacío borosilicato en la parte superior llamado receptor solar, con un termotanque de 120L de capacidad y adicional se implementó un termotanque de 500L para almacenar agua caliente. Así cubriendo la demanda total de (ACS) que requiere el local de duchas calientes en la ciudad de Juliaca.

Se determinó con éxito la cantidad de espejos refractarios (heliostatos) del sistema termo solar de torre, obteniendo una cantidad de 13 espejos refractarios con un área de 1 metro cuadrado cada una, que están ubicados alrededor de la torre receptor. Suministrando la radiación requerida por el sistema termo solar.

Se calculó la cantidad de agua caliente sanitaria que solicita el local de duchas calientes. Para el diseño del sistema, se asumió que cada persona consumiría 25 L/día, de agua caliente lo que resultaría en una demanda total de 1500 litros/día para las 60 personas. Además, se determinó que la demanda energética necesaria para complacer la demanda de agua caliente sanitaria (ACS) del local de duchas calientes era de 181830KJ de energía. Esta demanda se validó utilizando las condiciones ambientales de diseño, tales como la temperatura de gasto del agua caliente ( $40^{\circ}\text{C}$ ) y la temperatura mínima de entrada del agua ( $11^{\circ}\text{C}$ ), basadas en las temperaturas bajas.

Se calculó satisfactoriamente las dimensiones del sistema termo solar de torre utilizando el software AutoCAD, para su posterior construcción realizando los cálculos para la ciudad de Juliaca. Los materiales utilizados son factibles en el mercado local.



## VI. RECOMENDACIONES

Este proyecto de investigación tiene como objetivo reducir el consumo de leña de eucalipto y la deforestación de árboles, así como reducir el uso de combustibles fósiles y las emisiones de CO<sub>2</sub>. Para lograr esto, se propone impulsar el diseño de sistemas termo solares de torre, que son más eficientes en la producción de agua caliente sanitaria en mayor volumen que otros sistemas solares. Se llevarán a cabo investigaciones y proyectos de tesis para determinar la eficiencia térmica de estos sistemas, que son poco conocidos pero muy efectivos en la generación de calor.

Se sugiere a los usuarios que utilicen el agua caliente de manera adecuada y controlada para evitar escasez, ya que cada persona necesita un promedio de 25 litros de agua a una temperatura de 40°C. Para obtener un mejor beneficio, se recomienda mezclar el agua caliente con agua fría.

A todos los dueños de los locales de sauna, piscinas y duchas calientes tratar de conseguir este tipo de sistemas termo solares de torre y así disminuir la contaminación del medio ambiente y hacer uso de las energías renovables que son más económicas y limpias.



## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arhuidе M, I & Hanco M, L. C. (2020). “caracterización de la radiación solar en puno para el diseño de un sistema térmico solar de agua caliente sanitaria para un hotel de 50 personas.” *tesis una - puno, 0*, 120.
- Battleson stine, W. (1989). Progress in Parabolic Dish Technology. *Solar Energy Research Institute, 0*, 62.
- Callado Gimenes, F.J. & A. Gomes, J. A. (1986). Una función analítica para la densidad de flujo debido a la luz solar reflejada por un heliostato. *Energia Solar, 37(3)*, 215–234. [https://doi.org/10.1016/0038-092X\(86\)90078-2](https://doi.org/10.1016/0038-092X(86)90078-2)
- Calle, John & fajardo, J. (2011). Agua caliente sanitaria de uso doméstico con Energía Solar , una alter- nativa para la ciudad de Cuenca. *Artículo Científico, 0*, 57–65.
- Carbonell F, M. (2023). *¿Qué es la radiación solar directa e indirecta?*  
HOGARSENSE. <https://www.hogarsense.es/placas-solares/radiacion-solar-directa-e-indirecta>
- Carvajal Carrasco, E. R. (2018). “ diseño y construcción de un heliostato con seguimiento solar en dos ejes para re-direccionar radiación incidente hacia un disco concentrador parabólico .” *Tesis Universidad Valparaiso Chile, 0*, 128.
- Celador L, M & Acosta I, A. (2016). Diseño y análisis de una central termosolar de torre central operando con sodio fundido. *trabajo fin de grado Grado, 0*, 105.
- Dr. Reiner B, G. S. (2014). Sistemas de torre solar Estado y Perspectiva. *Programa Energías Renovables y Eficiencia Energética En Chile, 0*, 73.
- Dr. Romero Alvarez, M. (2008). Dimensionamiento y análisis de producción anual de



- un sistema de receptor central. *Master En Energías Renovables y Mercado Energético 2007/2008*, 0, 66.
- Eclipses solar NASA. (2020). *Eclipses solares*. Revista Tu Tiempo.Net.  
<https://www.tutiempo.net/eclipses-solares/>
- Fernandes R, J. (1992). *Sistema de Disco-Stirling*. Plataforma Solar de Almería.  
[http://riteca.gobex.es/es/catalogo\\_infraestructuras/304/instalaciones-distal-y-eurodish](http://riteca.gobex.es/es/catalogo_infraestructuras/304/instalaciones-distal-y-eurodish)
- Flores Zamalloa, C. J. (2018). “diseño de una terma solar de tubos al vacío para las condiciones ambientales de puno.” *tesis una - puno*, 0, 89.
- Gaspar A, M. (2019). Cálculo del consumo de una instalación de A.C.S. de tipo centralizado. *E-Ficiencia*, 0, 9.
- Gentileza A, H. (2013). *Ventajas de la energía solar térmica – Agencia tss*. universidad nacional de san martin agencia tss. <https://www.unsam.edu.ar/tss/ventajas-de-la-energia-solar-termica/>
- Glz Grome, M. (2017). *Cuáles son las partes del Sol y sus características*. ciencias naturales. <https://www.unprofesor.com/ciencias-naturales/cuales-son-las-partes-del-sol-y-sus-caracteristicas-2489.html>
- Gonzales Quintero, C. (2014). Optimización de la altura de torre en campos de heliostatos circulares. *trabajo fin de grado grado universidad carlos iii de madrid*,
- Gonzalez Aguilar, J. (2016). Dimensionamiento de un sistema de receptor central / Energía Solar Termoeléctrica. *Máster En Energías Renovables y Mercado Energético*, 0, 46.
- Guevara vásquez, S. (2003). Diseño del sistema de calentamiento solar de agua.



*Unatsabar - Ops/Cepis, 0, 15.*

Hongn B, Marcos & Flores Larsen, S. (2014). medidas de reflectancia espectral para espejos utilizados en la captación de energía solar. *inenco – universidad nacional de salta – conicet -, 18(1), 8.*

Joga Lopez, H. (2012). Diseño de una planta termosolar de receptor central con sales fundidas como fluido de trabajo y sistema de almacenamiento. *proyecto fin de carrera diseño universidad carlos iii de madrid, 0, 170.*

Kiplangat R, E. (2017). Prediction of total solar irradiance on tilted greenhouse surfaces. *AgricEngInt: CIGR Journal Open Access, 19(1), 8.*

LEDESMA JAIME, Reynaldo & RODRÍGUEZ SÁNCHEZ, M. (2016). Análisis dinámico estructural de un heliostato concentrador de energía solar. *Revista de Energía Química y Física, 3(8), 1–11.*

Lopez Guzman, V. (2012). Colectores solares cilindro parabólicos (CCPs). *Seminario Internacional de Energia Solar, Medio Ambiente, 1 Lima Per(PDL 0524), 38.*  
[https://guzlop-editoras.com/web\\_des/ener01/enersolar/pld0524.pdf](https://guzlop-editoras.com/web_des/ener01/enersolar/pld0524.pdf)

Mamani B, y & Arratea J, J. (2022). Desinfección solar de aguas para consumo humano en el marco del desarrollo sostenible en condiciones altoandinas. *Tesis Para Obtener El Título Profesional de Ingeniero Ambiental, 0, 25.*

medidor de radiacion solar. (2019). Medidor de radiación solar SLM 018 c-2 Mac Solar Instrucciones de uso C. *Www.Pce-Iberica.Es PCE Ibérica S.L., 0, 1–9.*

Mendes M, J & Cuervo G, R. (2011). *Energía solar fotovoltaica*. Fundacion Confemental - Madrid - España. <https://www.marcialpons.es/libros/energia-solar-fotovoltaica/9788492735778/>



MeteoGlosario Visual de AEMET. (n.d.). *Balance de energía*. ministerio del ambiente.

Retrieved May 19, 2023, from

[https://meteoglosario.aemet.es/es/termino/436\\_balance-de-energia](https://meteoglosario.aemet.es/es/termino/436_balance-de-energia)

Mills M, I & Wallard J, A. (2006). El Sistema Internacional de Unidades. *Centro Español de Metrología*, 3, 100.

Morón Orta, S. (2016). Mecanismo de orientación biaxial para heliostato de 144 m2. *Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Sevilla*, 0, 171.

Organizacion internacional de metrologia legal. (2011). medición de densidad. *superintendencia de industria y comercio*, 2011.

Pérez Martínez, M., Morales Rodríguez, C. I., & Castro, E. (2017). La hora solar pico equivalente, definición e interpretación. *Revista de Ingeniería Energética*,

Ramos b, M. (2020). Cómo funciona un calentador solar de agua. *EnergiaSolar.Mx*.

Revista Acciona y Tewel. (2021). *ACCIONA y TEWER desarrollan un nuevo heliostato que revolucionará el mercado termosolar*. CIEMAT Plataforma Solar de Almería.

Revista Helioscsp. (2020). *SUPCON Solar to restart a 135MW tower concentrated solar power plant under China CSP demonstration program – HELIOSCSP*. Solar Thermal Energy News. <https://helioscsp.com/supcon-solar-to-restart-a-135mw-tower-solar-thermal-power-plant-under-china-csp-demonstration-program/>

Rosar T, R. D. (2019). *Trayectoria del sol - Energía solar fotovoltaica*. Aulafacil Ciencia Investigacion. <https://www.aulafacil.com/cursos/medio-ambiente/energia-solar-fotovoltaica-1/trayectoria-del-sol-137869>

Santillan R, A. (2022). *solución que reduce el uso de agua en la limpieza de mega espejos de Cerro Dominador*. Startup Diario Financiero.



<https://www.df.cl/noticias/site/artic/20220216/pags/20220216182852.html>

SENAMHI - JULIACA. (n.d.). *Ministeri del Ambiente*. PRONOSTICO -

METEOROLOGICO. Retrieved May 5, 2023, from

<https://www.senamhi.gob.pe/servicios/main.php?dp=puno&p=pronostico-meteorologico>

Solis Á, C & Aberto G, F. (2009). Diseño Y Estudio De Una Planta Solar

Termoeléctrica Con Tecnología De Torre Central. *PROYECTO FIN DE MÁSTER MERME 2008-2009, 0*, 1–83. diseño y estudio de una planta solar termo electrica con tecnologia.

Vásquez Arango, Juan F & Pfahl B, A. (2017). Progress in heliostat development. *Solar*

*Energy, 152*, 3–37. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2017.03.029>

Vivar Samanamú, E. & Prado Bocanegra, R. (2014). Estudio energético de los

colectores solares para el calentamiento de agua en el servicio hotelero, chimbote-perú. *TESIS DE GRADO UNIVERSIDAD DEL SANTA, 0*.

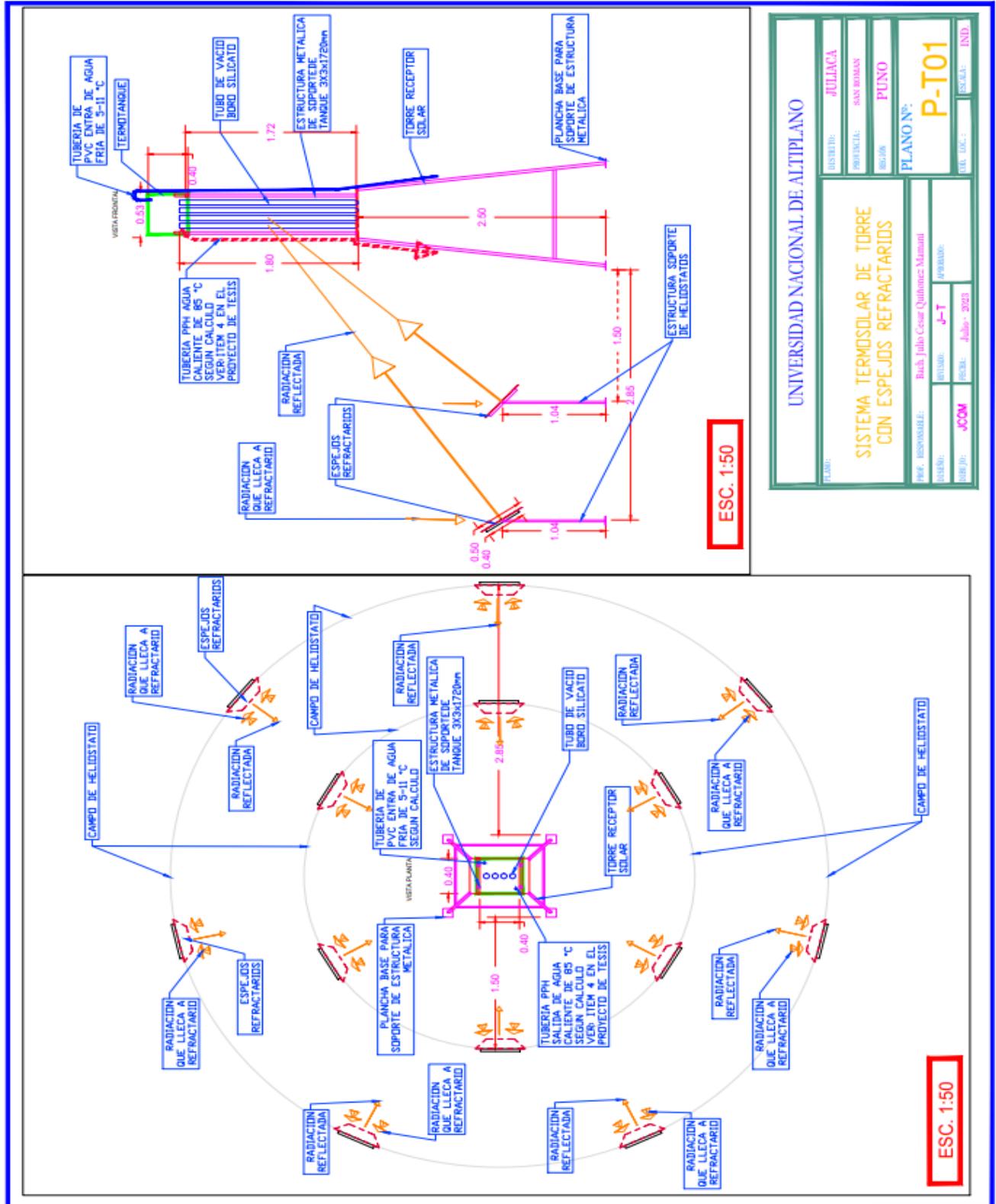
<https://repositorio.uns.edu.pe/handle/20.500.14278/1934>

Yapu Maldonado, H. A. (2018). “ Diseño de una planta termosolar de receptor central

de 100 MWe con almacenamiento en sales fundidas .” *Trabajo Fin de Máster UNIVERSIDAD CARLOS III MADRID, 0*, 1–138.

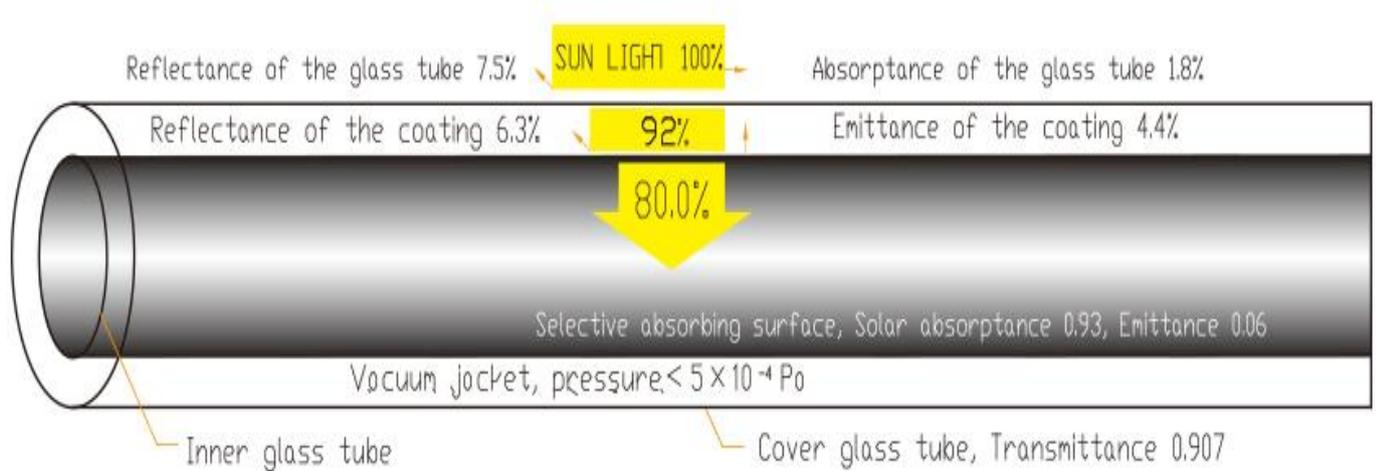
# ANEXOS

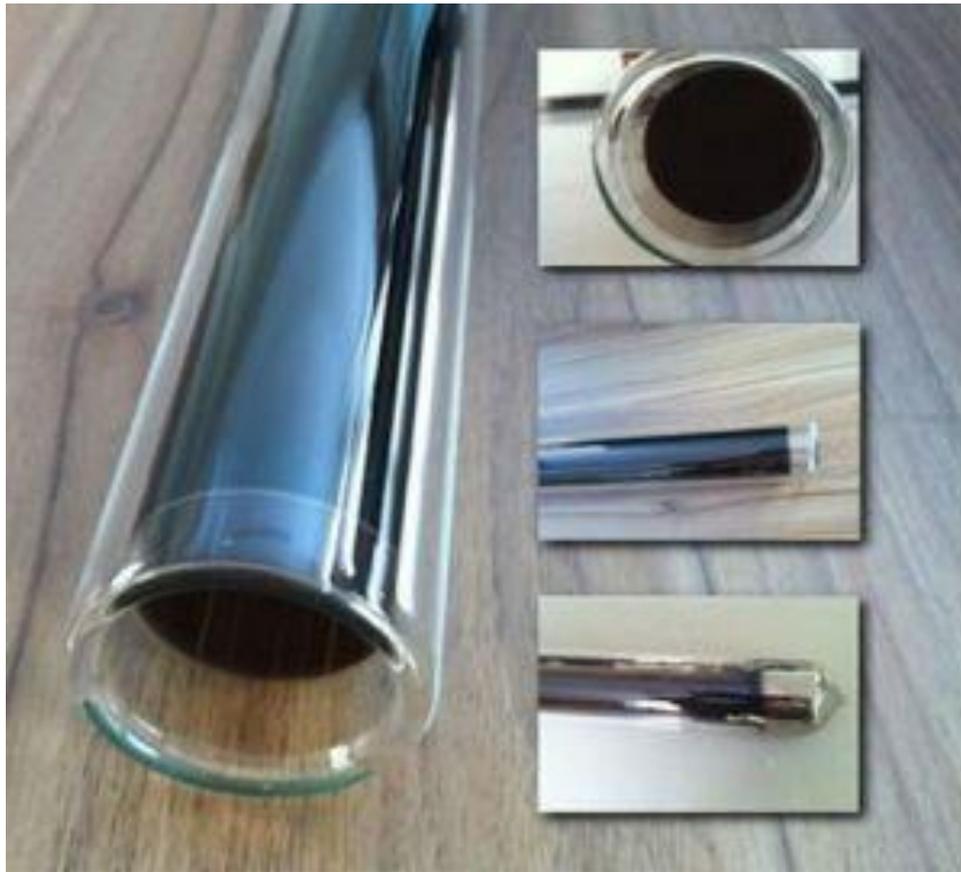
## Anexo A: plano de diseño



UNIVERSIDAD NACIONAL DE ALTIPLANO			
PLANO N°:	<b>P-T01</b>		
PROF. RESPONSABLE:	Ruth Julio Cesar Quiñones Mamani		
DISEÑO:	JCOM	APROBADO:	J-T
FECHA:	Julio - 2023	ESTADO:	END
DISTRITO:	JULIACA	PROVINCIA:	BASO ROMAN
REGIÓN:	PUNO		

## Anexo B: Tubos de vacío de borosilicato





## Anexo C: Toma de datos experimentales





## Anexo D: Ejecución del Proyecto





## Anexo E: Precios de Tubos de Vacío en China

**Alibaba.com @ Intersolar** Logra una coincidencia para ganar US \$2000 y disfrutar de un 90 % de descuento en muestras [Unirse ahora](#)

Alibaba.com tubos solar de borosilicato  [Iniciar sesión](#) [Unirse de forma gratuita](#) [Mensajes](#) [Pedidos](#)

[Categorías](#) [Listo para enviar](#) [Equipo de protección...](#) [Exhibiciones comerci...](#) [Central de comprador...](#) [Aplicación de descarga](#) [Español - USD](#) [Envío a: 🇵🇪](#)

**Todo** Personalizado Listo para enviar Todos los proveedores Fabricantes verificados

**Usted está en**

- < Cualquier categoría
- < Energía renovable
- < Productos de energía...
- Colectores solares**

**Características del pro...**

- Garantía Comercial
- Verified Proveedor
- Verified PRO Proveedor
- ≤1h Tiempo de respuesta

**Características del pro...**

Categoría: Colectores solares [Borrar todos los filtros](#)



Direct Factory supply accesorios para calentador de agua solar, tubo de vacío solar de 58mm \* 1800mm  
**USD 2.00-USD 3.00**  
100 Barras (MOQ)

14 yrs Proveedor >

[Contactar proveedor](#) [Chat Now!](#)  Comparar



Tubo de vacío solar de borosilicato con recubrimiento de tres capas para calentador de agua solar  
**USD 1.80-USD 2.00**  
3000 Barras (MOQ)

14 yrs Proveedor >

[Contactar proveedor](#) [Chat Now!](#)  Comparar



Tubo de vacío solar de borosilicato duro de tres elementos  
**USD 1.10-USD 2.00**  
500 Unidades (MOQ)

16 yrs Proveedor >

[Contactar proveedor](#) [Chat Now!](#)  Comparar



De vidrio evacuado colector Solar de tubo de vacío de borosilicato  
**USD 100.00-USD 300.00**  
10 Sets (MOQ)

15 yrs Proveedor >

[Mensajero](#)



Hot Selling 20 Vacuum 58\*1800 Borosilicate Glass Heater Solar Tubes  
**USD 1.00-USD 1.78**  
3000 Unidades (MOQ)

2 yrs Proveedor >

[Contactar proveedor](#) [Chat Now!](#)  Comparar

## Anexo F: Especificaciones técnicas los tubos de vacío y planchas de acero inoxidable

### Planchas de Acero Inoxidable ASTM A240, calidad 304, 316 y 430



#### PLANCHAS DE ACERO INOXIDABLE A240 / A480

Planchas de acero inoxidable calidad 304, 316 y 430; para uso petroquímico, industrial, equipamiento médico, utensilios de cocina, etc.

Anchos de 4' (1200 mm) y 5' (1500 mm).

Largos de 8' (2400 mm) y 10' (3000 mm).

Materiales: ASTM A240, A480

Resistentes a la corrosión y la oxidación.  
Acabados 2B, N°1 y N°4

Se mide en espesor x ancho x largo

#### Características de Acabados:

**2B** Laminado en frío, recogido y decapado.  
Conocido como acabado MATE.

**N°1** Laminado en caliente, recogido y decapado.  
Conocido como acabado INDUSTRIAL.

**N°4** Pulido con cintas abrasivas de grano 150 a 400. conocido como acabado SATINADO.

Espesor		Peso Teórico (Kg)	
pulg	mm	4' x 8'	5' x 10'
	0.3	7.14	11.15
1/64	0.4	9.53	14.86
1/54	0.45	10.72	16.72
1/48	0.50	11.91	18.58
	0.55	13.09	20.44
1/40	0.6	14.29	22.30
	0.7	16.67	26.01
1/32	0.8	19.05	29.73
1/27	0.9	21.43	33.45
1/20	1.2	28.58	44.59
1/16	1.5	35.72	55.74
5/64	2.0	47.57	74.32
3/32	2.5	59.45	92.90
1/8	3.0	71.35	111.48
	3.5	83.24	130.26
5/32	4.0	95.13	148.64
3/16	4.76	113.21	176.89
1/4	6.35	151.02	235.97
3/8	9.53	228.65	354.15
1/2	12.70	302.05	471.95
5/8	15.00	358.75	557.42
	18.00	428.10	668.90
3/4	19.05	453.07	707.92
1	25.40	604.09	943.89
1 1/4	31.75	755.12	1179.87
1 1/2	38.10	906.14	1415.84
2	50.80	1208.19	1887.79

# CALENTADOR SOLAR DE AGUA

*"Energía Renovables  
a tu Alcance"*

**GEO**  
ENERGIA

## BENEFICIOS

- Ahorro anual de hasta el 70% de electricidad.
- Garantía asegurada y un mínimo mantenimiento.
- Agua caliente aun con el clima nublado.
- 100 % Ecológico.
- Dualidad (trabaja a la vez con electricidad).

## ESPECIFICACIONES

### CARACTERÍSTICAS DEL SOPORTE

MATERIAL	Aluminio Anodizado
ESPEJOR DE MATERIAL	1.50 mm
ANGULO DE INCLINACIÓN	28°

### CARACTERÍSTICAS DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO

DIÁMETRO INTERIOR	385 mm
DIÁMETRO EXTERIOR	485 mm
MATERIAL TANQUE INTERIOR	Acero Inoxidable SUS 304-2B
ESPEJOR TANQUE INTERIOR	0.50 mm
MÁXIMA PRESIÓN	0.05 mPa
RECUBRIMIENTO TANQUE EXTERIOR	Pintura horneada azul
MATERIAL AISLANTE	Espuma de Poliuretano de alta densidad
ESPEJOR AISLANTE	50 mm
TUBERIA INGRESO/SALIDA	" 3/4 "
PRESERVACION DE CALOR	72 hr.
CUENTA CON ANODO DE SACRIFICIO	SI

### TUBOS AL VACIO DE TRIPLE CAPA

MATERIAL	Vidrio Borosilicato 3.3
ESPEJOR	1.60 mm
DIÁMETRO EXTERIOR	58 mm
LONGITUD	1800 mm
RECUBRIMIENTO DE ABSORCIÓN	AL/AL-ALN(H)-AL-ALN(L)/ALN
COEFICIENTE DE ABSORCIÓN	0.93-0.96 (AM1.5)
COEFICIENTE DE EMISIÓN	0.04-0.06(80+/-5°C)
COEFICIENTE MEDIO DE PERDIDAS	0.60-0.70W/(M2.°C)
RESISTENCIA AL GRANIZO	Hasta 30 mm de diámetro
TEMPERATURA DE AGUA CALIENTE	55° a 95°C
RESISTENCIA BAJAS TEMPERATURAS	-25°C (bajo cero)



## CAPACIDADES DE LAS TERMAS SOLARES

Modelo	Capacidad	Tubos	Apertura	Uso Personas
T-80-08	80 Litros	8		2-3
T-100-10	100 Litros	10	0.80 m <sup>2</sup>	3-4
T-120-12	120 Litros	12	0.96 m <sup>2</sup>	4-5
T-150-15	150 Litros	15	1.15 m <sup>2</sup>	5-6
T-180-18	180 Litros	18	1.50 m <sup>2</sup>	6-7
T-200-20	200 Litros	20	1.60 m <sup>2</sup>	7-8
T-240-24	240 Litros	24	1.92 m <sup>2</sup>	8-9
T-300-30	300 Litros	30	2.40 m <sup>2</sup>	10-11



E-COLOGICA / GUÍA TÉCNICA Y DE CÁLCULO

Por las características propias del material y al no tener una fuente de alta temperatura en contacto (quemadores a gas, resistencias eléctricas, etc.), este es el sistema más apropiado para aguas con **alto contenido de sales disueltas, reduciendo drásticamente la acumulación de sarro.**

El tubo exterior está hecho de borosilicato transparente de alta resistencia capaz de resistir granizo de hasta **25 mm de diámetro.**

Construido bajo normas ISO9001 / Certificación Comunidad Económica Europea.

Estos tubos son muy resistentes, las posibilidades de rotura son más probables durante los traslados y manipulación.

Una vez colocados la posibilidad de rotura es ínfima. Sin embargo ante cualquier percance son de fácil reemplazo y costo muy accesible.

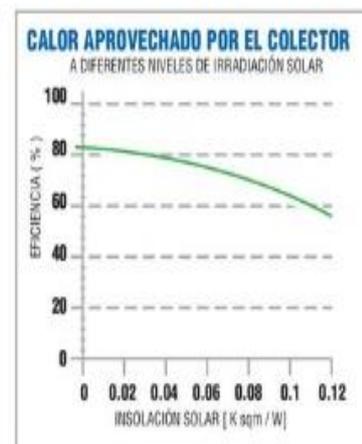
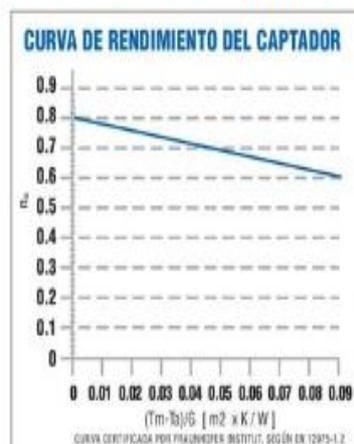
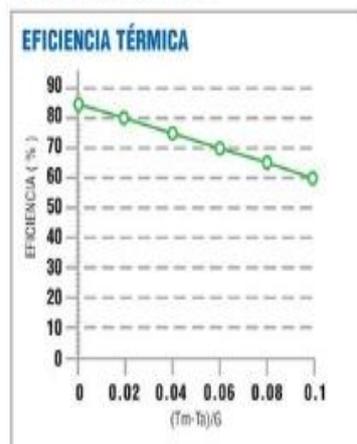
**TUBO AL VACÍO: DATOS TÉCNICOS**

MATERIAL DEL VIDRIO: BORSILICATO 3.3	
DIÁMETRO EXTERIOR	47 mm.
DIÁMETRO INTERIOR	37 mm.
LONGITUD DEL TUBO	1,50 mts. (1500 mm.)
CAPACIDAD DE AGUA POR TUBO	1,5 lts.
PESO POR TUBO	1,5 kg.
ESPESOR DEL VACÍO	5 mm.
ESPESOR DEL VIDRIO	2 mm.
ALTO VACÍO	5 x 10 <sup>-3</sup> Pa
MATERIAL ABSORBENTE	NITRATO ALUMINIO
ACABADO	ALUMINIO
COEFICIENTE DE ABSORCIÓN	α≥ 94%
RESISTENCIA CONTRA VIENTO	30 m/s
TOLERANCIA DE CONGELACIÓN	-30° C
RESISTENCIA AL GRANIZO	25 mm. granizo
TEMPERATURA DE INSOLACIÓN	250° C

CONSTRUIDO BAJO NORMAS ISO9001 CERT. COM. ECONOMICA EUROPEA

ENSAYOS DE EFICIENCIA DEL COLECTOR REALIZADA POR INSTITUTOS RECONOCIDOS

INFORMACIÓN BRINDADA POR EL FABRICANTE



## Termotanques solares

E-COLOGICA

### DATOS TÉCNICOS DEL TANQUE COLECTOR

**Tanque interior:** Construido en acero inoxidable sus304-2b calidad alimentaria de 0.5 mm. de espesor  
**Tanque exterior:** Construido en chapa de aluminio zinc prepintada con tratamiento anti-corrosión de 0.4 mm.  
**Aislación entre ambos:** Espuma de poliuretano inyectada espesor 55 mm.

TAMAÑOS:	165 LTS.	200 LTS.	245 LTS.
DIÁMETRO DEL TANQUE:	460 MM.	460 MM.	460 MM.
LONGITUD:	1620 MM.	1965 MM.	2410 MM.
PRESIÓN MÁXIMA ADMITIDA:	20 KPA.	20 KPA.	20 KPA.

### ENSAYO PÉRDIDAS DE TEMPERATURA EN EL TANQUE DE ALMACENAMIENTO

UNIVERSIDAD OF NEW SOUTH WALES - SIDNEY - AUSTRALIA.

TEST Nº	DURACIÓN ( HORAS )	T <sub>r</sub> RANGO ( °C )	T <sub>r</sub> AVE ( °C )	U <sub>s</sub> * ( W/K )
1	11	21.0 - 23.0	21.95	1.50
2	26	18.7 - 26.6	21.95	1.56
3	26	19.1 - 31.0	23.58	1.41
4	27	21.1 - 31.0	24.14	1.49
5	23	20.5 - 25.7	22.28	1.55

### TANQUE REGULADOR DE PRESIÓN

Los termotanques solares E-COLOGICA vienen provistos de un pequeño tanque adicional que contiene una válvula auto regulable que permite de acuerdo a donde se lo instale: **A)** Actuar como un flotante, pero sin partes móviles (cerrando la alimentación de agua fría cuando el tanque está lleno y abriendo la misma cuando se consume agua caliente).

Rango de regulación: desde 0.006 a 1.0 mpa. (desde 60 cm. a 10 metros)

**B)** Regulador del caudal de agua caliente a la salida del termotanque.

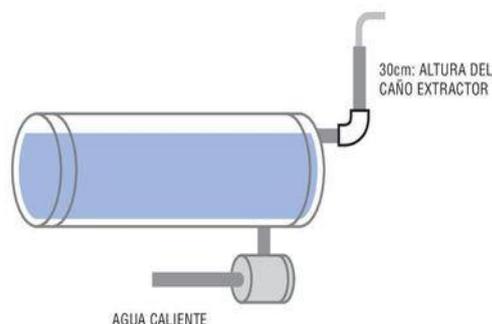


### DETALLES TÉCNICOS DEL TANQUE REGULADOR DE PRESIÓN

	COMO REGULADOR DE FLUJO DE AGUA CALIENTE	COMO VÁLVULA REGULADORA DE ENTRADA DE AGUA FRÍA
FLUJO DE ENTRADA DE AGUA	3L / MIN	1.5L / MIN
FLUJO DE SALIDA DE AGUA	15L / MIN	
TEMPERATURA DE TRABAJO DE LA VÁLVULA	-50°C A 130 °C	-50°C A 130 °C
RANGO DE PRESIÓN DE ENTRADA DE AGUA	0.006-1.0 Mpa	0.006-1.0 Mpa
PRESIÓN HIDROSTÁTICA DE SALIDA DE AGUA	0.004 Mpa ± 5%	0.004 Mpa ± 5%
ALTURA DEL TUBO DE VENDEO	NO MENOS DE 30CM	NO MENOS DE 60CM

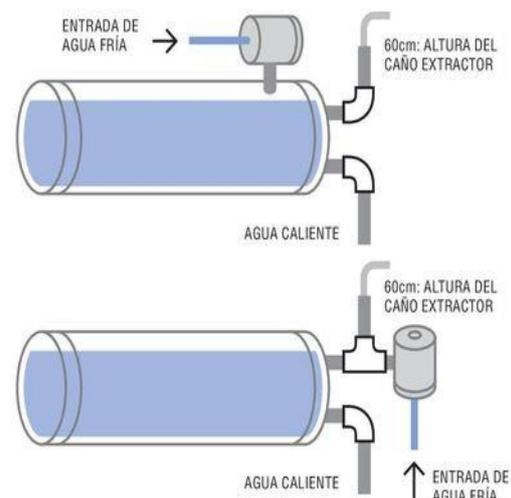
#### INSTALACIÓN 1:

COMO REGULADOR DE FLUJO DE AGUA CALIENTE



#### INSTALACIÓN 2:

COMO VÁLVULA FLOTANTE DE ALIMENTACIÓN DE AGUA FRÍA





## AUTORIZACIÓN PARA EL DEPÓSITO DE TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Por el presente documento, Yo JULIO CESAR QUITIÑONEZ MAMANI,  
identificado con DNI 46185470 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional,  Programa de Segunda Especialidad,  Programa de Maestría o Doctorado

INGENIERIA MECANICA ELECTRICA

informo que he elaborado el/la  Tesis o  Trabajo de Investigación denominada:  
“DISEÑO DE SISTEMA TERMOSOLAR DE TORRE CON ESPEJOS REFRACTARIOS PARA CALENTAR AGUA PARA UN LOCAL DE DUCHAS CALIENTES EN LA PROVINCIA DE SAN ROMAN – JULIACA”

para la obtención de  Grado,  Título Profesional o  Segunda Especialidad.

Por medio del presente documento, afirmo y garantizo ser el legítimo, único y exclusivo titular de todos los derechos de propiedad intelectual sobre los documentos arriba mencionados, las obras, los contenidos, los productos y/o las creaciones en general (en adelante, los “Contenidos”) que serán incluidos en el repositorio institucional de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno.

También, doy seguridad de que los contenidos entregados se encuentran libres de toda contraseña, restricción o medida tecnológica de protección, con la finalidad de permitir que se puedan leer, descargar, reproducir, distribuir, imprimir, buscar y enlazar los textos completos, sin limitación alguna.

Autorizo a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno a publicar los Contenidos en el Repositorio Institucional y, en consecuencia, en el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto, sobre la base de lo establecido en la Ley N° 30035, sus normas reglamentarias, modificatorias, sustitutorias y conexas, y de acuerdo con las políticas de acceso abierto que la Universidad aplique en relación con sus Repositorios Institucionales. Autorizo expresamente toda consulta y uso de los Contenidos, por parte de cualquier persona, por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales de autor y derechos conexos, a título gratuito y a nivel mundial.

En consecuencia, la Universidad tendrá la posibilidad de divulgar y difundir los Contenidos, de manera total o parcial, sin limitación alguna y sin derecho a pago de contraprestación, remuneración ni regalía alguna a favor mío; en los medios, canales y plataformas que la Universidad y/o el Estado de la República del Perú determinen, a nivel mundial, sin restricción geográfica alguna y de manera indefinida, pudiendo crear y/o extraer los metadatos sobre los Contenidos, e incluir los Contenidos en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

Autorizo que los Contenidos sean puestos a disposición del público a través de la siguiente licencia:

Creative Commons Reconocimiento-No Comercial-Compartir Igual 4.0 Internacional. Para ver una copia de esta licencia, visita: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

En señal de conformidad, suscribo el presente documento.

Puno 19 de Julio del 2023

FIRMA (obligatoria)



Huella



## DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo JULIO CESAR QUIÑONEZ MAMANI,  
identificado con DNI 46185470 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional,  Programa de Segunda Especialidad,  Programa de Maestría o Doctorado  
INGENIERIA MECANICA ELECTRICA

informo que he elaborado el/la  Tesis o  Trabajo de Investigación denominada:  
“DISEÑO DE SISTEMA TERMOSOLAR DE TORRE CON ESPEJOS REFRACTARIOS PARA  
CALENTAR AGUA PARA UN LOCAL DE DUCHAS CALIENTES EN LA PROVINCIA DE  
SAN ROMAN - JULIACA”

Es un tema original.

Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

En caso de incumplimiento de esta declaración, me someto a las disposiciones legales vigentes y a las sanciones correspondientes de igual forma me someto a las sanciones establecidas en las Directivas y otras normas internas, así como las que me alcancen del Código Civil y Normas Legales conexas por el incumplimiento del presente compromiso

Puno 19 de Julio del 2023

  
FIRMA (obligatoria)

  
Huella