

## Universidad Católica de Santa María

Facultad de Ciencias e Ingenierías Físicas y Formales  
Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica  
Eléctrica y Mecatrónica



DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y ANÁLISIS DE DESTILADOR SOLAR DE DOBLE VERTIENTE ACOPLADO A COLECTOR SOLAR DE PLACA PLANA, COMO ALTERNATIVA DE OBTENCIÓN DE AGUA PURA A BASE DE ENERGÍA RENOVABLE, APLICADO A LA POBLACIÓN RURAL DEL DISTRITO DE MAJES.

Tesis presentada por el Bachiller:

**Cutipa Coaquira, Harold Mateo**

Para optar el Título Profesional de

**Ingeniero Mecánico Electricista**

Asesor:

**MSc. Sierra Vásquez, Julio Raúl**

Arequipa – Perú

2023

UCSM-ERP

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA**  
**INGENIERIA MECANICA, MECANICA-ELECTRICA Y MECATRONICA**  
**TITULACIÓN CON TESIS**  
**DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR**

Arequipa, 10 de Octubre del 2022

**Dictamen: 003962-C-EPIMMEM-2022**

Visto el borrador del expediente 003962, presentado por:

**2011192071 - CUTIPA COAQUIRA HAROLD MATEO**

Titulado:

**DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y ANÁLISIS DE DESTILADOR SOLAR DE DOBLE VERTIENTE  
ACOPLADO A COLECTOR SOLAR DE PLACA PLANA, COMO ALTERNATIVA DE OBTENCIÓN DE  
AGUA PURA A BASE DE ENERGÍA RENOVABLE, APLICADO A LA POBLACIÓN RURAL DEL  
DISTRITO DE MAJES**

Nuestro dictamen es:

**APROBADO**

**1530 - FERNANDEZ BARRIGA CAMILO GRIMALDO  
DICTAMINADOR**



**1828 - GORDILLO ANDIA CARLOS ALBERTO  
DICTAMINADOR**



**3040 - VALDEZ LOAIZA JUAN CARLOS  
DICTAMINADOR**



## **DEDICATORIA**

Con amor para mi madre Elena Coaquira Orihuela y mi padre Mateo Cutipa Cabana, por su apoyo y compañía incondicional. Para mis hermanos Gaby y Gino. Y para mis familiares y amigos.

Para todos aquellos que compartimos la pasión por la Ingeniería Mecánica-Eléctrica, en especial a aquellos que se ocupan del desarrollo e investigación de las Energías Renovables.

## **AGRADECIMIENTOS**

Ante todo, agradezco a Dios todopoderoso, por darme la oportunidad de ver su magnífica creación, por darme salud, una familia y una profesión.

A mis familiares Jorge Valdivia, Rosario Coaquira y Lucila Coaquira por su apoyo y compañía para realizar este proyecto.

## RESUMEN

El Distrito de Majes es uno de los veinte distritos que conforman la provincia de Caylloma en el departamento de Arequipa. Según el censo nacional del año 2017 la población de este distrito era de 60 108 habitantes, actualmente se estima que la población está cerca de los 100 000 habitantes (año 2021), con una tasa de crecimiento anual de 10.7%, y según las proyecciones realizadas se estima que dentro de los próximos años llegaría a los 120 000 habitantes.

El presente trabajo presenta una alternativa a la escasez de agua potable en la población rural del Distrito de Majes. Para ello se diseñó, construyó y analizó un prototipo de destilador solar de doble vertiente, el cual puede operar sin colector, con un colector o con dos colectores solares.

Para el diseño se presentó y analizó el modelo térmico-matemático que describe el comportamiento de este dispositivo, notándose que la producción y eficiencia dependen fuertemente de la profundidad (masa), temperatura del agua contaminada y del área de evaporación. Así mismo se observó que el número de colectores solares utilizados mejora la producción hasta cierto límite.

Para la construcción de este dispositivo se utilizó acero inoxidable para la bandeja de evaporación y para las canaletas de recolección de agua pura, la cubierta de condensación fue de vidrio, y en los demás componentes se utilizó acero galvanizado, acero al carbono y aislamiento lana de vidrio.

La etapa experimental tuvo lugar en la zona rural conocida como “Hijos de Colonos” en el mes de Junio del presente año. Las mediciones se realizaron a dos profundidades diferentes

de agua contaminada (2cm y 4cm), se observó que la mínima producción fue de 6.16 L/día sin colector solar y la máxima producción fue de 10.20 L/día con dos colectores solares.

Además se determinó que el costo de este sistema fue de S/. 4358.23 (con 1 solo colector), y el costo de agua destilada producida por día fue de 0.090 soles/litro. Además se observó que el retorno de la inversión para este sistema fue de 1.2 años (para una vida útil de 15 años).

**Palabras claves:** Radiación solar, destilación solar, agua contaminada, agua destilada, población rural, población en crecimiento.

## ABSTRACT

The District of Majes is one of the twenty districts that make up the province of Caylloma in the department of Arequipa. According to the national census of the year 2017, the population of this district was 60,108 inhabitants, currently it is estimated that the population is close to 100,000 inhabitants (year 2021), with an annual growth rate of 10.7%, and according to the projections made, it is estimated that within the next few years it would reach 120,000 inhabitants.

This work presents an alternative to the scarcity of drinking water in the rural population of the District of Majes. For this, a prototype of a double-sided solar still was designed, built and analyzed, which can operate without a collector, with one collector or with two solar collectors.

For the design, the thermal-mathematical model that describes the behavior of this device was presented and analyzed, noting that the production and efficiency strongly depend on the depth (mass), temperature of the contaminated water and the area of evaporation. Likewise, it was observed that the number of solar collectors used improves production up to a certain limit.

For the construction of this device, stainless steel was used for the evaporation tray and for the pure water collection gutters, the condensation cover was made of glass, and galvanized steel, carbon steel, and glass wool insulation were used for the other components.

The experimental stage took place in the rural area known as "Hijos de Colonos" in the month of June of this year. The measurements were made at two different depths of contaminated water (2cm and 4cm), it was observed that the minimum production was 6.16

L/day without a solar collector and the maximum production was 10.20 L/day with two solar collectors.

In addition, it was determined that the cost of this system was S/. 4358.23 (with only 1 collector), and the cost of distilled water produced per day was 0.090 soles/liter. In addition, it was observed that the return on investment for this system was 1.2 years (for a useful life of 15 years).

**Keywords:** Solar radiation, solar distillation, contaminated water, distilled water, rural population, growing population.

## ÍNDICE

RESUMEN .....	iii
ABSTRACT .....	v
LISTA DE FIGURAS .....	xvi
LISTA DE TABLAS .....	xxiv
LISTA DE ANEXOS .....	xxviii
LISTA DE PLANOS .....	xxix
NOMENCLATURA.....	xxx
SIGLAS Y ACRÓNIMOS.....	xxxvii
INTRODUCCIÓN.....	xxxviii
CAPÍTULO I.....	1
1. ASPECTOS GENERALES .....	1
1.1. ANTECEDENTES .....	1
1.2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	1
1.3. HIPÓTESIS .....	2
1.4. VARIABLES RELACIONADAS.....	2
1.4.1. Variables Independientes.....	2
1.4.2. Variables Dependientes .....	3
1.5. OBJETIVOS.....	3
1.5.1. Objetivo General .....	3
1.5.2. Objetivos Específicos .....	3
1.6. ALCANCES.....	4
1.7. JUSTIFICACIÓN .....	5
1.7.1. Justificación Social.....	5
1.7.2. Justificación Ambiental .....	5
CAPÍTULO II .....	7
2. MARCO TEÓRICO .....	7

2.1. EL AGUA .....	7
2.1.1. AGUA POTABLE .....	8
2.1.2. AGUA DESTILADA .....	9
2.1.3. IMPORTANCIA DEL AGUA Y SU ESCASEZ EN EL MUNDO .....	10
2.1.3.1. Estadísticas sobre el Agua .....	11
2.1.3.2. Agua y Salud .....	12
2.1.3.3. Enfermedades por consumo de Aguas Contaminadas .....	12
2.1.3.4. Acceso al Agua .....	13
2.1.3.5. Desafíos que Afrontar .....	15
2.1.4. CONSUMO MÍNIMO DE AGUA POTABLE POR HABITANTE .....	16
2.2. ENERGÍA SOLAR .....	17
2.2.1. DEFINICIONES .....	17
2.2.1.1. EL SOL .....	17
2.2.1.2. ENERGÍA SOLAR .....	18
2.2.1.3. RADIACIÓN SOLAR .....	19
2.2.1.3.1. TIPOS DE RADIACIÓN SOLAR .....	20
2.2.1.3.2. VARIACIÓN DE LA RADIACIÓN SOLAR .....	21
2.2.2. ENERGÍA SOLAR TÉRMICA .....	22
2.2.2.1. SISTEMAS DE ALTA TEMPERATURA .....	22
2.2.2.1.1. Centrales Tipo Torre .....	22
2.2.2.1.2. Discos Parabólicos .....	23
2.2.2.2. SISTEMAS DE MEDIA TEMPERATURA .....	23
2.2.2.2.1. Concentradores Cilindro Parabólicos .....	23
2.2.2.2.2. Concentradores Fresnel .....	24
2.2.2.3. SISTEMAS DE BAJA TEMPERATURA .....	25
2.2.2.3.1. Agua Caliente Sanitaria (ACS) .....	25
2.2.3. CÁLCULO SOLAR .....	27

2.2.3.1. CÁLCULO DE LA IRRADIACIÓN SOLAR.....	27
2.2.3.1.1. Ángulo de Declinación Solar ( $\delta$ ).....	27
2.2.3.1.2. Ángulo Horario ( $\omega$ s).....	28
2.2.3.1.3. Horas Sol Teóricas ( $N_t$ ) .....	29
2.2.3.1.4. Factor de Corrección de la Excentricidad de la Órbita Terrestre ( $\epsilon_0$ ).....	29
2.2.3.1.5. Constante Solar o Irradiancia Solar Total ( $G_{sc}$ ).....	29
2.2.3.1.6. Irradiación Solar Extraterrestre sobre una Superficie Horizontal ( $I_0$ ).....	29
2.2.3.1.7. Irradiación Solar Global Terrestre sobre una Superficie Horizontal ( $I$ ) .....	30
2.2.3.1.8. Índice de Claridad Horaria ( $K_T$ ).....	30
2.2.3.1.9. Irradiación Solar Difusa sobre una Superficie Horizontal ( $I_{dif}$ ).....	30
2.2.3.1.10. Irradiación Solar Directa sobre una Superficie Horizontal ( $I_{dir}$ ).....	31
2.2.3.1.11. Factor para el cambio del Ángulo de Incidencia ( $R_b$ ) .....	31
2.2.3.1.12. Irradiación Solar Directa sobre una Superficie Inclined ( $I_{dir}, \theta$ ) .....	32
2.2.3.1.13. Irradiación Solar Difusa sobre una Superficie Inclined ( $I_{dif}, \theta$ ).....	32
2.2.3.1.14. Irradiación solar Reflejada sobre una Superficie Inclined ( $I_{ref}, \theta$ ).....	32
2.2.3.1.15. Irradiación Solar Total sobre una Superficie Inclined ( $I_T$ ) .....	32
2.3. DESTILACIÓN SOLAR .....	33
2.3.1. DEFINICIÓN.....	33
2.3.2. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO .....	33
2.3.3. CARACTERÍSTICAS .....	34
2.3.3.1. Campo de aplicación .....	34
2.3.3.2. Ventajas .....	35
2.3.3.3. Limitaciones.....	35
2.3.4. CLASIFICACIÓN Y TIPOS DE DESTILADORES SOLARES .....	36
2.3.4.1. Destilación Solar Pasiva .....	36
2.3.4.2. Destilación Solar Activa .....	37
2.3.5. DESARROLLO DE LA DESTILACIÓN SOLAR .....	39

2.3.5.1. Desarrollo de la Destilación Solar Pasiva.....	39
2.3.5.2. Desarrollo de la Destilación Solar Activa.....	43
2.4. MODELO TÉRMICO DEL DESTILADOR SOLAR .....	47
2.4.1. EVALUACIÓN TÉRMICA SOBRE EL COLECTOR SOLAR .....	47
2.4.1.1. Colector Solar de Placa Plana (Flat Plate Collector).....	47
2.4.1.1.1. Partes principales .....	47
2.4.1.2. Balance de Energía en el Colector Solar .....	48
2.4.1.3. Flujo de Calor Útil (Q <sub>útil</sub> ).....	50
2.4.1.4. Flujo de Calor Perdido (Q <sub>pe</sub> ).....	51
2.4.1.5. Coeficiente de Transferencia de Calor Total (ULC) .....	51
2.4.1.5.1. Coeficiente de transferencia de calor total (U <sub>inf</sub> ).....	53
2.4.1.5.2. Coeficiente de transferencia de calor total (U <sub>sup</sub> ) .....	53
2.4.1.5.3. Coeficiente de transferencia de calor total (U <sub>lat</sub> ).....	56
2.4.1.6. Eficiencia Térmica del Colector Solar ( $\eta_c$ ) .....	57
2.4.1.7. Eficiencia de la Placa de Absorción (F).....	57
2.4.1.8. Factor de Eficiencia del Colector (F') .....	59
2.4.1.9. Factor de Remoción de Calor (FR).....	60
2.4.1.10. Temperatura del Fluido.....	61
2.4.1.11. Temperatura de Estancamiento .....	62
2.4.1.12. Restricciones y Limitaciones .....	62
2.4.2. EVALUACIÓN TÉRMICA SOBRE EL ALAMBIQUE SOLAR .....	63
2.4.2.1. ALAMBIQUE SOLAR DE DOBLE VERTIENTE .....	63
2.4.2.1.1. Partes Principales .....	63
2.4.2.2. TRANSFERENCIA DE CALOR INTERNO.....	65
2.4.2.2.1. Transferencia de Calor Interno por Radiación .....	66
2.4.2.2.2. Transferencia de Calor Interno por Convección.....	67
2.4.2.2.3. Transferencia de Calor Interno por Evaporación.....	69

2.4.2.3. TRANSFERENCIA DE CALOR EXTERNO.....	70
2.4.2.3.1. Transferencia de Calor por la Cubierta Superior.....	70
2.4.2.3.2. Transferencia de Calor por los Lados y Parte Inferior.....	73
2.4.2.4. COEFICIENTES DE TRANSFERENCIA DE CALORES TOTALES.....	75
2.4.2.4.1. Coeficiente de transferencia de calor total (Uwo).....	75
2.4.2.4.2. Coeficiente de transferencia de calor total (Ut).....	76
2.4.2.4.3. Coeficiente de transferencia de calor total (Ub).....	76
2.4.2.4.4. Coeficiente de transferencia de calor total (Us).....	77
2.4.2.4.5. Coeficiente de Transferencia de Calor Total (ULS).....	77
2.4.2.5. MODELO TÉRMICO Y BALANCE DE ENERGÍA.....	78
2.4.2.5.1. BALANCE DE ENERGÍA SOBRE LA CUBIERTA DE VIDRIO.....	79
2.4.2.5.2. BALANCE DE ENERGÍA SOBRE LA FUENTE.....	81
2.4.2.5.3. BALANCE DE ENERGÍA SOBRE LA MASA DE AGUA.....	81
2.4.2.6. PRODUCCIÓN DE AGUA PURA.....	84
2.4.2.7. EFICIENCIA TÉRMICA DEL DESTILADOR SOLAR.....	85
2.4.2.7.1. Destilador Solar Pasivo.....	85
2.4.2.7.2. Destilador Solar Activo.....	85
2.4.2.8. RESTRICCIONES Y LIMITACIONES.....	86
CAPÍTULO III.....	87
3. DISEÑO Y COMPORTAMIENTO TEÓRICO.....	87
3.1. DISEÑO.....	87
3.1.1. DISTRITO DE MAJES: Datos Geográficos y Meteorológicos.....	87
3.1.2. CRITERIOS PARA EL DISEÑO.....	88
3.1.2.1. Dimensiones.....	88
3.1.2.2. Materiales de Construcción.....	89
3.1.2.3. Orientación e Inclinación.....	90
3.1.2.4. Profundidad del Agua Contaminada.....	91

3.1.2.5. Alimentación del Agua Contaminada.....	91
3.1.2.6. Separación de Agua Pura y Agua Contaminada .....	92
3.1.2.7. Sabor del Agua Destilada .....	92
3.1.3. SISTEMA DE DESTILACIÓN SOLAR PROPUESTO .....	92
3.1.4. PARÁMETROS DE DISEÑO.....	93
3.1.4.1. Parámetros Generales .....	93
3.1.4.2. Parámetros de Diseño para el Colector Solar.....	94
3.1.4.3. Parámetros de Diseño para el Alambique Solar.....	94
3.2 COMPORTAMIENTO TEÓRICO DEL SISTEMA .....	95
3.2.1. CÁLCULO DE LA IRRADIACIÓN SOLAR TOTAL.....	95
3.2.1.1- Irradiación Solar Total sobre la superficie inclinada del Colector Solar .....	95
3.2.1.2. Irradiación Solar Total sobre la superficie inclinada del Alambique Solar .....	97
3.2.2. COMPORTAMIENTO DEL COLECTOR SOLAR .....	99
3.2.3- COMPORTAMIENTO DEL ALAMBIQUE SOLAR .....	106
3.2.3.1. Sin utilizar Colector Solar.....	106
3.2.3.2. Utilizando Colector Solar .....	116
CAPÍTULO IV .....	127
4. CONSTRUCCIÓN Y RESULTADOS .....	127
4.1. CONSTRUCCIÓN .....	127
4.1.1. MÉTODO DE CONSTRUCCIÓN .....	127
4.1.2. PROCEDIMIENTO DE CONSTRUCCIÓN .....	128
4.1.2.1. Construcción del Colector Solar de Placa Plana (FPC).....	129
4.1.2.2. Construcción del Alambique Solar.....	130
4.1.2.2.1. Construcción de la Estructura de Soporte .....	130
4.1.2.2.2. Construcción del Evaporador .....	131
4.1.2.2.3. Montaje del Evaporador .....	133
4.1.2.2.4. Construcción del Condensador .....	134

4.1.2.2.5. Montaje del Condensador.....	136
4.1.2.3. Montaje del Alambique Solar .....	136
4.1.2.4. Construcción del Tanque de Control de Nivel de Agua Contaminada .....	137
4.1.2.5. Montaje del Tanque de Control de Nivel de Agua Contaminada .....	139
4.1.2.6. Montaje del Tanque de Reserva de Agua Contaminada.....	139
4.1.2.7. Conexión de Componentes del Sistema de Destilación Solar .....	140
4.1.3. PUESTA EN MARCHA .....	140
4.1.4. FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA.....	144
4.2. RESULTADOS EXPERIMENTALES .....	146
4.2.1. Configuraciones Analizadas .....	146
4.2.2. RESULTADOS SIN UTILIZAR COLECTOR SOLAR ( $N_c=0$ ).....	146
4.2.2.1- Resultados a una profundidad de Agua Contaminada de 2 cm .....	147
4.2.2.2- Resultados a una profundidad de Agua Contaminada de 4 cm .....	149
4.2.3. RESULTADOS UTILIZANDO 1 COLECTOR SOLAR ( $N_c=1$ ) .....	152
4.2.3.1. Resultados a una profundidad de Agua Contaminada de 2 cm.....	152
4.2.3.2. Resultados a una profundidad de Agua Contaminada de 4 cm.....	155
4.2.4. RESULTADOS UTILIZANDO 2 COLECTORES SOLARES ( $N_c=2$ ) .....	158
4.2.4.1. Resultados a una profundidad de Agua Contaminada de 2 cm.....	158
4.2.4.2. Resultados a una profundidad de Agua Contaminada de 4 cm.....	161
4.2.5. ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	164
4.2.5.1. Producción de Agua Destilada .....	164
4.2.5.2. Temperaturas Alcanzadas .....	170
4.2.5.2.1. Sobre el Alambique Solar .....	170
4.2.5.2.2. Sobre el Colector Solar .....	173
4.2.6. EVALUACIÓN DE PERDIDAS DE CALOR UTILIZANDO EL PROGRAMA AISLAM .....	177
4.2.6.1. PERDIDAS DE CALOR EN TUBERÍAS .....	178
4.2.6.1.1. Tubería de agua caliente.....	179

4.2.6.1.2. Tubería de agua fría .....	182
4.2.6.2. PERDIDAS DE CALOR EN EL ALAMBIQUE SOLAR.....	183
4.2.6.2.1. Perdida de calor por la parte inferior .....	183
4.2.6.2.2. Perdida de calor por la parte frontal y lateral .....	185
CAPÍTULO V .....	187
5. ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO.....	187
5.1. ANÁLISIS TÉCNICO .....	187
5.1.1. Distrito de Majes .....	187
5.1.1.1. Estructura y Expansión Urbana.....	188
5.1.1.2. Suministro de Agua Cruda al Distrito de Majes .....	189
5.1.1.3. Sistema de Agua Potable .....	190
5.1.1.4. Sistema de Agua de Regadío .....	192
5.1.1.5. Población Rural y Ocupaciones Informales.....	194
5.1.2. Problemática del Agua Potable y Crecimiento Poblacional.....	197
5.1.3. Destilación Solar como Alternativa de obtención de Agua Pura.....	204
5.2. ANÁLISIS ECONÓMICO .....	206
5.2.1. COSTO DE CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA .....	206
5.2.1.1. Costo del Alambique Solar .....	207
5.2.1.2. Costo del Tanque de Control de Nivel de Agua Contaminada .....	210
5.2.1.3. Costo del Colector Solar de Placa Plana (FPC) .....	210
5.2.1.4. Costo del Tanque de Reserva de Agua Contaminada .....	211
5.2.1.5. Tuberías, mangueras, accesorios y otros .....	212
5.2.2. COSTO DEL AGUA POTABLE .....	213
5.2.3. COSTO DEL AGUA DE REGADÍO .....	214
5.2.4. COSTO DEL AGUA DESTILADA .....	215
5.2.5. RENTABILIDAD DEL SISTEMA PROPUESTO .....	216
CONCLUSIONES.....	219

RECOMENDACIONES.....	221
REFERENCIAS .....	222
ANEXOS .....	227
PLANOS.....	249

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Agua Elemento Esencial para mantener la Vida.....	7
<b>Figura 2</b> Importancia del Agua para la Salud .....	11
<b>Figura 3</b> Consecuencias de la Escasez de Agua en el Mundo .....	12
<b>Figura 4</b> Abastecimiento de Agua Potable por Camión Cisterna en Arequipa.....	14
<b>Figura 5</b> Crecimiento Poblacional y Cambio Climático aumentan la Escasez de Agua .....	15
<b>Figura 6</b> Mapa Mundial de Irradiación Solar Global Horizontal.....	18
<b>Figura 7</b> Espectro de la Radiación Solar .....	19
<b>Figura 8</b> Tipos de Radiación Solar .....	21
<b>Figura 9</b> Variación de la Radiación Solar Extraterrestre - Hemisferio Sur .....	21
<b>Figura 10</b> Central Termosolar Tipo Torre .....	22
<b>Figura 11</b> Disco Parabólico de Stirling.....	23
<b>Figura 12</b> Concentrador Solar Tipo Cilindro Parabólico.....	24
<b>Figura 13</b> Concentrador Tipo Fresnel.....	25
<b>Figura 14</b> Sistema Natural o Termosifón para Obtención de ACS .....	26
<b>Figura 15</b> Sistema Forzado para Obtención de ACS.....	27
<b>Figura 16</b> Ángulo de Declinación Solar .....	27
<b>Figura 17</b> Ángulo Horario.....	28
<b>Figura 18</b> Destilador o Alambique Solar de Una Vertiente.....	34
<b>Figura 19</b> Clasificación de los Sistemas de Destilación Solar y Tipos de Destiladores Solares más comunes .....	36

<b>Figura 20</b> Destiladores Solares Pasivos de 1 Vertiente con variaciones de ángulos de inclinación (izq.). Destilador Solar Pasivo de Doble Vertiente con Reflectores Auxiliares (der.) .....	40
<b>Figura 21</b> Destilador Solar Pasivo Tipo Pirámide Triangular .....	40
<b>Figura 22</b> Destilador Solar Tubular.....	41
<b>Figura 23</b> Destilador Solar Hemisférico .....	41
<b>Figura 24</b> Destilador Solar Escalonado con Reflectores .....	42
<b>Figura 25</b> Destilador Solar Pasivo de Vertiente Simple con Absorbedor Invertido .....	42
<b>Figura 26</b> Potabilizador Solar de Agua “Carocell” .....	43
<b>Figura 27</b> Destilador Solar Activo Integrado con Colector de Placa Plana.....	44
<b>Figura 28</b> Alambique de Doble Vertiente con “n” Colectores PVT (izq.). Destilador Solar Activo Híbrido de Doble Vertiente con Colector de PVT y FPC (der.).....	45
<b>Figura 29</b> Destilador Solar de 4 Etapas acoplado a un Concentrador Solar Cilindro Parabólico .....	45
<b>Figura 30</b> Destilador Solar de Efecto Múltiple con Tubos de Vacío. ....	46
<b>Figura 31</b> Sistema de Destilación Solar Híbrida con Concentrador Fresnel y Sistema Fotovoltaico. ....	47
<b>Figura 32</b> Partes de un Colector Solar de Placa Plana.....	48
<b>Figura 33</b> Radiación Incidente sobre una Superficie Transparente .....	49
<b>Figura 34</b> Red de Resistencias Térmicas para la Transferencia de Calor en un Colector Solar Plano .....	52
<b>Figura 35</b> Configuración de la Placa de Absorción en un Colector Solar Plano .....	58
<b>Figura 36</b> Partes Principales de un Alambique Solar de Doble Vertiente.....	64
<b>Figura 37</b> Mecanismos de Transferencia de Calor sobre el Alambique Solar.....	65

<b>Figura 38</b> Coeficientes de Transferencia de Calores Totales sobre el Alambique Solar .....	75
<b>Figura 39</b> Flujos de Energía presentes en el Alambique Solar .....	78
<b>Figura 40</b> Esquema del Sistema de Destilación Solar Propuesto.....	93
<b>Figura 41</b> Variación de la Irradiación Solar Total sobre la superficie inclinada del Colector Solar.....	97
<b>Figura 42</b> Variación de la Irradiación Solar Total sobre la superficie inclinada del Alambique Solar.....	99
<b>Figura 43</b> Variación de los Flujos de Calor respecto a “Tp” (izq.) y “ITC” (der.).....	102
<b>Figura 44</b> Variación del Coeficiente de Transferencia de Calor respecto a “Tp” (izq.) y “ITC” (der.) .....	102
<b>Figura 45</b> Variación de Temperaturas Alcanzadas respecto a “Tp” (izq.) y “ITC” (der.).....	103
<b>Figura 46</b> Variación de la Eficiencia de la Placa de Absorción, Factor de Eficiencia del Colector y Factor de Remoción de Calor Respecto a “Tp” (izq.) y “ITC” (der.).....	104
<b>Figura 47</b> Variación de la Ganancia de Temperatura respecto a “Tp” (izq.) y “ITC” (der.) ..	104
<b>Figura 48</b> Variación de la Eficiencia Instantánea del Colector Solar respecto a “Tp” (izq.) y “ITC” (der.) .....	105
<b>Figura 49</b> Variación de la Masa de Agua destilada por día, Eficiencia Térmica, Temperaturas Alcanzadas y Coeficientes de Transferencia de Calor respecto a “T <sub>w0</sub> ” (izq.) y “IT <sub>s</sub> ” (der.) para N <sub>c</sub> =0 .....	109
<b>Figura 50</b> Variación de la Masa de Agua destilada por día, Eficiencia Térmica, Temperaturas Alcanzadas y Coeficientes de Transferencia de Calor respecto a “X <sub>w</sub> ” (izq.) y “As” (der.) para N <sub>c</sub> =0 .....	112
<b>Figura 51</b> Variación de la Masa de Agua destilada por día, Eficiencia Térmica, Temperaturas Alcanzadas y Coeficientes de Transferencia de Calor respecto a “v” (izq.) y “Ta” (der.) para N <sub>c</sub> =0 .....	115

<b>Figura 52</b> Variación de la Masa de Agua destilada por día, Eficiencia Térmica, Temperaturas Alcanzadas y Coeficientes de Transferencia de Calor respecto a " $T_{w0}$ " (izq.) y " $T_{TS}$ " (der.) para $N_c=1$ .....	118
<b>Figura 53</b> Variación de la Masa de Agua destilada por día, Eficiencia Térmica, Temperaturas Alcanzadas y Coeficientes de Transferencia de Calor respecto a " $X_w$ " (izq.) y " $A_s$ " (der.) para $N_c=1$ .....	121
<b>Figura 54</b> Variación de la Masa de Agua destilada por día, Eficiencia Térmica, Temperaturas Alcanzadas y Coeficientes de Transferencia de Calor respecto a " $v$ " (izq.) y " $T_a$ " (der.) para $N_c=1$ .....	124
<b>Figura 55</b> Variación de la Masa de Agua destilada por día, Eficiencia Térmica, Temperaturas Alcanzadas y Coeficientes de Transferencia de Calor respecto al Número de Colectores Solares utilizados " $N_c$ " .....	126
<b>Figura 56</b> Diagrama de flujo de la construcción de una pieza del sistema .....	128
<b>Figura 57</b> Procedimiento de Construcción del Sistema de Destilación Solar .....	129
<b>Figura 58</b> Colector Solar de Placa Plana .....	130
<b>Figura 59</b> Estructura de Soporte del Alambique Solar .....	130
<b>Figura 60</b> Bastidor del Evaporador .....	131
<b>Figura 61</b> Construcción de la Bandeja del Evaporador .....	132
<b>Figura 62</b> Sujeción de la Bandeja al Bastidor .....	132
<b>Figura 63</b> Aislamiento Térmico .....	133
<b>Figura 64</b> Evaporador .....	134
<b>Figura 65</b> Bastidor del Condensador .....	135
<b>Figura 66</b> Canaletas de Recolección .....	135
<b>Figura 67</b> Condensador .....	136

<b>Figura 68</b> Alambique Solar de Doble Vertiente.....	137
<b>Figura 69</b> Tanque de Control de Nivel de Agua Contaminada.....	138
<b>Figura 70</b> Estructura de Soporte del Tanque de Control de Nivel de Agua .....	138
<b>Figura 71</b> Montaje del Tanque de Control de Nivel de Agua Contaminada .....	139
<b>Figura 72</b> Montaje del Tanque de Reserva de Agua Contaminada.....	140
<b>Figura 73</b> Ingreso del Agua Contaminada al Alambique Solar .....	141
<b>Figura 74</b> Verificación de la Horizontalidad del Alambique Solar.....	142
<b>Figura 75</b> Ajuste de la Profundidad del Agua Contaminada en el Alambique Solar .....	142
<b>Figura 76</b> Control del suministro de Agua Contaminada .....	143
<b>Figura 77</b> Destilador Solar de Doble Vertiente terminado .....	143
<b>Figura 78</b> Funcionamiento del Sistema de Destilación Solar Propuesto.....	145
<b>Figura 79</b> Sistema de Destilación Solar sin utilizar Colector Solar .....	147
<b>Figura 80</b> Producción de Agua Destilada promedio por lotes (izq.) y acumulada (der.) para $N_c=0$ y $X_w=2\text{cm}$ ( $M_w=49\text{ Kg}$ ).....	149
<b>Figura 81</b> Temperaturas Alcanzadas promedio para $N_c=0$ y $X_w=2\text{cm}$ ( $M_w=49\text{ Kg}$ ).....	149
<b>Figura 82</b> Producción de Agua Destilada promedio por lotes (izq.) y acumulada (der.) para $N_c=0$ y $X_w=4\text{cm}$ ( $M_w=98\text{ Kg}$ ).....	151
<b>Figura 83</b> Temperaturas Alcanzadas promedio para $N_c=0$ y $X_w=4\text{cm}$ ( $M_w=98\text{ Kg}$ ).....	151
<b>Figura 84</b> Sistema de Destilación Solar utilizando 1 Colector Solar .....	152
<b>Figura 85</b> Producción de Agua Destilada promedio por lotes (izq.) y acumulada (der.) para $N_c=1$ y $X_w=2\text{cm}$ ( $M_w=49\text{ Kg}$ ).....	154
<b>Figura 86</b> Temperaturas Alcanzadas promedio sobre el Alambique Solar (izq.) y Colector Solar (der.) para $N_c=1$ y $X_w=2\text{cm}$ ( $M_w=49\text{ Kg}$ ).....	154

<b>Figura 87</b> Producción de Agua Destilada promedio por lotes (izq.) y acumulada (der.) para $N_c=1$ y $X_w=4\text{cm}$ ( $M_w=98\text{ Kg}$ ).....	157
<b>Figura 88</b> Temperaturas Alcanzadas promedio sobre el Alambique Solar (izq.) y Colector Solar (der.) para $N_c=1$ y $X_w=4\text{cm}$ ( $M_w=98\text{ Kg}$ ).....	157
<b>Figura 89</b> Sistema de Destilación Solar utilizando 2 Colectores Solares.....	158
<b>Figura 90</b> Producción de Agua Destilada promedio por lotes (izq.) y acumulada (der.) para $N_c=2$ y $X_w=2\text{cm}$ ( $M_w=49\text{ Kg}$ ).....	160
<b>Figura 91</b> Temperaturas Alcanzadas promedio sobre el Alambique Solar para $N_c=2$ y $X_w=2\text{cm}$ ( $M_w=49\text{ Kg}$ ) .....	160
<b>Figura 92</b> Temperaturas Alcanzadas promedio sobre el Colector Solar 1 (izq.) y Colector Solar 2 (der.) para $N_c=2$ y $X_w=2\text{cm}$ ( $M_w=49\text{ Kg}$ ).....	161
<b>Figura 93</b> Producción de Agua Destilada promedio por lotes (izq.) y acumulada (der.) para $N_c=2$ y $X_w=4\text{cm}$ ( $M_w=98\text{ Kg}$ ).....	163
<b>Figura 94</b> Temperaturas Alcanzadas promedio sobre el Alambique Solar para $N_c=2$ y $X_w=4\text{cm}$ ( $M_w=98\text{ Kg}$ ) .....	163
<b>Figura 95</b> Temperaturas Alcanzadas promedio sobre el Colector Solar 1 (izq.) y Colector Solar 2 (der.) para $N_c=2$ y $X_w=4\text{cm}$ ( $M_w=98\text{ Kg}$ ).....	164
<b>Figura 96</b> Producción de Agua Destilada promedio por lotes (izq.) y acumulada (der.) para $N_c=0$ , $X_w=2\text{cm}$ y $X_w=4\text{cm}$ .....	165
<b>Figura 97</b> Producción de Agua Destilada promedio por lotes (izq.) y acumulada (der.) para $N_c=1$ , $X_w=2\text{cm}$ y $X_w=4\text{cm}$ .....	166
<b>Figura 98</b> Producción de Agua Destilada promedio por lotes (izq.) y acumulada (der.) para $N_c=2$ , $X_w=2\text{cm}$ y $X_w=4\text{cm}$ .....	167
<b>Figura 99</b> Producción de Agua Destilada promedio por lotes (izq.) y acumulada (der.) para $X_w=2\text{cm}$ , $N_c=0$ , $N_c=1$ y $N_c=2$ .....	168

<b>Figura 100</b> Producción de Agua Destilada promedio por lotes (izq.) y acumulada (der.) para $X_w=4\text{cm}$ , $N_c=0$ , $N_c=1$ y $N_c=2$ .....	169
<b>Figura 101</b> Temperatura de Agua en la Fuente ( $T_w$ ) promedio para $N_c=0$ , $X_w=2\text{cm}$ y $X_w=4\text{cm}$ .....	170
<b>Figura 102</b> Temperatura de Agua en la Fuente ( $T_w$ ) promedio para $N_c=1$ , $X_w=2\text{cm}$ y $X_w=4\text{cm}$ .....	171
<b>Figura 103</b> Temperatura de Agua en la Fuente ( $T_w$ ) promedio para $N_c=2$ , $X_w=2\text{cm}$ y $X_w=4\text{cm}$ .....	171
<b>Figura 104</b> Temperatura de Agua en la Fuente ( $T_w$ ) promedio para $X_w=2\text{cm}$ , $N_c=0$ , $N_c=1$ y $N_c=2$ .....	172
<b>Figura 105</b> Temperatura de Agua en la Fuente ( $T_w$ ) promedio para $X_w=4\text{cm}$ , $N_c=0$ , $N_c=1$ y $N_c=2$ .....	173
<b>Figura 106</b> Temperatura de la Placa de Absorción [ $T_p$ ] (izq.) y Temperatura del Agua a la Salida del Colector Solar [ $T_{fs}$ ] (der.) para $N_c=1$ , $X_w=2\text{cm}$ y $X_w=4\text{cm}$ .....	174
<b>Figura 107</b> Temperatura de la Placa de Absorción [ $T_p$ ] (izq.) y Temperatura del Agua a la Salida del Colector Solar [ $T_{fs}$ ] (der.) para $N_c=2$ , $X_w=2\text{cm}$ y $X_w=4\text{cm}$ .....	175
<b>Figura 108</b> Temperatura de la Placa de Absorción [ $T_p$ ] (izq.) y Temperatura del Agua a la Salida del Colector Solar [ $T_{fs}$ ] (der.) para $X_w=2\text{cm}$ , $N_c=1$ y $N_c=2$ .....	176
<b>Figura 109</b> Temperatura de la Placa de Absorción [ $T_p$ ] (izq.) y Temperatura del Agua a la Salida del Colector Solar [ $T_{fs}$ ] (der.) para $X_w=4\text{cm}$ , $N_c=1$ y $N_c=2$ .....	177
<b>Figura 110</b> Interfaz de Programa AISLAM.....	178
<b>Figura 111</b> Flujos de calor perdido para Tubería de Polipropileno y Tubería de Acero con aislamiento de Lana de Vidrio (Tubería agua caliente).....	182
<b>Figura 112</b> Flujos de calor perdido para Tubería de Polipropileno y Tubería de Acero con aislamiento de Lana de Vidrio (Tubería agua fría) .....	183

<b>Figura 113</b> Flujos de calor perdido por la parte inferior del Alambique Solar utilizando Lana de Vidrio, Poliuretano y Madera .....	185
<b>Figura 114</b> Expansión Urbana del Distrito de Majes .....	189
<b>Figura 115</b> Esquema Hidráulico Proyecto Majes Sigvas .....	190
<b>Figura 116</b> Planta de Tratamiento de Agua Potable El Pedregal .....	191
<b>Figura 117</b> Planta de Tratamiento de Agua Potable Ciudad Majes .....	192
<b>Figura 118</b> Distribución del Agua de Regadío hacia el Distrito de Majes .....	193
<b>Figura 119</b> Ocupación Informal, Asociación Hijo de Colonos.....	195
<b>Figura 120</b> Ocupación Informal, Ciudad Perdida .....	196
<b>Figura 121</b> Distrito de Majes, Ocupaciones Informales .....	196
<b>Figura 122</b> Grifo domiciliario, Agua No Potable (Agua Turbia), Asociación COPRAA.....	197
<b>Figura 123</b> Abastecimiento de Agua por Manguera (izq.) y Tanques de Almacenamiento (der.) .....	198
<b>Figura 124</b> Abastecimiento de Agua por Camión Cisterna y Camión de Carga .....	199
<b>Figura 125</b> Abastecimiento de Agua hacia la Zona Rural del Distrito de Majes.....	200
<b>Figura 126</b> Abastecimiento de Agua por Pozo .....	200
<b>Figura 127</b> Abastecimiento de Agua por Canal a un Asentamiento en la “Sección Agraria E” .....	201
<b>Figura 128</b> Algunos pobladores de la Zona Rural del Distrito de Majes que podrían beneficiarse de la Destilación Solar .....	205

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Distribución del Agua en la Hidrosfera .....	8
<b>Tabla 2</b> Límites Máximos Permisibles para la Calidad del Agua Potable en el Perú .....	9
<b>Tabla 3</b> Ingesta adecuada de Agua y Bebida total para Climas Templados .....	16
<b>Tabla 4</b> Ingesta de Agua Recomendada para Mantenerse Hidratado .....	17
<b>Tabla 5</b> Estudio comparativo de algunos Destiladores Solares Activos.....	38
<b>Tabla 6</b> Datos Geográficos y Meteorológicos del Distrito de Majes .....	87
<b>Tabla 7</b> Parámetros Generales para el Sistema de Destilación Solar .....	93
<b>Tabla 8</b> Parámetros de Diseño para el Colector Solar de Placa Plana (FPC) .....	94
<b>Tabla 9</b> Parámetros de Diseño para el Alambique Solar .....	95
<b>Tabla 10</b> Valores de Irradiación Solar sobre el Colector Solar de Placa Plana (FPC) .....	96
<b>Tabla 11</b> Valores de Irradiación Solar sobre el Alambique Solar .....	98
<b>Tabla 12</b> Valores promedio asumidos para la Solución de las Ecuaciones sobre el Colector Solar.....	100
<b>Tabla 13</b> Comportamiento de las variables del Colector Solar en función de la Temperatura de la Placa de Absorción “Tp” .....	101
<b>Tabla 14</b> Comportamiento de las variables del Colector Solar en función de la Radiación Solar Total “I <sub>TC</sub> ” .....	101
<b>Tabla 15</b> Valores y Resultados promedio obtenidos de la Evaluación sobre el Colector Solar .....	106
<b>Tabla 16</b> Comportamiento de las variables del Destilador Solar en función de la Temperatura del Agua Inicial “T <sub>w0</sub> ” para Nc=0 .....	107

<b>Tabla 17</b> Comportamiento de las variables del Destilador Solar en función de la Radiación Solar Total “ $I_{TS}$ ” para $N_c=0$ .....	107
<b>Tabla 18</b> Comportamiento de las variables del Destilador Solar en función de la Profundidad del Agua en la Fuente “ $X_w$ ” para $N_c=0$ .....	110
<b>Tabla 19</b> Comportamiento de las variables del Destilador Solar en función del Área del Alambique Solar “ $A_s$ ” para $N_c=0$ .....	111
<b>Tabla 20</b> Comportamiento de las variables del Destilador Solar en función de la Velocidad del Viento “ $v$ ” para $N_c=0$ .....	113
<b>Tabla 21</b> Comportamiento de las variables del Destilador Solar en función de la Temperatura Ambiente “ $T_a$ ” para $N_c=0$ .....	114
<b>Tabla 22</b> Comportamiento de las variables del Destilador Solar en función de la Temperatura del Agua Inicial “ $T_{w0}$ ” para $N_c=1$ .....	116
<b>Tabla 23</b> Comportamiento de las variables del Destilador Solar en función de Radiación Solar Total “ $I_{TS}$ ” para $N_c=1$ .....	117
<b>Tabla 24</b> Comportamiento de las variables del Destilador Solar en función Profundidad del Agua en la Fuente “ $X_w$ ” para $N_c=1$ .....	119
<b>Tabla 25</b> Comportamiento de las variables del Destilador Solar en función del Área Efectiva del Alambique Solar “ $A_s$ ” para $N_c=1$ .....	120
<b>Tabla 26</b> Comportamiento de las variables del Destilador Solar en función de la Velocidad del Viento “ $v$ ” para $N_c=1$ .....	122
<b>Tabla 27</b> Comportamiento de las variables del Destilador Solar en función de la Temperatura Ambiente “ $T_a$ ” para $N_c=1$ .....	123
<b>Tabla 28</b> Comportamiento de las variables del Destilador Solar en función del Número de Colectores Solares utilizados “ $N_c$ ”.....	125
<b>Tabla 29</b> Resultados sin utilizar Colector Solar ( $N_c=0$ ) a una profundidad de 2 cm ( $X_w=2$ cm).....	148

<b>Tabla 30</b> Resultados sin utilizar Colector Solar ( $N_c=0$ ) a una profundidad de 4 cm ( $X_w=4\text{cm}$ ) .....	150
<b>Tabla 31</b> Resultados utilizando 1 Colector Solar ( $N_c=1$ ) a una profundidad de 2 cm ( $X_w=2\text{cm}$ ) .....	153
<b>Tabla 32</b> Resultados utilizando 1 Colector Solar ( $N_c=1$ ) a una profundidad de 4 cm ( $X_w=4\text{cm}$ ) .....	156
<b>Tabla 33</b> Resultados utilizando 2 Colectores Solares ( $N_c=2$ ) a una profundidad de 2 cm ( $X_w=2\text{cm}$ ).....	159
<b>Tabla 34</b> Resultados utilizando 2 Colectores Solares ( $N_c=2$ ) a una profundidad de 4 cm ( $X_w=4\text{cm}$ ).....	162
<b>Tabla 35</b> Flujos de calor perdido con Tubería de Polipropileno (Tubería agua caliente) .....	181
<b>Tabla 36</b> Flujos de calor perdido con Tubería de Acero y Aislamiento Lana de vidrio (Tubería agua caliente) .....	181
<b>Tabla 37</b> Flujos de calor perdido con Tubería de Polipropileno (Tubería agua fría) .....	182
<b>Tabla 38</b> Flujos de calor perdido con Tubería de Acero y Aislamiento Lana de Vidrio (Tubería agua fría) .....	183
<b>Tabla 39</b> Flujos de calor perdido por la parte inferior del Alambique Solar utilizando Lana de Vidrio de 50 mm .....	184
<b>Tabla 40</b> Flujos de calor perdido por la parte inferior del Alambique Solar utilizando Poliuretano 50 mm de espesor .....	184
<b>Tabla 41</b> Flujos de calor perdido por la parte inferior del Alambique Solar utilizando Geomembrana y Madera de 1 y 50 mm de espesor respetivamente .....	185
<b>Tabla 42</b> Flujos de calor perdido por la parte frontal del Alambique Solar .....	186
<b>Tabla 43</b> Flujos de calor perdido por la parte lateral del Alambique Solar .....	186
<b>Tabla 44</b> Población Total del Distrito de Majes por Área Urbana, Rural y Género .....	187

<b>Tabla 45</b> Sectores Urbanos del Distrito de Majes .....	188
<b>Tabla 46</b> Análisis Físicoquímico realizado al Agua de Regadío Pampa de Majes .....	193
<b>Tabla 47</b> Viviendas Particulares, por Área Urbana y Rural, y Tipo de Vivienda .....	194
<b>Tabla 48</b> Viviendas Particulares con Ocupantes Presentes, por disponibilidad de Alumbrado Eléctrico por Red Pública, según Área Urbana y Rural, y Tipo de Procedencia de Agua.....	198
<b>Tabla 49</b> Viviendas Particulares con Ocupantes Presentes, por Entidades a la que pagan por el Servicio de Agua, según el Área Urbana y Rural, y Tipo de Vivienda.....	202
<b>Tabla 50</b> Proyecciones de la Población del Distrito de Majes .....	203
<b>Tabla 51</b> Costo del Sistema de Destilación Solar Propuesto .....	206
<b>Tabla 52</b> Costo del Alambique Solar.....	207
<b>Tabla 53</b> Costo del Condensador.....	208
<b>Tabla 54</b> Costo del Evaporador.....	209
<b>Tabla 55</b> Costo de la Estructura de Soporte del Alambique Solar .....	209
<b>Tabla 56</b> Costo del Tanque de Control de Nivel de Agua Contaminada.....	210
<b>Tabla 57</b> Costo del Colector Solar de Placa Plana (FPC).....	211
<b>Tabla 58</b> Costo del Tanque de Reserva de Agua Contaminada .....	212
<b>Tabla 59</b> Precio de Tuberías, Mangueras, Accesorios y otros .....	212
<b>Tabla 60</b> Estructura de Tarifas de Agua Potable para Distrito de Majes.....	213
<b>Tabla 61</b> Tarifa del Agua para Riego de la Pampa de Majes.....	215
<b>Tabla 62</b> Diferencia del Costo entre el Agua Potable y Agua para Riego.....	216
<b>Tabla 63</b> Costo total diario de producción de Agua Destilada.....	217
<b>Tabla 64</b> Análisis de Rentabilidad del Sistema Propuesto .....	217

## **LISTA DE ANEXOS**

**ANEXO 1:** Programación Utilizada (Engineering Equation Solver)

**ANEXO 2:** Análisis Físico-Químico

**ANEXO 3:** Fichas Técnicas de Materiales

**ANEXO 4:** Distrito de Majes y sus Municipalidades Menores

**ANEXO 5:** Sectores Urbanos del Distrito de Majes

**ANEXO 6:** Mapa de Propuesta de Crecimiento Urbano del Distrito de Majes

## **LISTA DE PLANOS**

**PLANO 1:** Esquema General

**PLANO 2:** Colector solar, plano de conjunto

**PLANO 3:** Colector solar, plano de montaje

**PLANO 4:** Colector solar, plano de despiece (pieza 1, 2 y 3)

**PLANO 5:** Colector solar, plano de despiece (pieza 4 y 5)

**PLANO 6:** Colector solar, bastidor (pieza 6 (subconj.)), plano de conjunto

**PLANO 7:** Colector solar, bastidor (pieza 6 (subconj.)), plano de montaje

**PLANO 8:** Colector solar, bastidor (pieza 6 (subconj.)), plano de despiece

**PLANO 9:** Alambique solar, plano de conjunto

**PLANO 10:** Alambique solar, plano de montaje

**PLANO 11:** Alambique solar, cubierta superior (pieza 1 (subconj.)), plano de conjunto

**PLANO 12:** Alambique solar, cubierta superior (pieza 1 (subconj.)), plano de montaje

**PLANO 13:** Alambique solar, cubierta superior (pieza 1 (subconj.)), plano de despiece

**PLANO 14:** Alambique solar, plano de despiece (pieza 2)

**PLANO 15:** Alambique solar, bastidor de condensador (pieza 3 (subconj.)), plano de conjunto

**PLANO 16:** Alambique solar, bastidor de condensador (pieza 3 (subconj.)), plano de montaje

**PLANO 17:** Alambique solar, bastidor de condensador (pieza 3 (subconj.)), plano de despiece

**PLANO 18:** Alambique solar, plano de despiece (pieza 4)

**PLANO 19:** Alambique solar, aislamiento (pieza 5 (subconj.)), plano de conjunto

**PLANO 20:** Alambique solar, aislamiento (pieza 5 (subconj.)), plano de montaje

**PLANO 21:** Alambique solar, aislamiento (pieza 5 (subconj.)), plano de despiece

**PLANO 22:** Alambique solar, bastidor de evaporador (pieza 6 (subconj.)), plano de conjunto

**PLANO 23:** Alambique solar, bastidor de evaporador (pieza 6 (subconj.)), plano de montaje

**PLANO 24:** Alambique solar, bastidor de evaporador (pieza 6 (subconj.)), plano de despiece

**PLANO 25:** Alambique solar, plano de despiece (pieza 7)

**PLANO 26:** Tanque de control de nivel, plano de conjunto

**PLANO 27:** Tanque de control de nivel, plano de montaje

**PLANO 28:** Tanque de control de nivel, plano de despiece

**PLANO 29:** Tanque de reserva, plano de conjunto

**PLANO 30:** Tanque de reserva, plano de montaje

**PLANO 31:** Tanque de reserva, plano de despiece (pieza 1)

**PLANO 32:** Tanque de reserva, plano de despiece (pieza 2)

## NOMENCLATURA

### Para el Cálculo Solar:

$a, b$	: Coeficientes empíricos	[-]
$G_{sc}$	: Constante solar	$\left[ \frac{W}{m^2} \right]$
$I$	: Irradiación solar global terrestre sobre una superficie horizontal	$\left[ \frac{W \cdot h}{m^2} \right]$
$I_o$	: Irradiación solar extraterrestre sobre una superficie horizontal	$\left[ \frac{W \cdot h}{m^2} \right]$
$I_T$	: Irradiación solar total sobre una superficie inclinada	$\left[ \frac{W \cdot h}{m^2} \right]$
$I_{dif}$	: Irradiación solar difusa sobre una superficie horizontal	$\left[ \frac{W \cdot h}{m^2} \right]$
$I_{dir}$	: Irradiación solar directa sobre una superficie horizontal	$\left[ \frac{W \cdot h}{m^2} \right]$
$I_{dir,\theta}$	: Irradiación solar directa sobre una superficie inclinada	$\left[ \frac{W \cdot h}{m^2} \right]$
$I_{dif,\theta}$	: Irradiación solar difusa sobre una superficie inclinada	$\left[ \frac{W \cdot h}{m^2} \right]$
$I_{ref,\theta}$	: Irradiación solar reflejada sobre una superficie inclinada	$\left[ \frac{W \cdot h}{m^2} \right]$
$K_T$	: Índice de claridad horaria	[-]
$n$	: Número de día del año	[-]
$n_r$	: Número de horas sol reales	[h]
$N_t$	: Número de horas sol teóricas	[h]
$R_b$	: Factor para el cambio del ángulo de incidencia	[-]
$t_1, t_2$	: Tiempo inicial y final del brillo solar efectivo	[h]

### Letras griegas:

$\delta$	: Ángulo de declinación solar	[°]
$\epsilon_o$	: Factor de corrección de la excentricidad de la órbita terrestre	[-]
$\theta$	: Ángulo de inclinación de la cubierta receptora	[°]
$\rho_s$	: Coeficiente de reflexión del suelo o albedo	[-]
$\phi$	: Latitud de la zona	[°]
$\omega_s$	: Ángulo horario o ángulo del ocaso	[°]

### Para el Colector Solar de Placa Plana:

$A_c$	: Área efectiva del colector solar	[m <sup>2</sup> ]
$C_f$	: Calor específico del fluido	$\left[ \frac{J}{kg \cdot K} \right]$
$C_b$	: Conductancia entre tubo-placa de absorción	$\left[ \frac{W}{K} \right]$
$C, n$	: Constantes experimentales	[-]
$\frac{du}{dt}$	: Cambio de energía interna almacenada en el colector	[W]
$D$	: Diámetro exterior de los tubos del colector solar	[m]

$D_i$	: Diámetro interno de los tubos del colector solar	[m]
$e_a$	: Espesor del aislante térmico	[m]
$e_{a,lat}$	: Espesor del aislante térmico en los lados	[m]
$e_p$	: Espesor de la placa de absorción	[m]
$F$	: Eficiencia de la placa de absorción	[-]
$F'$	: Factor de eficiencia del colector solar	[-]
$F_R$	: Factor de remoción de calor	[-]
$h$	: Altura del colector solar	[m]
$h_{c,p-v}$	: Coeficiente de transferencia de calor por convección entre placa de absorción-vidrio	$\left[ \frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$
$h_{c,t-f}$	: Coeficiente de transferencia de calor por convección entre tubo-fluido	$\left[ \frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$
$h_{c,v-a}$	: Coeficiente de transferencia de calor por convección entre vidrio-ambiente	$\left[ \frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$
$h_{p-a}$	: Coeficiente de transferencia de calor entre placa de absorción - ambiente	$\left[ \frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$
$h_{r,p-v}$	: Coeficiente de transferencia de calor por radiación entre placa de absorción-vidrio	$\left[ \frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$
$h_{r,v-a}$	: Coeficiente de transferencia de calor por radiación entre vidrio-ambiente	$\left[ \frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$
$I_{TC}$	: Radiación solar total sobre la superficie inclinada del colector solar	$\left[ \frac{W}{m^2} \right]$
$k_a$	: Conductividad del aislante térmico	$\left[ \frac{W}{m \cdot K} \right]$
$k_{a,lat}$	: Conductividad del aislante térmico en los lados	$\left[ \frac{W}{m \cdot K} \right]$
$k_f$	: Conductividad térmica del fluido	$\left[ \frac{W}{m \cdot K} \right]$
$k_p$	: Conductividad térmica de la placa de absorción	$\left[ \frac{W}{m \cdot K} \right]$
$L_{tub}$	: Longitud de los tubos del colector solar	[m]
$\dot{m}_C$	: Flujo másico del fluido en el colector solar	$\left[ \frac{kg}{s} \right]$
$N_h$	: Número de horas sol efectivas por día	$\left[ \frac{h}{día} \right]$
$n_{tub}$	: Número de tubos en el colector solar	[-]
$P$	: Perímetro del colector solar	[m]
$\dot{Q}_{útil}$	: Flujo de calor útil transportado al fluido por el colector solar	[W]
$\dot{Q}_{pe}$	: Flujo de calor perdido en el colector solar	[W]
$R_1$	: Resistencia térmica contra la conducción de calor	$\left[ \frac{K}{W} \right]$
$R_2$	: Resistencia térmica contra la convección y radiación de calor	$\left[ \frac{K}{W} \right]$
$R_3$	: Resistencia térmica contra la convección y radiación de calor	$\left[ \frac{K}{W} \right]$
$R_4$	: Resistencia térmica contra la convección y radiación de calor	$\left[ \frac{K}{W} \right]$
$S$	: Radiación solar incidente sobre la placa de absorción	$\left[ \frac{W}{m^2} \right]$
$T_{est}$	: Temperatura de estancamiento del colector solar	[K]
$T_f$	: Temperatura promedio del fluido en el colector	[K]

$T_{fe}$	: Temperatura del fluido a la entrada del colector	[K]
$T_{fs}$	: Temperatura del fluido a la salida del colector	[K]
$T_p$	: Temperatura promedio de la placa de absorción	[K]
$T_v$	: Temperatura promedio de la cubierta de vidrio	[K]
$U_{inf}$	: Coeficiente de transferencia de calor por la parte inferior del colector solar	$\left[ \frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$
$U_{lat}$	: Coeficiente de transferencia de calor por la parte lateral del colector solar	$\left[ \frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$
$U_{LC}$	: Coeficiente de transferencia de calor total para el colector solar	$\left[ \frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$
$U_{sup}$	: Coeficiente de transferencia de calor por la parte superior del colector solar	$\left[ \frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$
$W$	: Separación entre tubos	[m]

### Letras griegas:

$\alpha$	: Absortividad de la placa de absorción del colector solar	[-]
$\alpha_f$	: Difusividad térmica del fluido	$\left[ \frac{m^2}{s} \right]$
$(\alpha\tau)_c$	: Factor por pérdidas ópticas y por absorción	[-]
$\beta_f$	: Coeficiente de expansión volumétrica del fluido	$\left[ \frac{1}{K} \right]$
$\Delta T_{p-v}$	: Diferencia de temperatura entre placa de absorción-vidrio	[°C]
$\Delta T_{t-f}$	: Diferencia de temperatura entre tubo-fluido	[K]
$\Delta T_f$	: Ganancia de temperatura del fluido	[K]
$\varepsilon_p$	: Emisividad de la placa de absorción	[-]
$\varepsilon_v$	: Emisividad de la cubierta de vidrio	[-]
$\eta_c$	: Eficiencia térmica instantánea del colector solar	[%]
$\iota$	: Espaciamiento entre placa de absorción-vidrio	[cm]
$\nu_f$	: Viscosidad cinemática del fluido	$\left[ \frac{m^2}{s} \right]$
$\rho_d$	: Reflectividad difusa de la cubierta del colector solar	[-]
$\tau$	: Transmisividad de la cubierta del colector solar	[-]

### Subíndices:

a	: ambiente
c	: colector
f	: fluido
p	: placa de absorción
v	: vidrio

### Para el Alambique Solar:

$A_s$	: Área inferior del alambique solar (Área efectiva)	[m <sup>2</sup> ]
$A_{ss}$	: Área lateral del alambique solar	[m <sup>2</sup> ]
$C_w$	: Calor específico del agua líquida	$\left[ \frac{J}{kg \cdot K} \right]$

$C, n$	: Constantes experimentales	$[-]$
$\frac{dT_w}{dt}$	: Razón de cambio de la temperatura del agua en relación al tiempo	$\left[\frac{K}{s}\right]$
$h_b$	: Coeficiente de transferencia de calor entre fuente-ambiente	$\left[\frac{W}{m^2 \cdot K}\right]$
$h_{c,b-a}$	: Coeficiente de transferencia de calor por convección entre lados y base - ambiente	$\left[\frac{W}{m^2 \cdot K}\right]$
$h_{c,g-a}$	: Coeficiente de transferencia de calor por convección entre vidrio- ambiente	$\left[\frac{W}{m^2 \cdot K}\right]$
$h_{c,w-g}$	: Coeficiente de transferencia de calor por convección entre agua-vidrio	$\left[\frac{W}{m^2 \cdot K}\right]$
$h_{e,w-g}$	: Coeficiente de transferencia de calor por evaporación entre agua-vidrio	$\left[\frac{W}{m^2 \cdot K}\right]$
$h_{r,b-a}$	: Coeficiente de transferencia de calor por radiación entre lados y base - ambiente	$\left[\frac{W}{m^2 \cdot K}\right]$
$h_{r,g-a}$	: Coeficiente de transferencia de calor por radiación entre vidrio-ambiente	$\left[\frac{W}{m^2 \cdot K}\right]$
$h_{r,w-g}$	: Coeficiente de transferencia de calor por radiación entre agua-vidrio	$\left[\frac{W}{m^2 \cdot K}\right]$
$h_{t,b-a}$	: Coeficiente de transferencia de calor combinado entre lados y base - ambiente	$\left[\frac{W}{m^2 \cdot K}\right]$
$h_{t,g-a}$	: Coeficiente de transferencia de calor externo total entre vidrio-ambiente	$\left[\frac{W}{m^2 \cdot K}\right]$
$h_{t,w-g}$	: Coeficiente de transferencia de calor interno total entre agua-vidrio	$\left[\frac{W}{m^2 \cdot K}\right]$
$h_w$	: Coeficiente de transferencia de calor por convección entre fuente-agua	$\left[\frac{W}{m^2 \cdot K}\right]$
$I_{eff}$	: Radiación solar efectiva	$\left[\frac{W}{m^2}\right]$
$I_{TS}$	: Radiación solar total sobre la superficie inclinada del alambique solar	$\left[\frac{W}{m^2}\right]$
$k_g$	: Conductividad térmica del vidrio	$\left[\frac{W}{m \cdot K}\right]$
$k_i$	: Conductividad térmica del aislamiento	$\left[\frac{W}{m \cdot K}\right]$
$k_w$	: Conductividad térmica del agua	$\left[\frac{W}{m \cdot K}\right]$
$L$	: Calor latente de vaporización del agua	$\left[\frac{J}{kg}\right]$
$L_i$	: Espesor del aislamiento térmico	$[m]$
$L_g$	: Espesor de la cubierta de vidrio	$[m]$
$\dot{m}_{ew}$	: Masa de agua destilada por hora	$\left[\frac{kg}{h}\right]$
$M_{ew,day}$	: Masa de agua destilada por día	$\left[\frac{kg}{día}\right]$
$M_w$	: Masa de agua en la fuente	$[kg]$
$N_c$	: Número de colectores solares	$[-]$
$N_h$	: Número de horas sol efectivas por día	$\left[\frac{h}{día}\right]$
$P_{gi}$	: Presión parcial del vapor a la temperatura “ $T_{gi}$ ”	$[Pa]$
$P_w$	: Presión parcial del vapor a la temperatura “ $T_w$ ”	$[Pa]$
$\dot{q}_b$	: Flujo de calor entre fuente-ambiente	$\left[\frac{W}{m^2}\right]$
$\dot{q}_{c,g-a}$	: Flujo de calor por convección entre vidrio-ambiente	$\left[\frac{W}{m^2}\right]$

$\dot{q}_{c,w-g}$	: Flujo de calor por convección entre agua-vidrio	$\left[\frac{W}{m^2}\right]$
$\dot{q}_{e,w-g}$	: Flujo de calor por evaporación entre agua-vidrio	$\left[\frac{W}{m^2}\right]$
$\dot{q}_g$	: Flujo de calor por conducción en la cubierta de vidrio	$\left[\frac{W}{m^2}\right]$
$\dot{q}_{r,g-a}$	: Flujo de calor por radiación entre vidrio-ambiente	$\left[\frac{W}{m^2}\right]$
$\dot{q}_{r,w-g}$	: Flujo de calor por radiación entre agua-vidrio	$\left[\frac{W}{m^2}\right]$
$\dot{q}_{t,g-a}$	: Flujo de calor total entre vidrio-ambiente	$\left[\frac{W}{m^2}\right]$
$\dot{q}_{t,w-g}$	: Flujo de calor total entre agua-vidrio	$\left[\frac{W}{m^2}\right]$
$\dot{q}_u$	: Flujo de calor útil ganado por el colector solar	$\left[\frac{W}{m^2}\right]$
$\dot{q}_w$	: Flujo de calor por convección entre fuente-agua	$\left[\frac{W}{m^2}\right]$
$t$	: Tiempo	[s]
$T_b$	: Temperatura de la fuente	[K]
$T_{gi}$	: Temperatura de la superficie interna de la cubierta de vidrio	[K]
$T_{go}$	: Temperatura de la superficie externa de la cubierta de vidrio	[K]
$T_{sky}$	: Temperatura del cielo	[K]
$T_w$	: Temperatura del agua en la fuente	[K]
$T_{w0}$	: Temperatura del agua en la fuente cuando $t = 0$ ,	[K]
$U_b$	: Coeficiente de transferencia de calor total por la parte inferior entre agua-ambiente	$\left[\frac{W}{m^2 \cdot K}\right]$
$U_{eff}$	: Coeficiente de transferencia de calor total efectivo	$\left[\frac{W}{m^2 \cdot K}\right]$
$U_{LS}$	: Coeficiente de transferencia de calor total para el alambique solar	$\left[\frac{W}{m^2 \cdot K}\right]$
$U_s$	: Coeficiente de transferencia de calor total por la parte lateral entre agua-ambiente	$\left[\frac{W}{m^2 \cdot K}\right]$
$U_t$	: Coeficiente de transferencia de calor total por la parte superior entre agua-ambiente	$\left[\frac{W}{m^2 \cdot K}\right]$
$U_{wo}$	: Coeficiente de transferencia de calor total entre agua-vidrio	$\left[\frac{W}{m^2 \cdot K}\right]$
$x_w$	: Profundidad del agua en la fuente	[m]

#### Letras griegas:

$\alpha_b$	: Absortividad de la fuente	[-]
$\alpha_g$	: Absortividad del vidrio	[-]
$\alpha_w$	: Absortividad del agua	[-]
$\beta$	: Coeficiente de expansión volumétrica del agua	$\left[\frac{1}{K}\right]$
$\Delta T$	: Diferencia de temperatura entre superficie de agua - superficie del vidrio	[K]
$\Delta T_w$	: Diferencia de temperatura entre fuente – agua	[K]
$\epsilon_{eff}$	: Emisividad efectiva entre el agua-vidrio	[-]
$\epsilon_g$	: Emisividad del vidrio	[-]
$\epsilon_w$	: Emisividad del agua	[-]

$\eta_{s,pas}$	: Eficiencia térmica instantánea del destilador solar pasivo	[%]
$\eta_{s,act}$	: Eficiencia térmica instantánea del destilador solar activo	[%]
$\mu_w$	: Viscosidad dinámica del agua líquida	[Pa * s]
$\nu_w$	: Viscosidad cinemática del agua líquida	$\left[\frac{m^2}{s}\right]$
$\rho_w$	: Densidad del agua líquida	$\left[\frac{kg}{m^3}\right]$

#### Subíndices:

b	: fuente o bandeja (basin)
c	: colector (collector)
eff	: efectivo (effective)
g	: vidrio (glass)
s	: alambique (still)
v	: vapor (vapour)
w	: agua (water)

#### Valores comunes y otros:

g	: Aceleración de la gravedad = 9.81	$\left[\frac{m}{s^2}\right]$
$T_a$	: Temperatura ambiente	[K]
v	: Velocidad del viento	$\left[\frac{m}{s}\right]$
$\sigma$	: Constante de Boltzmann = $5.67 * 10^{-8}$	$\left[\frac{W}{m^2 * K^4}\right]$
Gr	: Número de Grashof	[-]
Nu	: Número de Nusselt	[-]
Pr	: Número de Prandtl	[-]
Ra	: Número de Rayleigh	[-]

## **SIGLAS Y ACRÓNIMOS**

AUTODEMA	: Autoridad Autónoma de Majes
DIGESA	: Dirección General de Salud Ambiental
INEI	: Instituto Nacional de Estadística e Informática
JUMP	: Junta de Usuarios Pampa de Majes
OMS	: Organización Mundial de la Salud
SEDAPAR	: Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Arequipa
SENAMHI	: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú
SUNASS	: Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento

## INTRODUCCIÓN

La llegada de nuevos pobladores provenientes de las provincias de Puno, Cuzco, y Arequipa por motivos laborales y comerciales viene incrementando la población del Distrito de Majes. Esta tendencia del aumento de la población se pronostica que continuará por los siguientes años.

Al aumentar el número de pobladores va aumentando también la demanda de los servicios básicos como el agua potable, el desagüe y la energía eléctrica. Estas necesidades son más notorias conforme uno se va alejando del centro urbano del Distrito de Majes, por lo que la población rural de este distrito es la menos favorecida con estos servicios.

La falta de capacidad de abastecimiento y distribución de agua potable para la población rural en este distrito se visualiza a futuro como un problema común. Y actualmente la escasez de este recurso es un problema aún leve pero real. Por lo que hoy en día no es ajeno mencionar que los pobladores en especial de los sectores rurales que no cuentan con agua potable consuman aguas no aptas para el consumo humano, poniendo en riesgo su salud por la posibilidad de sufrir enfermedades digestivas.

Ahora bien, mi propósito de realizar este trabajo de tesis es resaltar este problema que es la falta de agua potable hacia los pobladores de los sectores rurales del Distrito de Majes y proponer una solución alternativa mediante el uso del destilador solar. Para ser más específico haciendo uso del destilador de doble vertiente y el colector solar de placa plana, este último elemento como una forma de aumentar la productividad de litros por día de agua que nos brinda un destilador solar común.

# **CAPÍTULO I**

## **1. ASPECTOS GENERALES**

### **1.1. ANTECEDENTES**

La destilación solar es un método usado desde 1872 en la actualidad se siguen de realizando investigaciones sobre este tema en diferentes partes del mundo. En todo este periodo se lograron diseñar y construir diversos modelos de destiladores solares, desde los destiladores muy básicos que nos brindan agua pura de 1 a 2 L/m<sup>2</sup> por día hasta los destiladores más complejos que llegan a los 7 y 9 L/m<sup>2</sup> por día, dependiendo principalmente del diseño del sistema de destilación y de los niveles de radiación solar que reciben.

En este proyecto tomaremos como referencia trabajos de investigación (papers) enfocados en el estudio que se ha desarrollado sobre este tema, además de tesis de algunas universidades y los datos necesarios de la red de información concerniente a la destilación solar.

Resaltamos el análisis experimental de los investigadores y científicos, la construcción física y la obtención de resultados (litros de agua por día) de acuerdo al tipo de destilador que se desarrolló para cada caso. Los resultados de las investigaciones desarrolladas serán de mucha utilidad para tomarlos como referencia y compararlos con los resultados que logremos alcanzar.

### **1.2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA**

La población humana va creciendo y demanda mayores cantidades de agua para satisfacer sus necesidades, la disponibilidad del recurso hídrico en la actualidad se torna cada vez más escasa para todos los sectores, debido a diversas causas como el Calentamiento Global producto de la Contaminación Atmosférica está los problemas de falta de capacidad de abastecimiento y distribución del agua potable por parte de las entidades responsables. Esto

ocasiona que sectores de la población humana consuman aguas no tratadas, y al no ser estas aptas se pone en riesgo la salud, ocasionando que el poblador común adquiriera enfermedades tales como el cólera, fiebre tifoidea, hepatitis, diarrea, malestar estomacal, entre otras.

### **1.3. HIPÓTESIS**

Cuando se piensa en grandes obras de ingeniería para el suministro de agua potable, el meollo del problema no es tecnológico sino financiero en recursos para el desarrollo de la infraestructura y el suministro de la energía que se consume. La energía solar es la única energía que se recibe gratuita en la tierra, en forma continua y en cantidad muy superior a toda la energía disponible en nuestro planeta.

Se requiere desarrollar tecnologías para la solución del suministro de agua potable hacia los sectores reducidos de la población, es decir los sectores rurales, que presentan dificultades técnicas para ser abastecidas por la red de agua potable de su ciudad. Una de las posibles soluciones es hacer uso de los destiladores solares, estos han sido estudiados y aplicados en otros países logrando obtener resultados satisfactorios.

La destilación solar como se le conoce en el campo de la energía solar, se nos presenta como una alternativa desde los puntos de vista de tecnología sanitaria y de tecnología energética. Ambos puntos de vista son interesantes e importantes en la situación actual en nuestro país. (Hermosillo, 1989)

### **1.4. VARIABLES RELACIONADAS**

#### **1.4.1. Variables Independientes**

- Irradiación solar promedio
- Temperatura ambiente
- Velocidad del viento

- Humedad relativa
- Presión atmosférica

#### **1.4.2. Variables Dependientes**

- Temperatura del agua
- Temperatura de vapor
- Temperatura de condensado
- Volumen de agua destilada.
- Eficiencia de destilación

### **1.5. OBJETIVOS**

#### **1.5.1. Objetivo General**

Diseñar y construir un prototipo de destilador solar de doble vertiente acoplado a uno o dos colectores solares de placa plana, para ser aplicado hacia la población rural del Distrito de Majes con el objetivo de obtener agua pura (destilada) a partir del agua de regadío (agua cruda), aprovechando los niveles de radiación solar y considerando las condiciones y características ambientales sobre este distrito. Resaltando que esta es una forma simple, económica y versátil de purificar el agua a través de energías renovables.

#### **1.5.2. Objetivos Específicos**

- Presentar a la destilación solar; principio, características, clasificación y avances principales como una alternativa de obtención de agua pura a pequeña escala.
- Diseñar y construir un destilador solar de doble vertiente acoplado al colector solar de placa plana sustentándonos en los cálculos solares (radiación solar recibida), y en los principios termodinámicos y de transferencia de calor.

- Usar el programa EES (Engineering Equation Solver) para dar solución a las ecuaciones involucradas en comportamiento del sistema propuesto y para realizar un análisis teórico detallado (tablas y gráficas).
- Analizar los resultados experimentales obtenidos en términos de producción de agua pura (L/día) y temperaturas alcanzadas (°C) para el sistema de destilación propuesto y sus diversas configuraciones.
- Realizar un breve análisis técnico y económico que describa el estado o situación actual de la población rural del Distrito de Majes, así como también describir el costo de fabricación del sistema propuesto, el costo del agua potable, agua de riego y agua destilada.
- Presentar los planos, indicaciones y sugerencias para la construcción de un destilador solar de doble vertiente.

## **1.6. ALCANCES**

La presente tesis comprende el estudio teórico de un destilador solar, basado en cálculos solares, principios termodinámicos y de transferencia de calor, apoyado con el uso del programa EES (Engineering Equation Solver).

En este proyecto de tesis no realizaremos un estudio experimental muy detallado sobre el comportamiento del destilador solar propuesto como los que se realizan en los artículos científicos (papers) por ejemplo. Siendo más la intención de esta tesis la búsqueda de la aplicación de la destilación solar.

## **1.7. JUSTIFICACIÓN**

### **1.7.1. Justificación Social**

El agua tratada obtenida de las plantas potabilizadoras está dirigida hacia la población relativamente grande como la población urbana, además en esta es común que los volúmenes de agua distribuidos sean insuficientes y no abastezcan a un porcentaje de la población. Típicamente los sectores rurales en crecimiento son los afectados, como es el caso del Distrito de Majes.

En nuestro país “El estado reconoce el derecho de toda persona a acceder de forma progresiva y universal al agua potable, y garantiza este derecho priorizando el consumo humano sobre otros usos” (Congreso de la República, 2017). Todos tenemos derecho de una calidad de vida digna, esto significa a contar con salud y bienestar para nuestras familias; y derecho de oportunidades, refiriéndonos a tener los recursos necesarios para el progreso, uno de estos recursos como es el caso, es contar con un suministro de agua potable.

### **1.7.2. Justificación Ambiental**

Es tiempo de que como sociedad y como individuos estemos dispuestos a hacer un cambio en nuestro estilo de vida, para lograr un ambiente más saludable para el hombre y para el planeta. Esto conlleva a dejar de usar los tipos de energía que contaminan y priorizar las fuentes de energías limpias. Una de estas energías limpias que a la vez es fuente de otras energías como la eólica y la hidráulica es pues la energía solar.

El sol es la fuente de energía que hace posible los procesos naturales, por lo que deberíamos mimetizar estos procesos y aprovechar más esta energía ya sea a gran o pequeña escala a fin de evitar utilizar otros recursos contaminantes y costosos, de esta manera encaminarnos hacia un mejor futuro.

La destilación solar es una manera simple y eficaz de obtener agua pura, usando la energía del sol. El principio de operación para la destilación mediante energía solar es el mismo que el que utiliza la propia naturaleza en el ciclo hidrológico que conocemos todos. (Hermosillo, 1989)

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO TEÓRICO

#### 2.1. EL AGUA

El agua es una sustancia cuya molécula está compuesta por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno (H<sub>2</sub>O). El término agua generalmente se refiere a la sustancia en su estado líquido, aunque la misma puede hallarse en su forma sólida, llamada hielo, y en su forma gaseosa, denominada vapor. Es una sustancia bastante común en la tierra y el sistema solar, donde se encuentra principalmente en forma de vapor o de hielo. Es esencial e imprescindible para el origen y la supervivencia de la gran mayoría de todas las formas conocidas de vida.

#### **Figura 1**

*Agua Elemento Esencial para mantener la Vida*



*Fuente: Wikipedia (2022)*

El agua recubre el 71% de la superficie de la corteza terrestre. Se localiza principalmente en los océanos, donde se concentra el 96,5% del agua total. A los glaciares y casquetes polares les corresponde el 1,74%, mientras que los depósitos subterráneos (acuíferos), los permafrost y los glaciares continentales concentran el 1,72%. El restante 0,04% se reparte en orden decreciente entre lagos, humedad del suelo, atmósfera, embalses, ríos y seres vivos. (Wikipedia, 2022) En total, la Tierra contiene unos 1 386 000 000 km<sup>3</sup> de agua que se distribuyen de la siguiente forma:

**Tabla 1***Distribución del Agua en la Hidrosfera*

Distribución del agua en la hidrosfera				
Situación del agua	Volumen en km <sup>3</sup>		Porcentaje	
	Agua dulce	Agua salada	de agua dulce	de agua total
Océanos y mares	-	1 338 000 000	-	96,5
Casquetes y glaciares polares	24 064 000	-	68,7	1,74
Agua subterránea salada	-	12 870 000	-	0,94
Agua subterránea dulce	10 530 000	-	30,1	0,76
Glaciares continentales y permafrost	300 000	-	0,86	0,022
Lagos de agua dulce	91 000	-	0,26	0,007
Lagos de agua salada	-	85 400	-	0,006
Humedad del suelo	16 500	-	0,05	0,001
Atmósfera	12 900	-	0,04	0,001
Embalses	11 470	-	0,03	0,0008
Ríos	2120	-	0,006	0,0002
Agua biológica	1120	-	0,003	0,0001
Total agua dulce	35 029 110		100	-
Total agua en la tierra	1 386 000 000		-	100

*Fuente: Wikipedia (2022)*

**2.1.1. AGUA POTABLE**

El agua potable, también llamada agua para consumo humano, es el agua que por su calidad química, física, bacteriológica y organoléptica es apta para el consumo humano (SUNASS, 2004).

En cuanto a los parámetros bacteriológicos, físicos y químicos, estos están basados en el reglamento de requisitos oficiales físicos, químicos y bacteriológicos que deben reunir las aguas de bebida para ser consideradas potables y en las guías de la Organización Mundial de la Salud. (SUNASS, 2004)

**Tabla 2***Límites Máximos Permisibles para la Calidad del Agua Potable en el Perú*

Parámetro	Límite máximo permisible	Referencia
Coliformes totales, UFC/100mL	0	(1)
Coliformes termotolerantes, UFC/100mL	0	(1)
Bacterias heterotróficas, UFC/mL	500	(1)
pH	6.5 - 8.5	(1)
Turbiedad, UNT	5	(1)
Conductividad, 25°C uS/cm	1500	(3)
Color, UCV-Pt-Co	20	(2)
Cloruros, mg/L	250	(2)
Sulfatos, mg/L	250	(2)
Dureza, mg/L	500	(3)
Nitratos, mg NO <sub>3</sub> /L (*)	50	(1)
Hierro, mg/L	0.3	(2)
Manganeso, mg/L	0.2	(2)
Aluminio, mg/L	0.2	(1)
Cobre, mg/L	3	(2)
Plomo, mg/L (*)	0.1	(2)
Cadmio, mg/L (*)	0.003	(1)
Arsénico, mg/L (*)	0.1	(2)
Mercurio, mg/L (*)	0.001	(1)
Cromo, mg/L (*)	0.05	(1)
Flúor, mg/L	2	(2)
Selenio, mg/L	0.05	(2)

**Nota:**

(1) Valores tomados provisionalmente de los valores guía de la OMS.

(2) Valores establecidos por "Reglamento de requisitos oficiales físicos, químicos y bacteriológicos que deben reunir las aguas de bebida para ser considerados

(3) En el caso de los parámetros de conductividad y dureza, considerando que son parámetros que solo afecta la calidad estética del agua.

(\*) Compuestos tóxicos.

*Fuente: SUNASS (2004)*

Los parámetros físicos y químicos que determinan la calidad del agua se dividen en dos grupos: uno conformado por los compuestos que afectan la aceptabilidad del agua por parte de la población y generan quejas, pero que no afectan directamente la salud: turbiedad, pH, conductividad, cloruros, sulfatos, dureza, hierro, manganeso, aluminio y otro conformado por aquellos compuestos que sí afectan la salud: nitratos, plomo, arsénico, cadmio, mercurio, cromo, etc. (SUNASS, 2004).

**2.1.2. AGUA DESTILADA**

“El agua destilada es aquella sustancia cuya composición se basa en la unidad de moléculas de H<sub>2</sub>O y ha sido purificada o limpiada mediante destilación” (Wikipedia, 2022).

Cuando el agua ha sido destilada se ha perdido iones presentes (magnesio, calcio, etc.), además de otros elementos de diferentes puntos de ebullición (metales, amonio, dióxido de carbono, etc.). El agua destilada, al estar libre de estos compuestos, no requiere de potabilización.

El agua destilada y el agua con bajo contenido en minerales pueden tener características negativas en cuanto al gusto y a la menor capacidad de saciar la sed, pero son perfectamente bebibles, y no causan ningún daño al organismo. (OMS, 2006).

### **2.1.3. IMPORTANCIA DEL AGUA Y SU ESCASEZ EN EL MUNDO**

El agua salubre y fácilmente accesible es importante para la salud pública, ya sea que se utilice para beber, para uso doméstico, para producir alimentos o para fines recreativos. La mejora del abastecimiento de agua, del saneamiento y de la gestión de los recursos hídricos puede impulsar el crecimiento económico de los países y contribuir en gran medida a la reducción de la pobreza.

En 2010, la Asamblea General de las Naciones Unidas reconoció explícitamente el derecho humano al abastecimiento de agua y al saneamiento. Todas las personas tienen derecho a disponer de forma continuada de agua suficiente, salubre, físicamente accesible, asequible y de una calidad aceptable, para uso personal y doméstico. (OMS, 2019).

## **Figura 2**

### *Importancia del Agua para la Salud*



*Fuente: Tomada de <https://rpp.pe/lima/actualidad/importancia-del-agua-para-la-salud-noticia-758801>*

#### **2.1.3.1. Estadísticas sobre el Agua**

A continuación, veremos algunos datos interesantes que nos proporciona la Organización Mundial de la Salud, referente al tema del agua.

En 2015, el 71% de la población mundial (5200 millones de personas) utilizaba un servicio de suministro de agua potable gestionado de forma segura, es decir, ubicado en el lugar de uso, disponible cuando se necesita y no contaminado. El 89% de la población mundial (6500 millones de personas) utilizaba al menos un servicio básico, es decir, una fuente mejorada de suministro de agua potable para acceder a la cual no es necesario un trayecto de ida y vuelta superior a 30 minutos. 844 millones de personas carecen incluso de un servicio básico de suministro de agua potable, cifra que incluye a 159 millones de personas que dependen de aguas superficiales. En todo el mundo, al menos 2000 millones de personas se abastecen de una fuente de agua potable que está contaminada por heces. Se calcula que la contaminación del agua potable provoca más de 502 000 muertes por diarrea al año. De aquí a 2025, la mitad de la población mundial vivirá en zonas con escasez de agua. (OMS, 2019).

### **2.1.3.2. Agua y Salud**

Los servicios de agua y saneamiento inexistentes, insuficientes o gestionados de forma inapropiada exponen a la población a riesgos prevenibles para su salud. Esto es especialmente cierto en el caso de los centros sanitarios en los que tanto los pacientes como los profesionales quedan expuestos a mayores riesgos de infección y enfermedad cuando no existen servicios de suministro de agua, saneamiento e higiene. A nivel mundial, el 15% de los pacientes contraen infecciones durante la hospitalización por escasez de servicios de agua, proporción que es mucho mayor en los países de bajos ingresos. (OMS, 2019).

### **2.1.3.3. Enfermedades por consumo de Aguas Contaminadas**

La escasez de agua y la falta de sistemas de potabilización adecuados obligan a recurrir a fuentes de agua contaminadas que pueden provocar enfermedades. En base a los datos de la Organización Mundial de la Salud, se puede afirmar que el agua contaminada puede transmitir enfermedades como la diarrea, el cólera o la poliomielitis. La contaminación del agua produce más de 502.000 muertes por diarrea al año. Además, la falta de agua, puede producir deshidratación y generar ulteriores complicaciones. (ACNUR Comité Español, 2019).

### **Figura 3**

*Consecuencias de la Escasez de Agua en el Mundo*



*Fuente: ACNUR Comité Español (2019)*

La gestión inadecuada de las aguas residuales urbanas, industriales y agrícolas conlleva que el agua que beben cientos de millones de personas se vea peligrosamente contaminada o polucionada químicamente. Se calcula que unas 842 000 personas mueren cada año de diarrea como consecuencia de la insalubridad del agua, de un saneamiento insuficiente o de una mala higiene de las manos.

En muchas partes del mundo, los insectos que viven o se crían en el agua son portadores y transmisores de enfermedades como el dengue. Algunos de estos insectos, denominados vectores, crecen en el agua limpia, y los contenedores domésticos de agua de bebida pueden servir como lugares de cría. Tan solo con cubrir los contenedores de agua es posible reducir la cría de vectores, y reducir también la contaminación fecal del agua en el ámbito doméstico. (OMS, 2019).

#### **2.1.3.4. Acceso al Agua**

En los objetivos de desarrollo del milenio, la meta de reducir la proporción de población mundial sin acceso sostenible a agua potable se midió mediante el indicador de la población que utilizaba fuentes mejoradas de suministro de agua potable, pero sin tener en cuenta la ubicación, disponibilidad o calidad del agua.

#### **Figura 4**

##### *Abastecimiento de Agua Potable por Camión Cisterna en Arequipa*



*Fuente: Tomada de <https://rpp.pe/peru/arequipa/el-80-de-la-poblacion-de-la-provincia-de-arequipa-no-tendra-agua-potable-noticia-1052538>*

En 2015, 5200 millones de personas utilizaban servicios de suministro de agua potable gestionados de forma segura, es decir, utilizaban fuentes mejoradas de suministro de agua situada en el lugar de uso, disponible cuando se necesitaban y no contaminadas. Entre los restantes 2100 millones de personas sin servicios gestionados de forma segura se contaban en 2015:

- 1300 millones de personas con servicios básicos, es decir, con acceso a una fuente mejorada de suministro de agua a menos de 30 minutos en un trayecto de ida y vuelta.
- 263 millones de personas con servicios limitados, o sea una fuente mejorada de suministro de agua para acceder a la cual se precisan más de 30 minutos.
- 423 millones de personas que se abastecen de agua procedente de pozos y manantiales no protegidos.
- 159 millones de personas que recogen agua superficial no tratada en lagos, estanques, ríos o arroyos.

Persisten acusadas desigualdades geográficas, socioculturales y económicas, no solo entre las zonas rurales y urbanas, sino también en el seno de las ciudades, donde las personas

que viven en asentamientos informales, ilegales o de bajos ingresos tienen por lo general un menor acceso a fuentes mejoradas de abastecimiento de agua potable que otros residentes. (OMS, 2019).

### **2.1.3.5. Desafíos que Afrontar**

El cambio climático, el aumento de la escasez de agua, el crecimiento de la población, los cambios demográficos y la urbanización ya suponen desafíos para los sistemas de abastecimiento de agua. De aquí a 2025, la mitad de la población mundial vivirá en zonas con escasez de agua. La reutilización de las aguas residuales para recuperar agua, nutrientes o energía se está convirtiendo en una estrategia importante. Los países están utilizando cada vez más las aguas residuales para regar: en los países en desarrollo, esto representa el 7% de las tierras de regadío. Si bien esta práctica plantea riesgos para la salud, la gestión segura de las aguas residuales puede aportar múltiples, como el aumento de la producción de alimentos. (OMS, 2019)

#### **Figura 5**

*Crecimiento Poblacional y Cambio Climático aumentan la Escasez de Agua*



*Fuente: Tomada de <https://definicionyque.es/crecimiento-poblacional/>*

Las fuentes de abastecimiento de agua potable y de riego seguirán evolucionando, con una presencia cada vez mayor de las aguas subterráneas y de fuentes alternativas, como las

aguas residuales. El cambio climático conllevará mayores fluctuaciones en la cantidad de agua de lluvia recogida. La gestión de todos los recursos hídricos tendrá que mejorarse para garantizar el abastecimiento y la calidad. (OMS, 2019).

#### 2.1.4. CONSUMO MÍNIMO DE AGUA POTABLE POR HABITANTE

El agua se pierde a través de la orina y las heces; por la respiración y a través de la piel (pérdidas insensibles); y mediante sudor, especialmente a temperaturas ambiente más altas y niveles más altos de actividad. La ingesta de agua suficiente es necesaria para reponer las pérdidas y atener el equilibrio hídrico normal del organismo. La deshidratación ocurre cuando el cuerpo recibe agua insuficiente. (OMS, 2020)

El Instituto de Medicina de la Academia de Ciencias de los Estados Unidos (IOM) publicó los niveles de ingesta de agua adecuados, basados en estimaciones de observaciones y evidencia experimental, que refleja la ingesta media de agua en individuos sanos de EE. UU. y Canadá que viven en climas templados, esto representa la ingesta total de agua (agua, bebidas y alimentos). Para varones y mujeres adultos, la ingesta de agua recomendada es 3.7 y 2,7 L/día, respectivamente. Por otra parte se recomienda 0,3 L/día y 1,1 L/día adicionales para mujeres embarazadas y lactantes, respectivamente.

**Tabla 3**

*Ingesta adecuada de Agua y Bebida total para Climas Templados*

Etapa de vida	Varón		Mujer	
	Bebidas (L/día)	Agua total (L/día)	Bebidas (L/día)	Agua total (L/día)
0 a 6 meses	0.7	0.7	0.7	0.7
7 a 12 meses	0.6	0.8	0.6	0.8
1 a 3 años	0.9	1.3	0.9	1.3
4 a 8 años	1.2	1.7	1.2	1.7
9 a 13 años	1.8	2.4	1.6	2.1
14 a 18 años	2.6	3.3	1.8	2.3
Más de 19 años	3.0	3.7	2.2	2.7
En embarazo	-	-	2.3	3.0
En lactación	-	-	3.1	3.8

*Fuente: OMS (2020)*

La definición de la cantidad de agua “mínima absoluta” para sostener la hidratación sigue siendo esquiva, ya que depende de factores fisiológicos individuales, clima, actividad y dieta. Aun así, la cantidad de agua requerida para la hidratación (ingesta total directa, incluyendo alimentos) debe ser como mínimo de 3,2 L/día para adultos en climas templados. Para tiempos de trabajo moderados a temperaturas moderadamente altas esto podría aumentar a 4.6 L/día.

**Tabla 4**

*Ingesta de Agua Recomendada para Mantenerse Hidratado*

CATEGORÍA	INGESTA DE AGUA (L/persona/día)		
	Sedentaria/Moderada	Actividad física moderada a temperatura cálida (6.5 horas entre 28 a 32°C)	Lactación, actividad física moderada a temperatura cálida
Mujer adulta	2.7	4.6	5.3
Varón adulto	3.2	4.6	-
Volumen mínimo recomend	3.2	4.6	5.3

*Fuente: OMS (2020)*

Para períodos más largos de tiempo, con actividad física moderada a temperaturas más altas y trabajo mucho más extenuante o el calor más extremo esta ingesta de agua puede aumentar sustancialmente. Estas cifras se aplican a todo individuo y abarcan rangos sobre impactos beneficiosos para la prevención de las enfermedades coronarias y la aparición de cálculos renales. (OMS, 2020)

## 2.2. ENERGÍA SOLAR

### 2.2.1. DEFINICIONES

#### 2.2.1.1. EL SOL

El Sol es la estrella cercana a la tierra catalogada como una estrella enana amarilla, tiene un diámetro aproximado de  $1.39 \times 10^9$  m y una masa de  $2.0 \times 10^{30}$ , emite radiación en forma

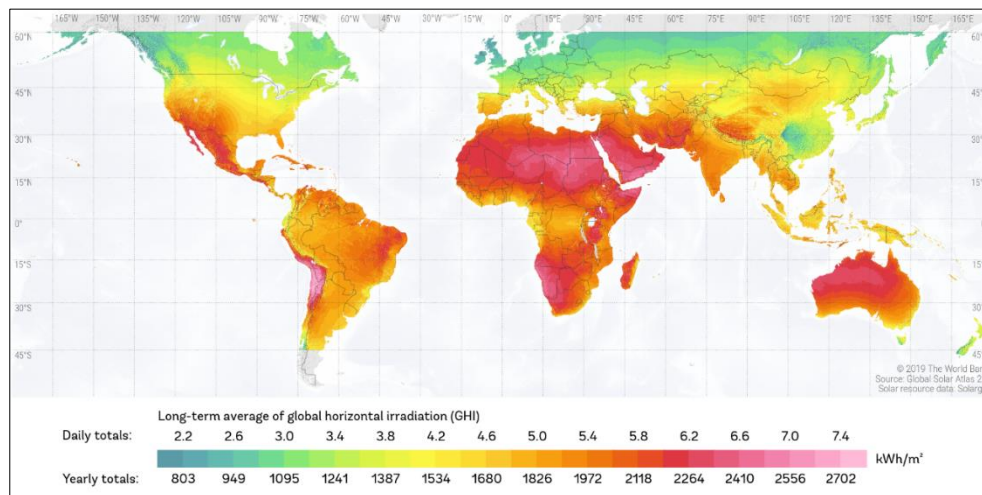
continúa a razón de  $3.8 \times 10^{26}$  W, y aproximadamente  $1.7 \times 10^{17}$  W choca contra la tierra, lo cual es suficiente para mantenerla caliente y poder sostener la vida. Debido a la reacción continúa llamada fusión en la cual dos átomos de hidrogeno se funden para formar uno de helio se producen temperaturas tan elevadas como 40 000 000 K en su núcleo y 5 800 K en la región exterior. El Sol se comporta prácticamente como un cuerpo negro, el cual emite energía siguiendo la ley de Planck (Cengel & Ghajar, 2011).

### 2.2.1.2. ENERGÍA SOLAR

Es la obtenida del aprovechamiento de la radiación electromagnética proveniente del Sol (luz, calor y rayos ultravioleta), que recorre una distancia aproximada de 150 millones de kilómetros en 8 minutos y 20 segundos hasta nuestro planeta. La energía solar es una forma de energía renovable fuente de otras formas de energía conocidas como la eólica e hidráulica.

**Figura 6**

*Mapa Mundial de Irradiación Solar Global Horizontal*



*Fuente: Tomado de <https://globalsolaratlas.info/download?c=-9.449062,-10.546875,2>*

Existen diversas formas para el aprovechamiento de la energía solar, siendo las más utilizadas por conversión térmica y por conversión fotovoltaica. Las diferentes tecnologías solares se pueden clasificar en pasivas o activas según como capturan, convierten y distribuyen

la energía solar. Las tecnologías activas incluyen el uso de paneles fotovoltaicos y colectores solares térmicos para recolectar la energía. Entre las técnicas pasivas, se encuentran diferentes técnicas enmarcadas en la arquitectura bioclimática: la orientación de los edificios al Sol, la selección de materiales con una masa térmica favorable o que tengan propiedades para la dispersión de luz, así como el diseño de espacios mediante ventilación natural. (Wikipedia, 2022).

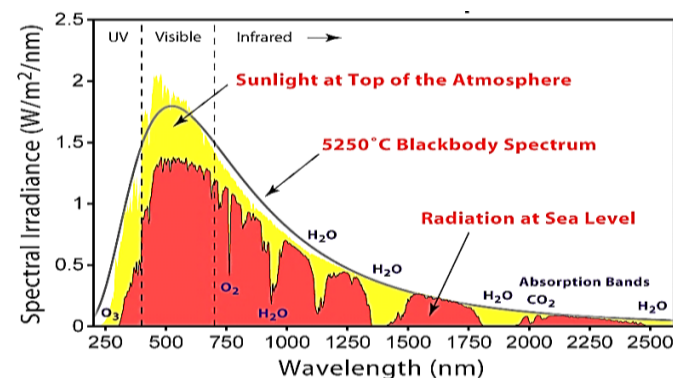
### 2.2.1.3. RADIACIÓN SOLAR

Es el conjunto de radiaciones electromagnéticas emitidas por el Sol, La radiación solar se distribuye desde el infrarrojo hasta el ultravioleta. No toda la radiación alcanza la superficie de la Tierra, porque las ondas ultravioletas más cortas son absorbidas por los gases de la atmósfera. (Wikipedia, 2022)

El espectro de radiación solar es una representación gráfica de la variación de la energía de radiación en función de la longitud de onda.

**Figura 7**

*Espectro de la Radiación Solar*



*Fuente: Wikipedia (2022)*

La palabra radiación se aplica al cuerpo que emite, mientras que irradiación se aplica al cuerpo expuesto. La superficie terrestre es irradiada por lo que los mapas solares son de

irradiación solar, sin embargo, es común usar el término radiación para referirse a la irradiación.

En cuanto a la medición de irradiación solar es común utilizar los siguientes términos:

*Irradiancia Solar:* Es la potencia incidente por unidad de superficie de todo tipo de radiación solar, su unidad es el  $W/m^2$ .

*Irradiación Solar:* Es la energía solar obtenida por unidad de área, expresando la energía en función de la potencia y el tiempo, su unidad es el  $Wh/m^2$ .

### **2.2.1.3.1. TIPOS DE RADIACIÓN SOLAR**

En relación a como se recibe la radiación respecto a la superficie terrestre tenemos:

**Radiación Solar Directa:** Es la que se recibe directamente, se distingue por proyectar una sombra definida en los cuerpos que la interceptan.

**Radiación Solar Difusa:** Es la que va en todas las direcciones, como resultado de las reflexiones y absorciones de todos aquellos cuerpos que fueron interceptados por la radiación directa. Se caracteriza por no producir sombra alguna respecto a los objetos interpuestos, las superficies horizontales reciben más radiación difusa.

**Radiación Solar Reflejada:** Es la reflejada por la superficie terrestre, la cantidad depende del coeficiente de reflexión de la superficie también llamado albedo, las superficies horizontales no reciben nada de radiación reflejada.

**Radiación Solar Global:** Es el resultado de la radiación directa y difusa, y que normalmente se mide en una superficie horizontal.

**Radiación Solar Extraterrestre:** Es la radiación solar incidente en el tope de la atmósfera terrestre.

**Figura 8**

*Tipos de Radiación Solar*



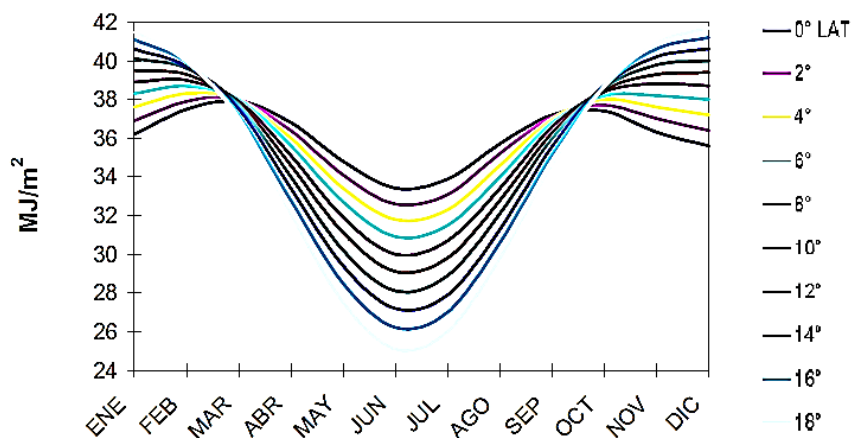
*Fuente: Tomado de <http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/la-radiacion-solar-y-su-paso-por-la-atmosfera>*

### 2.2.1.3.2. VARIACIÓN DE LA RADIACIÓN SOLAR

La energía solar varía inversamente proporcional al cuadrado de la distancia entre la tierra y el sol, tomando en cuenta que esta distancia varia a lo largo del año y en base a diferentes latitudes tenemos el siguiente gráfico:

**Figura 9**

*Variación de la Radiación Solar Extraterrestre - Hemisferio Sur*



*Fuente: SENAMHI (2003)*

## **2.2.2. ENERGÍA SOLAR TÉRMICA**

De acuerdo al nivel de temperatura de funcionamiento podemos clasificarlas como:

### **2.2.2.1. SISTEMAS DE ALTA TEMPERATURA**

Temperaturas mayores a los 800 °C son alcanzadas, a través de receptores como en las centrales de torre y a través de discos parabólicos. Mediante estos se consigue que la radiación solar caliente a alta temperatura un fluido primario llamado fluido caloportador, luego este transmite el calor a un circuito secundario el cual trabaja con un segundo fluido normalmente agua que por la acción de ganancia de calor se convierte en vapor y este pone en marcha a una turbina acoplada a un generador eléctrico.

#### **2.2.2.1.1. Centrales Tipo Torre**

Se distingue porque está constituida de un grupo de concentradores individuales llamados helióstatos que guían la radiación solar concentrada hacia un receptor central situado en la torre. Este conjunto de espejos o helióstatos pueden moverse mediante servomotores.

#### **Figura 10**

*Central Termosolar Tipo Torre*



*Fuente: Tomado de <https://www.revistaenergia.com/?p=13212>*

### **2.2.2.1.2. Discos Parabólicos**

Están compuestos por un reflector con forma paraboloide, además de receptor situado en el foco de dicho paraboloide y un equipo de generación eléctrica compacto normalmente turbina más generador o por motor Stirling. El principio de funcionamiento se basa en concentrar la radiación solar en el paraboloide, y reflejar esta energía sobre el receptor, donde se convierte energía térmica y esta es utilizada para generar electricidad a través del equipo generador turbina. (De la Cuesta Corado, s.f.)

#### **Figura 11**

*Disco Parabólico de Stirling*



*Fuente: Tomado de <https://revistadigital.inesem.es/gestion-integrada/centrales-termsolares-en-espana/>*

### **2.2.2.2. SISTEMAS DE MEDIA TEMPERATURA**

Para estos sistemas el rango máximo de temperatura está cercano a los 300 °C. Las aplicaciones están asociados a procesos industriales y pequeñas centrales termosolares.

#### **2.2.2.2.1. Concentradores Cilindro Parabólicos**

Está compuesto de espejos cilindros parabólicos los cuales reflejan la radiación solar directa concentrándola sobre un tubo receptor ubicado en una línea focal. Este concentrador

produce el calentamiento del fluido que circula por un tubo receptor. Por otro lado, estos dispositivos no captan la radiación solar difusa debido a su geometría de diseño, son realmente eficaces sobre todo cuando cuentan con sistemas de rastreo solar y alcanzan temperatura alrededor de los 400 °C.

### **Figura 12**

*Concentrador Solar Tipo Cilindro Parabólico*



*Fuente: Tomado de <http://www.agrificiente.cl/instalacion-captadores-cilindro-parabolicos-seguimiento-solar/>*

#### **2.2.2.2.2. Concentradores Fresnel**

Se reemplaza los espejos cilindros parabólicos por espejos planos que operan en conjunto y los cuales tienen diversas inclinaciones a fin de focalizar mejor la radiación solar reflejada. La ventaja de usar los espejos planos en vez de los cilindros parabólicos es la reducción del costo de fabricación de estos. Este tipo de concentradores permiten llegar a temperaturas medias alrededor de los 400°C para Fresnel lineales de grandes dimensiones.

## Figura 13

### Concentrador Tipo Fresnel



Fuente: Tomado de <https://revistadigital.inesem.es/gestion-integrada/centrales-termosolares-en-espana/>

### 2.2.2.3. SISTEMAS DE BAJA TEMPERATURA

El rango de temperatura para estos sistemas se encuentra por debajo de los 90 °C. Una característica de estos sistemas es la utilización de colectores solares planos e intercambiadores de calor. Su sector de aplicación común es en edificios, viviendas, hoteles, oficinas, etc.

#### 2.2.2.3.1. Agua Caliente Sanitaria (ACS)

Aplicado al sector doméstico y de servicios. El ACS se usa normalmente a una temperatura menor a los 45 °C. Esta temperatura puede ser alcanzada sin mayores problemas mediante captadores o también llamados colectores solares planos que llegan alcanzar temperaturas alrededor de los 80 °C. Cuando la radiación solar es muy escasa debido entre otras causas a las variaciones a lo largo del año se utiliza sistemas auxiliares para ayudar al calentamiento que habitualmente suele ser gas o energía eléctrica.

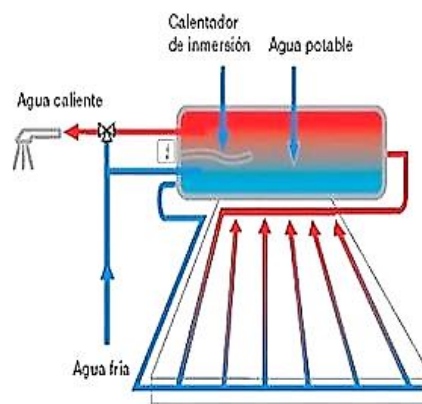
Según el sistema de circulación las instalaciones pueden ser:

**Sistemas Naturales o de Termosifón:** Ocurre por convección natural, esto es de la siguiente manera, el fluido caloportador asciende a medida que aumenta su temperatura como

consecuencia de la radiación solar, hasta alcanzar el acumulador que se encuentra encima de captador a este transfiere su calor para luego volver al captador a baja temperatura, de ahí se repite este ciclo. Aquí no existe el funcionamiento de otros mecanismos auxiliares como bombas ni controles, por lo que se requiere de un diseño y montaje muy detallado para logran un aprovechamiento eficiente.

### Figura 14

#### *Sistema Natural o Termosifón para Obtención de ACS*

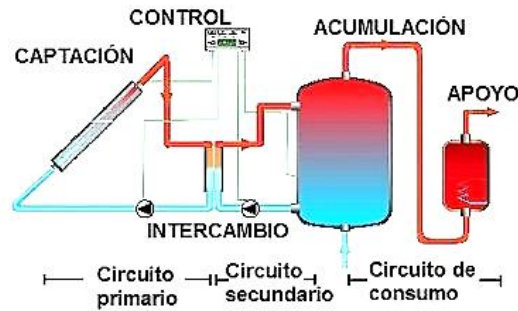


*Fuente: Tomado de <http://www.actiweb.es/solarenovable/pagina2.html>*

**Sistemas Forzados:** Se destaca por la utilización de una o más bombas, esta impulsa el agua a través de los captadores. Las bombas son activadas en función de las temperaturas que dispongamos en los acumuladores y captadores, por lo que estos sistemas llevan un sistema de regulación. Estos sistemas tienen un mayor coste de instalación y mantenimiento debido a mayor cantidad de componentes.

**Figura 15**

*Sistema Forzado para Obtención de ACS*



Fuente: <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn188.html#seccion12>

## 2.2.3. CÁLCULO SOLAR

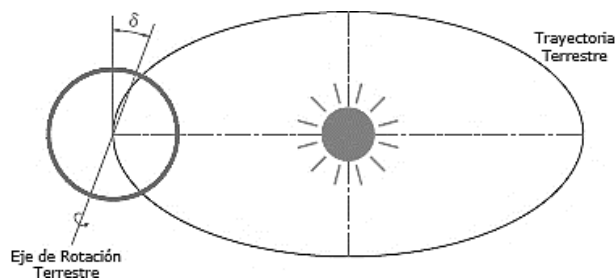
### 2.2.3.1. CÁLCULO DE LA IRRADIACIÓN SOLAR

#### 2.2.3.1.1. Ángulo de Declinación Solar ( $\delta$ )

Permite mediante coordenadas geocéntricas, localizar la posición angular del sol, y es el ángulo entre la línea Sol-Tierra y el plano Ecuatorial celeste (proyección del Ecuador terrestre).

**Figura 16**

*Ángulo de Declinación Solar*



Fuente: *Imágenes Google (2022)*

La declinación solar es cero en las fechas de los equinoccios, (21 de marzo y 22 de septiembre) variando cíclicamente de  $+23,45^\circ$  que corresponde al solsticio de verano (junio 22)

a  $-23,45^\circ$  que corresponde al solsticio de invierno (diciembre 22), entonces:  $-23.45^\circ < \delta < +23.45$ .

La siguiente ecuación sirve para calcular este ángulo.

$$\delta = 23.45 * \text{sen} \left[ \frac{360*(284+n)}{365} \right] \quad \text{Ec. (1)}$$

Donde:

$\delta$  : Ángulo de declinación solar [ $^\circ$ ]

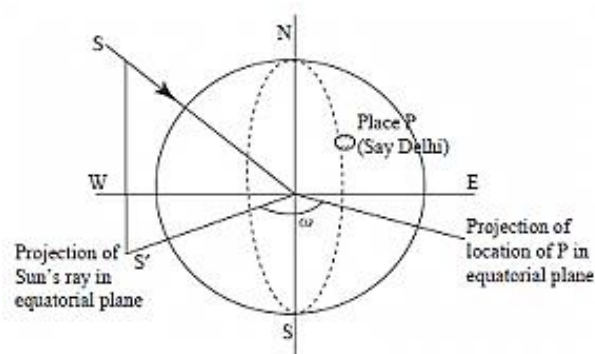
$n$  : Número de día del año,  $1 \leq n \leq 365$  [-]

### 2.2.3.1.2. Ángulo Horario ( $\omega_s$ )

Es el ángulo de desviación con respecto al mediodía. Para la medición de este ángulo, se considera al mediodía como  $0^\circ$ , cada hora equivale a  $15^\circ$ . Su valor será,  $\omega < 0$  en la mañana y  $\omega > 0$  en la tarde. Es el desplazamiento angular del sol hacia el este o el oeste del meridiano local, debido al movimiento de rotación de la tierra alrededor del eje.

**Figura 17**

*Ángulo Horario*



*Fuente: Imágenes Google (2022)*

La siguiente ecuación sirve para calcular este parámetro:

$$\omega_s = \text{acos}[-\tan(\delta) * \tan(\phi)] \quad \text{Ec. (2)}$$

Donde:

$\omega_s$  : Ángulo horario o ángulo del ocaso [°]

$\phi$  : Latitud de la zona [°]

#### **2.2.3.1.3. Horas Sol Teóricas ( $N_t$ )**

El número de horas teóricas se puede calcular por medio de la siguiente ecuación:

$$N_t = \frac{2}{15} * \omega_s \quad \text{Ec. (3)}$$

Donde:

$N_t$  : Número de horas sol teóricas [h]

#### **2.2.3.1.4. Factor de Corrección de la Excentricidad de la Órbita Terrestre ( $\epsilon_o$ )**

La siguiente ecuación sirve para calcular este parámetro:

$$\epsilon_o = 1 + 0.033 * \cos\left(\frac{360*n}{365}\right) \quad \text{Ec. (4)}$$

Donde:

$\epsilon_o$  : Factor de corrección de la excentricidad de la órbita terrestre [-]

#### **2.2.3.1.5. Constante Solar o Irradiancia Solar Total ( $G_{sc}$ )**

Es la cantidad de energía recibida (en forma de radiación solar) por unidad de tiempo y superficie, medida en la parte externa de la atmósfera terrestre sobre un plano perpendicular a los rayos del sol.

$$G_{sc} = 1353 \left[ \frac{W}{m^2} \right], \text{ (NTP 399.400, 2001)}$$

#### **2.2.3.1.6. Irradiación Solar Extraterrestre sobre una Superficie Horizontal ( $I_o$ )**

La siguiente ecuación sirve para calcular este parámetro:

$$I_o = G_{sc} * \epsilon_o * \left\{ \text{sen}(\delta) * \text{sen}(\phi) * (t_2 - t_1) + \frac{12}{\pi} * \text{cos}(\delta) * \text{cos}(\phi) * [\text{sen}(15 * t_1) - \text{sen}(15 * t_2)] \right\}$$

Ec. (5)

Donde:

$I_o$  : Irradiación solar extraterrestre sobre una superficie horizontal  $\left[ \frac{W * h}{m^2} \right]$

$G_{sc}$  : Constante solar  $\left[ \frac{W}{m^2} \right]$

$t_1, t_2$  : Tiempo inicial y final del brillo solar efectivo medido en hora militar [h]

### 2.2.3.1.7. Irradiación Solar Global Terrestre sobre una Superficie Horizontal (I)

Modelo de Angstrom-Prescott (Atlas de Energía Solar del Perú, 2003)

$$I = I_o * \left[ a + b * \left( \frac{n_r}{N_t} \right) \right]$$

Ec. (6)

Donde:

$I$  : Irradiación solar global terrestre sobre una superficie horizontal  $\left[ \frac{W * h}{m^2} \right]$

$n_r$  : Número de horas sol reales [h]

$a, b$  : Coeficientes empíricos, representan la transmisibilidad de la atmosfera

$a=0.593, b=0.181$  (Atlas de Energía Solar del Perú, 2003)

### 2.2.3.1.8. Índice de Claridad Horaria ( $K_T$ )

La siguiente ecuación sirve para calcular este parámetro:

$$K_T = \frac{I}{I_o}$$

Ec. (7)

Donde:

$K_T$  : Índice de claridad horaria [-]

### 2.2.3.1.9. Irradiación Solar Difusa sobre una Superficie Horizontal ( $I_{dif}$ )

Las siguientes relaciones son aplicables para calcular este parámetro:

Relación a utilizar:	Criterio:
$\frac{I_{dif}}{I} = 1 - 0.249 * K_T$ Ec. (8)	$0 \leq K_T < 0.35$
$\frac{I_{dif}}{I} = 1.577 - 1.84 * K_T$ Ec. (9)	$0.35 \leq K_T \leq 0.75$
$\frac{I_{dif}}{I} = 0.177$ Ec. (10)	$0.75 < K_T$

*Modelo de Orgill y Hollands para determinar la Irradiación Solar Difusa.*

Donde:

$I_{dif}$  : Irradiación solar difusa sobre una superficie horizontal  $\left[\frac{W \cdot h}{m^2}\right]$

$\frac{I_{dif}}{I}$  : Fracción difusa [-]

#### 2.2.3.1.10. Irradiación Solar Directa sobre una Superficie Horizontal ( $I_{dir}$ )

La siguiente ecuación sirve para calcular este parámetro:

$$I_{dir} = I - I_{dif} \quad \text{Ec. (11)}$$

Donde:

$I_{dir}$  : Irradiación solar directa sobre una superficie horizontal  $\left[\frac{W \cdot h}{m^2}\right]$

#### 2.2.3.1.11. Factor para el cambio del Ángulo de Incidencia ( $R_b$ )

La siguiente ecuación sirve para calcular este parámetro:

$$R_b = \frac{\text{sen}(\delta) \cdot \text{sen}(\phi - \theta) \cdot (t_2 - t_1) + \frac{12}{\pi} \cdot \text{cos}(\delta) \cdot \text{cos}(\phi - \theta) \cdot [\text{sen}(15 \cdot t_1) - \text{sen}(15 \cdot t_2)]}{\text{sen}(\delta) \cdot \text{sen}(\phi) \cdot (t_2 - t_1) + \frac{12}{\pi} \cdot \text{cos}(\delta) \cdot \text{cos}(\phi) \cdot [\text{sen}(15 \cdot t_1) - \text{sen}(15 \cdot t_2)]} \quad \text{Ec. (12)}$$

Donde:

$R_b$  : Factor para el cambio del ángulo de incidencia [-]

$\theta$  : Ángulo de inclinación de la cubierta receptora [°]

#### 2.2.3.1.12. Irradiación Solar Directa sobre una Superficie Inclinada ( $I_{dir,\theta}$ )

La siguiente ecuación sirve para calcular este parámetro:

$$I_{dir,\theta} = I_{dir} * R_b \quad \text{Ec. (13)}$$

Donde:

$I_{dir,\theta}$  : Irradiación solar directa sobre una superficie inclinada  $\left[\frac{W \cdot h}{m^2}\right]$

#### 2.2.3.1.13. Irradiación Solar Difusa sobre una Superficie Inclinada ( $I_{dif,\theta}$ )

La siguiente ecuación sirve para calcular este parámetro:

$$I_{dif,\theta} = I_{dif} * \left(\frac{1+\cos(\theta)}{2}\right) \quad \text{Ec. (14)}$$

Donde:

$I_{dif,\theta}$  : Irradiación solar difusa sobre una superficie inclinada  $\left[\frac{W \cdot h}{m^2}\right]$

#### 2.2.3.1.14. Irradiación solar Reflejada sobre una Superficie Inclinada ( $I_{ref,\theta}$ )

La siguiente ecuación sirve para calcular este parámetro:

$$I_{ref,\theta} = I * \left(\frac{1-\cos(\theta)}{2}\right) * \rho_s \quad \text{Ec. (15)}$$

Donde:

$I_{ref,\theta}$  : Irradiación solar reflejada sobre una superficie inclinada  $\left[\frac{W \cdot h}{m^2}\right]$

$\rho_s$  : Coeficiente de reflexión del suelo o albedo [-]

#### 2.2.3.1.15. Irradiación Solar Total sobre una Superficie Inclinada ( $I_T$ )

La siguiente ecuación sirve para calcular este parámetro:

$$I_T = I_{dir,\theta} + I_{dif,\theta} + I_{ref,\theta} \quad \text{Ec. (16)}$$

Donde:

$I_T$  : Irradiación solar total sobre una superficie inclinada  $\left[\frac{W \cdot h}{m^2}\right]$

## **2.3. DESTILACIÓN SOLAR**

### **2.3.1. DEFINICIÓN**

Es una reproducción a menor escala y de manera acelerada del ciclo hidrológico o natural del agua. El fenómeno natural de evaporación y condensación, se reproduce en un dispositivo cerrado llamado destilador solar, el cual tiene como fuente energética la radiación solar para la obtención de agua pura a partir de agua contaminada o salobre. La destilación de agua con energía solar puede ser una de las soluciones más económicas y prácticas a los problemas de escasez de agua para el consumo humano, así lo afirman diferentes organizaciones e instituciones a nivel mundial.

La destilación solar pertenece al grupo de los métodos o tecnologías de desalinización. Ésta se caracteriza por la obtención de agua fresca o consumible a través de fuentes de energía renovable. Aunque este método se enfoca principalmente en la desalinización de agua de mar, bien puede ser aplicado sin mayor problema para la obtención de agua pura a partir de otros tipos de aguas contaminadas.

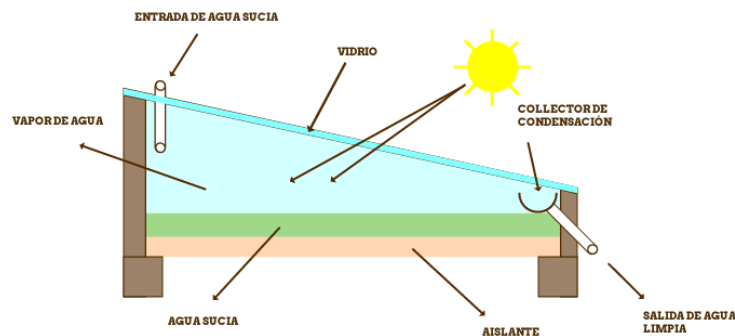
### **2.3.2. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO**

La manera más sencilla de entender el proceso de destilación solar que ocurre en un destilador es el siguiente: El agua contaminada entra en una fuente ubicada en la parte inferior del destilador o alambique solar, en ella se calienta debido a la absorción de la radiación solar que ocurre en este dispositivo cerrado. Conforme aumenta la temperatura en el interior del destilador el agua contaminada comienza a evaporarse. El vapor húmedo de agua asciende hasta la cubierta superior transparente, que está a menor temperatura que la fuente, en cuya superficie

parte del vapor de agua se condensa, deslizándose por gravedad hasta caer en un canal de recolección. En la siguiente figura se puede apreciar un destilador básico donde ocurre el proceso de destilación solar.

### Figura 18

*Destilador o Alambique Solar de Una Vertiente.*



*Fuente: Tomado de [http://dgpcfadu.com.ar/2013/1\\_cuat/jt04/tp/proyecto1.html](http://dgpcfadu.com.ar/2013/1_cuat/jt04/tp/proyecto1.html)*

Este proceso elimina todas las impurezas, como sales o metales pesados que se quedan en la bandeja, y además este proceso elimina ciertos microbios. El resultado final es agua limpia y pura tal como el agua de lluvia.

## 2.3.3. CARACTERÍSTICAS

### 2.3.3.1. Campo de aplicación

La destilación solar resulta una buena alternativa técnica y económica en relación a otras formas de obtención o tratamiento de agua para consumo humano aplicado a zonas rurales, zonas agrorurales, zonas deprimidas con escasez de aguas limpias donde residen grupos reducidos de personas como pequeños y medianos asentamientos o comunidades, zonas que no disponen de sistemas energéticos necesarios como zonas áridas y aisladas de la población que

reciben buena radiación solar diaria y continua, zonas cercanas a fuentes de aguas contaminadas como pozos, ríos, lagos o mares.

### **2.3.3.2. Ventajas**

La destilación solar provee agua bebible limpia sin gastos continuos de dinero, además en su funcionamiento no se requiere filtros, ni membranas, ni aditivos químicos, ni fuentes continuas de energía, tampoco requiere de mantenimiento u operación especializada. La vida útil de un destilador solar puede ser mayor a los 20 años, aunque influye mucho el material del cual está hecho. La destilación solar es un proceso seguro y amigable con el medio ambiente que brinda buena calidad en el agua obtenida. Con este método se puede tratar varios tipos de fuente de agua contaminada como el agua de mar, agua subterránea, agua de río y aguas empozadas.

### **2.3.3.3. Limitaciones**

La destilación solar por su parte es práctica para cierta etapa del tratamiento de agua, y específicamente para remover sustancias poco volátiles como las sales minerales, además destruye microorganismos que son eliminados por los efectos de las altas temperaturas que se alcanza en el evaporador. No es recomendable el uso del destilador solar para aguas con altas cantidades de contaminantes, aunque si se podría obtener resultados favorables, sin embargo, requeriría un mantenimiento intensivo para continuar operando correctamente, lo que a su vez incrementaría los costos, sobre todo si la aplicación de los destiladores es a gran escala.

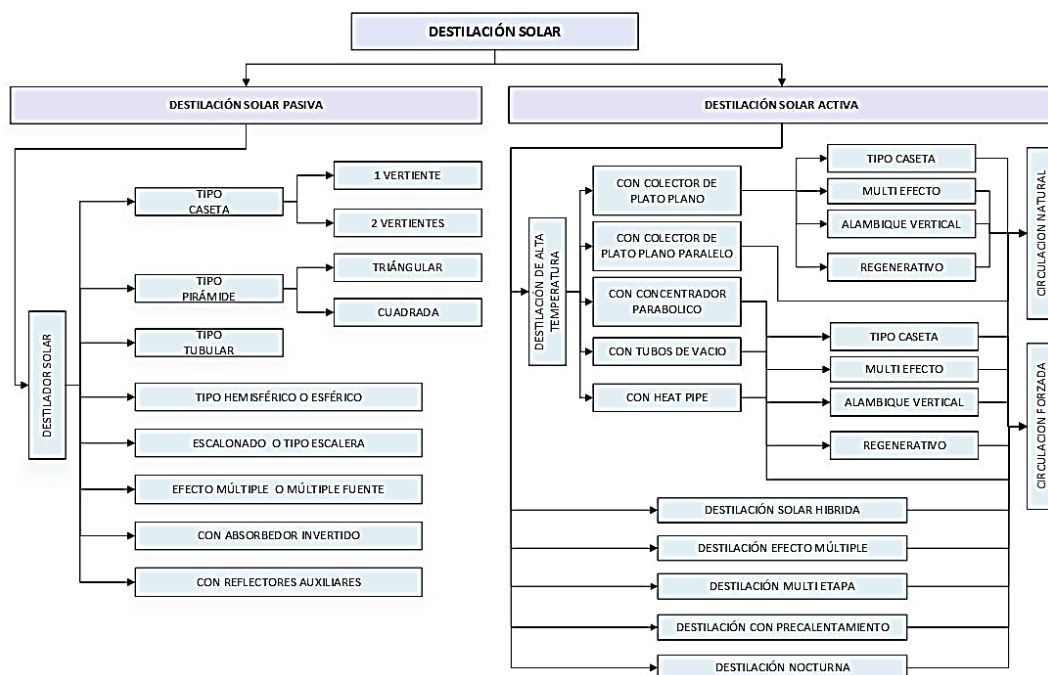
En el caso de sustancias con volatilidad mayor que la del agua (que cambia de fase de líquido a vapor antes que el agua) el destilador también podría funcionar si se diseña adecuadamente, aunque esto no sería conveniente en nuestro objetivo, porque la eficiencia de remoción sería muy baja. Para contaminantes con volatilidad semejante a la de agua, la destilación solar no es el proceso adecuado para su separación.

## 2.3.4. CLASIFICACIÓN Y TIPOS DE DESTILADORES SOLARES

La destilación solar se clasifica en dos grupos: La destilación solar pasiva, donde se agrupan los primeros destiladores solares construidos y estudiados, y la destilación solar activa en cuyo grupo se encuentran sistemas más complejos, con niveles de eficiencia y productividad mayores a la destilación pasiva. La siguiente gráfica presenta una clasificación resumida de la destilación solar, dentro de esta encontramos diferentes tipos de destiladores solares y varios sistemas de destilación.

**Figura 19**

*Clasificación de los Sistemas de Destilación Solar y Tipos de Destiladores Solares más comunes*



*Fuente: Elaboración basada en Sampathkumar (2010)*

### 2.3.4.1. Destilación Solar Pasiva

Los destiladores pasivos tienen una baja producción causada por la baja temperatura que alcanzan ya que operan principalmente bajo convección natural, en estos dispositivos se

requiere fortalecer el calor en el agua y la transferencia de masa. La inercia térmica del agua dentro de la fuente y el calor latente de condensación son relativamente bajos.

En un destilador solar pasivo, la radiación solar es recibida directamente por la fuente colectora y es la única fuente de energía para elevar la temperatura del agua, y en consecuencia ocurre una menor evaporación que conduce a una menor productividad. Este es el principal inconveniente de un destilador solar pasivo (Sampathkumar, 2010)

#### **2.3.4.2. Destilación Solar Activa**

Con el fin de superar el problema de baja productividad de los destiladores solares pasivos, se desarrollaron estos tipos de destiladores. Aquí una energía térmica adicional se suministra a la fuente a través de un modo externo para aumentar la tasa de evaporación (Sampathkumar, 2010).

Se han concebido más de 10 tipos de diseños de destiladores solares activos, y existe mucha investigación sobre estos. En destiladores con equipos auxiliares estáticos, la temperatura de operación de un destilador solar activo se incrementa drásticamente, y el calor interno y el proceso de transferencia de masa son mejorados. Además, en la mayoría de los sistemas activos de destilación solar se puede reutilizar el calor latente que el vapor libera durante el proceso de condensación; por lo tanto, estos sistemas pueden conseguir una producción de agua más del doble que los sistemas tradicionales de destilación solar. Este es la causa raíz de la amplia atención que se presta actualmente a los destiladores solares activos.

En la siguiente tabla se puede apreciar un estudio comparativo de algunos destiladores solares activos desarrollados. Este estudio resalta la producción de agua destilada obtenida, el lugar donde se realizó el estudio y algunas observaciones adicionales.

**Tabla 5**  
*Estudio comparativo de algunos Destiladores Solares Activos*

Tipo de Destilador Solar Activo	Lugar de Prueba	Descripción	Resultado Experimental	Observaciones
Destilador solar acoplado con colector solar de placa plana (Modo circulación forzada)	New Delhi, India	Alambique: 1 vertiente Área: 1m x 1m Ángulo del colector: 45° Razón de flujo: 1.15 kg/min	50% más que el modo termosifón 120% más que el alambique solar pasivo de 1 vertiente Destilación máxima 6.75 Kg/m <sup>2</sup> Desde un punto de vista económico la bomba debería ser usada en las mañanas y tardes	La bomba es requerida para suministrar agua Requiere electricidad para operar la bomba Puede ocurrir dificultades en la operación del sistema
Destilador solar acoplado con colector solar de placa plana (Modo circulación natural)	Amman, Jordan	Alambique: 1 vertiente Área: 1m x 1m Ángulo del colector: 35° Aislamiento: Lana de roca, espesor 6 cm	36% más que el destilador solar pasivo de 1 vertiente Destilación máxima 3.5 L/m <sup>2</sup> Ángulo óptimo para Jordan es 10° en invierno	La producción es menor que modo circulación forzada Facil operación El destilador solar de doble vertiente tiene menor rendimiento que el de una vertiente
Destilador solar activo de doble efecto	New Delhi, India	Alambique: 1 vertiente Área: 1m x 1m Ángulo del alambique: 15° Ángulo del colector: 45° Longitud del colector: 1m Razón de flujo: 40 ml/min Espacio entre vidrios: 20cm Bomba: 0.2 HP	Destilación promedio 7.5 litros/día en modo activo con un arreglo del flujo de agua Destilación promedio 2.2 a 3.9 litros/día en modo pasivo y modo activo respectivamente, sin un arreglo del flujo de agua	La operación y el mantenimiento es dificultoso En el modo doble efecto no incrementa significativamente la producción diaria porque es difícil mantener una uniforme y baja razón de flujo sobre la cubierta de vidrio
Destilador solar acoplado con concentrador parabólico	Giza, Egipto	Díametro tubo de cobre: 9.25mm Longitud tubo de cobre: 1.44m Alambique: 1 vertiente Área del alambique: 1m <sup>2</sup> Área del colector: 80cm y 0.04cm de espesor	Producción obtenida fue 2.75 litros/día con el alambique modificado y 2 litros/día con el alambique convencional El máximo portcentaje alcanzado fue 35% en un periodo de 15 horas con el alambique modificado	Este sistema es más económico que otros convencionales Se utilizó una bomba y un motor para este estudio Tiene más componentes que otros sistemas similares
Destilador de doble efecto acoplado con concentrador parabólico	New Delhi, India	Alambique: 1 vertiente Área: 1m x 1m Área del colector CPC: 1m x 1m Longitud del colector: 1m Modo circulación forzada Razón de Flujo: 0.0027Kg/s	Producción máxima 14.684 Kg/día obtenida con el doble efecto El rendimiento por hora decrece con la razón de flujo debido al gasto de agua caliente en la parte superior de la fuente El seguidor solar puede ser ajustado manualmente para alcanzar la máxima radiación.	Presenta mayor rendimiento que un colector solar de placa plana debido a la mayor concentración de la radiación solar Requiere mayor mantenimiento La operación es muy susceptible Mantener la temperatura de la cubierta de vidrio es un factor crucial
Destilador solar acoplado con colector de tubos al vacío	New Delhi, India	Alambique: 1 vertiente Área del alambique: 1m <sup>2</sup> Masa de agua en la fuente: 50 Kg Área del colector de tubos al vacío: 2 m <sup>2</sup> Razón de Flujo: 0.035Kg/s	La producción diaria total calculada fue 4Kg/m <sup>2</sup> usando análisis teórico La eficiencia térmica general es 17.22%, la cual es mayor que un colector solar de placa plana	Hoy en día los colectores de tubos al vacío pueden llegar a ser tan económicos como los colectores solares de placa plana Es la mejor opción para la producción de agua caliente y agua destilada simultáneamente
Destilador solar acoplado con colector solar híbrido PVT	New Delhi, India	Alambique: 1 vertiente Área del alambique: 1m x 1m Ángulo del alambique: 30° Área efectiva del colector: 2m <sup>2</sup> Área del modulo PV: 0.55 x 1.20 m <sup>2</sup>	Mayor rendimiento comparado con el destilador solar pasivo Los valores promedios de los coeficientes de transferencia de calor por convección y evaporación fueron 3 a 5 veces más que los del destilador solar pasivo	Alto costo del módulo PV El periodo de retorno de inversión para un destilador solar pasivo es 1.1 a 6.2 años y para este sistema es de 3.3 a 23.9 años
Sistema de destilación solar al vacío multietapa	Kualalumpur, Malaysia	Alambique: multietapa Número de etapas: 3 Aislamiento: lana de roca con laminilla de aluminio Requiere una bomba de circulación para el agua salobre	La producción máxima alcanzada fue de 14.2 Kg/m <sup>2</sup> al día con una presión de vacío de 0.5 bar El modelo cilíndrico es mucho mejor que el rectangular en términos de factor de seguridad y máxima desviación El rendimiento total diario es aproximadamente 3 veces el rendimiento de un destilador solar simple	Presenta mayor producción en comparación a los otros tipos de destiladores 1 galón de agua destilada con este sistema costaría aproximadamente 0.02544 dólares
Sistema de destilación solar activo multiefecto	Mattarria, Egipto	Alambique: Multiefecto Área de colector: 1.55 m <sup>2</sup> Capacidad tanque almacenamiento: 200 L Cámara de destilación: 186.5 x 118 x 160 cm	El agua destilada colectada fue 1 L en 60 min y 24 L/día usando únicamente dos unidades de condensación La destilación se basa en el proceso de humidificación y deshumidificación	Es aplicado para unidades pequeñas (hoteles, regiones rurales, industrias pequeñas, etc) Alto costo de inversión y operación Se requiere personal capacitado para operar el sistema

Fuente: Sampathkumar (2010)

### **2.3.5. DESARROLLO DE LA DESTILACIÓN SOLAR**

El origen de la destilación solar abarca aproximadamente desde el año 1874 a partir de ahí, se han desarrollado diferentes prototipos de destiladores solares, con fines de investigación y en esencia hacia el tratamiento de aguas contaminadas y salobres con el objeto de obtener agua para consumo humano o agua destilada para otros propósitos

Se han desarrollado una gran cantidad de prototipos de destiladores solares en diferentes partes del mundo, entre los países que destacan están La India, China, Egipto, Irán, Estados Unidos, México Chile, Argentina y otros. A continuación, revisaremos algunos prototipos destacados.

#### **2.3.5.1. Desarrollo de la Destilación Solar Pasiva**

Comprende a los destiladores más sencillos de construir y operar. Sus eficiencias y productividades son bajas, con volúmenes de agua destilada que varían desde 1 a 5 L/m<sup>2</sup> por día dependiendo mucho del tipo y diseño. Estos son adecuados para ser aplicados a pequeñas familias o grupos, por ejemplo. Su mantenimiento es sencillo y poco frecuente.

Entre los destiladores pasivos, destacan los *destiladores de 1 y 2 vertientes*. Algunos estudios varían el ángulo inclinación, así como el uso de reflectores para aumentar la incidencia de radiación solar. El destilador de 1 vertiente normalmente alcanza producción de 1 a 2 L/m<sup>2</sup> por día, y los de doble vertiente 3 a 4 L/m<sup>2</sup> por día aproximadamente.

## Figura 20

*Destiladores Solares Pasivos de 1 Vertiente con variaciones de ángulos de inclinación (izq.).  
Destilador Solar Pasivo de Doble Vertiente con Reflectores Auxiliares (der.)*

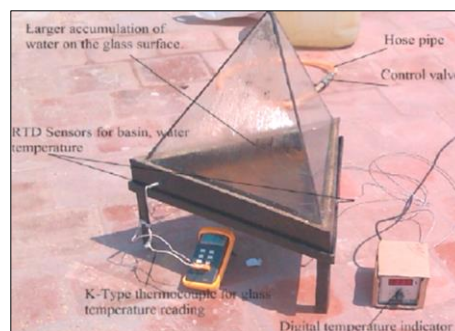


*Fuente: Kumar A. (2018)*

También se realizaron estudios sobre los destiladores tipo **Pirámide Triangular** y **Pirámide Cuadrada**. En estos resalta el aumento del área evaporativa, con esto aumenta la producción. Algunos parámetros importantes para estos destiladores son la altura de la pirámide y el ángulo de inclinación. Se registraron prototipos que alcanzan los 4 L/m<sup>2</sup> por día y 45% de eficiencia.

## Figura 21

*Destilador Solar Pasivo Tipo Pirámide Triangular*



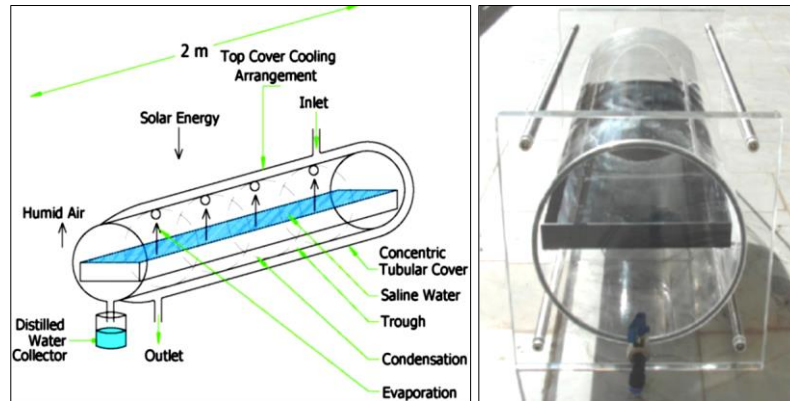
*Fuente: Kumar A. (2019)*

Los **Destiladores Solares Tubulares** son un nuevo concepto en la destilación solar y desalinización de agua, estos pueden operar solos o pueden ser integrados a sistemas con

concentradores parabólicos con seguimiento solar, por ejemplo. Sus productividades en los mejores casos alcanzan los 5 L/m<sup>2</sup> por día y eficiencias entre 30 a 35 %.

**Figura 22**

*Destilador Solar Tubular*



*Fuente: Kumar A. (2019)*

Uno de los destiladores pasivos que alcanzan una buena producción es el **Destilador Tipo Hemisférico** con un poco más de 5.7 l/m<sup>2</sup> por día y eficiencia de 33 % aproximadamente. En la siguiente figura se muestra este destilador que presenta una fuente absorbidora de aluminio con un área de 0.5 m<sup>2</sup>.

**Figura 23**

*Destilador Solar Hemisférico*

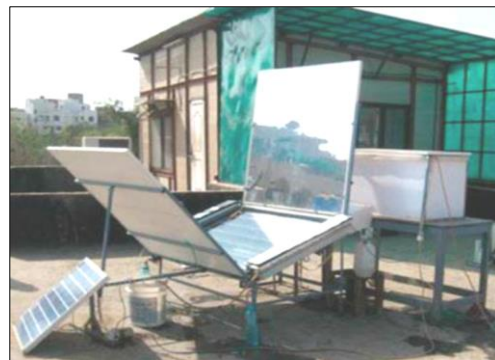


*Fuente: Arunkumar (2018)*

El *Destilador Solar Tipo Escalonado* mejoró la producción, al tener mayor área efectiva. La alimentación del agua contaminada o salobre se hace sobre la fuente superior y por allí, discurre sobre las demás fuentes sucesivas. Sistemas actuales incluyen el uso de reflectores y sistemas híbridos. Con el uso de reflectores alcanzan productividades de  $6 \text{ L/m}^2$  por día.

**Figura 24**

*Destilador Solar Escalonado con Reflectores*

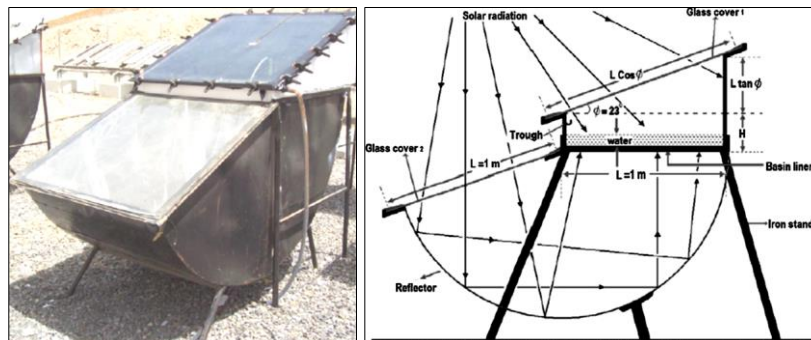


*Fuente: Arunkumar (2018)*

Un destilador particular es el *Destilador Solar con Absorbedor Invertido* donde los rayos solares incidentes son mejor aprovechados mediante una configuración ingeniosa. Estos alcanzan una eficiencia hasta de 48%, que puede considerarse como buena en comparación de los demás destiladores pasivos.

**Figura 25**

*Destilador Solar Pasivo de Vertiente Simple con Absorbedor Invertido*



*Fuente: Kumar A. (2018)*

Hoy en día se cuenta con un modelo de destilador solar pasivo desarrollado por una compañía Australiana que presenta un buen desempeño y es comercializado en varios países entre los que están México y Colombia. Se trata de un *Destilador Solar Tipo Panel* el cual puede ser acoplado a otras unidades formando un sistema de purificación de agua mayor, se dice que cinco de estas unidades podrían alcanzar los 100 litros de agua por día así lo menciona su fabricante.

### **Figura 26**

*Potabilizador Solar de Agua “Carocell”*



*Fuente: Tomado de <http://www.fcubed.com.au/asp/zld-photo-gallery.aspx>*

#### **2.3.5.2. Desarrollo de la Destilación Solar Activa**

Se desarrollaron con el fin de lograr mayores eficiencias y productividad de agua destilada logrando alcanzar volúmenes desde los 5 a 20 L/m<sup>2</sup> por día, dependiendo del tipo de destilador y el sistema en el cual operan. Puede ser aplicado para abastecer a una mayor cantidad de personas que carecen del recurso vital. El mantenimiento sigue siendo relativamente sencillo dependiendo del sistema y número de componentes. La mayoría de destiladores activos se caracterizan por alcanzar altas temperaturas desde los 50 a más de 80 °C.

Los *Destiladores Solares con Colector de Placa Plana (Flat Plate Collector)* pueden operar en circulación natural o circulación forzada mediante una bomba (esto en general aplica

para la mayoría de destiladores activos). Con circulación forzada existe un incremento de la producción mayor al 10% en comparación a la circulación natural. La producción de estos puede superar los 5 L/m<sup>2</sup> por día, dependiendo del diseño, pero la eficiencia es mucho menor en relación a los destiladores pasivos.

**Figura 27**

*Destilador Solar Activo Integrado con Colector de Placa Plana.*

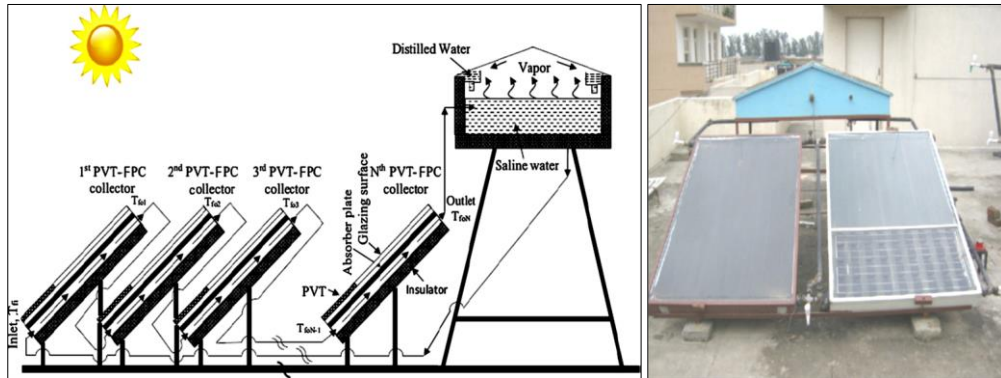


*Fuente: Morad (2015)*

Una configuración ingeniosa es el uso de varios colectores de plato plano, y el uso de la energía solar fotovoltaica. Esta configuración es nombrada *Sistema de Destilación Solar Híbrida*. Otra opción similar es el uso de *Colectores Tipo PVT (Photo Voltaic Thermal)*, que es una combinación del panel fotovoltaico con el colector solar térmico en una sola unidad.

## Figura 28

*Alambique de Doble Vertiente con “n” Colectores PVT (izq.). Destilador Solar Activo Híbrido de Doble Vertiente con Colector de PVT y FPC (der.)*



*Fuente: Kumar A. (2018)*

La **Destilación Solar con Concentrador Solar Parabólico** se caracteriza por usar un fluido caloportador (agua o aceite), estos sistemas alcanzan mayor temperatura que los colectores planos, pero requieren sistemas de seguimiento solar para mejorar el desempeño. Un **Sistema de Destilación de Múltiple Etapa**, como el de la siguiente figura hace uso de un concentrador solar parabólico para incrementar notoriamente su productividad.

## Figura 29

*Destilador Solar de 4 Etapas acoplado a un Concentrador Solar Cilindro Parabólico*



*Fuente: Abdessemed (2018)*

La *Destilación Solar con Colector de Tubos de Vacío*, se usa en remplazo de los colectores solares de placa plana o de los concentradores parabólicos. Este alcanza una mayor producción de agua destilada. Una configuración común es el *Sistema de Destilación Solar con Tubos de Vacío y Heat Pipe*, integrados con un *Destilador de Efecto Múltiple*, que alcanza una productividad mayor a 9 L/m<sup>2</sup> por día.

**Figura 30**

*Destilador Solar de Efecto Múltiple con Tubos de Vacío.*

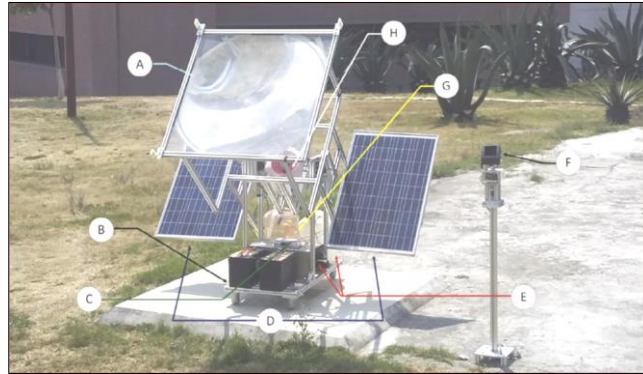


*Fuente: Arunkumar (2018)*

Una investigación reciente menciona un *Sistema de Destilación Solar Híbrida con Seguimiento Solar* a pequeña escala a modo de prueba, y el uso del *Lente Fresnel*, el cual maximiza el aprovechamiento de la radiación solar, y acelera el proceso de la destilación. Este sistema puede llegar a ser más complejo, por la incorporación mecatrónica al sistema, pero se presenta como una nueva alternativa en la destilación solar activa.

### **Figura 31**

*Sistema de Destilación Solar Híbrida con Concentrador Fresnel y Sistema Fotovoltaico.*



*Fuente: Palomino (2018)*

## **2.4. MODELO TÉRMICO DEL DESTILADOR SOLAR**

Antes de realizar el análisis y modelo térmico sobre el destilador solar de doble vertiente, es necesario primero realizar este mismo análisis sobre el Colector Solar de Placa Plana (FPC), por lo que nos ocuparemos de ello a continuación.

### **2.4.1. EVALUACIÓN TÉRMICA SOBRE EL COLECTOR SOLAR**

#### **2.4.1.1. Colector Solar de Placa Plana (Flat Plate Collector)**

Es un dispositivo solar térmico que aprovecha la energía solar a través de la radiación para transformarla en calor útil a través de un fluido y opera por debajo de los 100 °C, debe estar diseñado para soportar la continua exposición de las condiciones ambientales exteriores como lluvia, viento, humedad, polvo, etc.

##### **2.4.1.1.1. Partes principales**

**La cubierta:** Formado por material transparente a la radiación solar y opaca a la radiación infrarroja térmica, generando en su interior el efecto invernadero.

**La placa absorbadora:** Constituido por material metálico y pintado de color negro mate para absorber la mayor cantidad de radiación solar.

**El aislamiento térmico:** Hecho de un material de baja conductividad térmica, destinado a evitar las fugas de calor desde el colector al exterior.

**La carcasa o caja contenedora:** Estructura de soporte donde se instala los componentes del colector solar.

### Figura 32

*Partes de un Colector Solar de Placa Plana*



*Fuente: Tomado de <https://itssolar.co.za/water-heating/solar-water-heating/how-does-a-flat-plate-work/>*

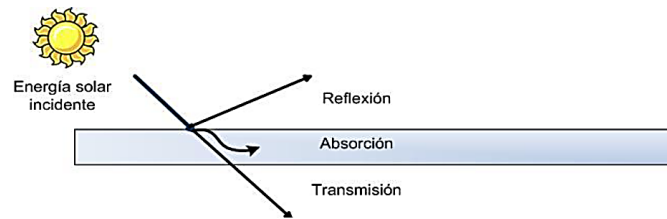
“En un colector solar se presentan los tres mecanismos de transferencia de calor: conducción, convección y radiación” (Fauroux & Jagër, 2013).

#### 2.4.1.2. Balance de Energía en el Colector Solar

El funcionamiento del sistema se basa en las leyes básicas de la radiación, que se propaga en longitudes de onda corta. Cuando incide en una superficie transparente, parte de ella se absorbe, otra se refleja y una en mayor proporción se transmite. (Fauroux & Jagër, 2013). Esto se puede apreciar en la siguiente figura.

### Figura 33

#### Radiación Incidente sobre una Superficie Transparente



Fuente: Fauroux & Jagër (2013)

En un colector solar de placa plana solo una fracción de la radiación solar incidente  $[I_{TC} * A_c]$  es aprovechada, ya que una parte se pierde hacia el ambiente por conducción, convección y re-radiación, otra fracción se pierde por las características propias de la transmisión de la cubierta y la placa de absorción  $(\alpha\tau)_c$ , y una última es almacenada en el colector. Este balance se puede expresar de la siguiente forma:

$$I_{TC} * A_c * (\alpha\tau)_c = \dot{Q}_{\text{útil}} + \dot{Q}_{\text{pe}} + \frac{du}{dt} \quad \text{Ec. (17)}$$

Además:

$$A_c = n_{\text{tub}} * W * L_{\text{tub}} \quad \text{Ec. (18)}$$

Donde:

$I_{TC}$  : Radiación solar total sobre la superficie inclinada del colector solar  $\left[\frac{W}{m^2}\right]$

$A_c$  : Área efectiva del colector solar  $[m^2]$

$(\alpha\tau)_c$  : Factor por pérdidas ópticas y por absorción [-]

$\dot{Q}_{\text{útil}}$  : Flujo de calor útil transportado al fluido por el colector solar [W]

$\dot{Q}_{\text{pe}}$  : Flujo de calor perdido en el colector solar [W]

$\frac{du}{dt}$  : Cambio de energía interna almacenada en el colector [W]

$n_{\text{tub}}$  : Número de tubos en el colector solar [-]

$W$  : Separación entre tubos [m]

$L_{\text{tub}}$  : Longitud de los tubos del colector solar [m]

Teniendo en cuenta que  $\frac{du}{dt} \approx 0$ , es un valor muy pequeño y usualmente despreciable, por lo que la ecuación anterior será:

$$I_{\text{TC}} * A_c * (\alpha\tau)_c = \dot{Q}_{\text{útil}} + \dot{Q}_{\text{pe}} \quad \text{Ec. (19)}$$

El calor absorbido  $[I_{\text{TC}} * A_c * (\alpha\tau)_c]$  dependerá de la fracción absorbida  $(\alpha\tau)_c$ , esta fracción es una característica del material de la cubierta y representa el efecto invernadero que ocurre dentro del colector solar (Travezaño, 2002).

$$(\alpha\tau)_c = \frac{\tau * \alpha}{1 - (1 - \alpha) * \rho_d} \quad \text{Ec. (20)}$$

Donde:

$\tau$  : Transmisividad de la cubierta del colector solar [-]

$\alpha$  : Absortividad de la placa de absorción del colector solar [-]

$\rho_d$  : Reflectividad difusa de la cubierta del colector solar [-]

#### 2.4.1.3. Flujo de Calor Útil ( $\dot{Q}_{\text{útil}}$ )

El objetivo del colector foto térmico es convertir la radiación solar incidente en energía calorífica útil, que en nuestro caso es una energía térmica extra destinada a elevar la temperatura del agua contaminada en la fuente del alambique solar. La siguiente expresión hace referencia a esta energía.

$$\dot{Q}_{\text{útil}} = I_{\text{TC}} * A_c * (\alpha\tau)_c - U_{\text{LC}} * A_c * (T_p - T_a) \quad \text{Ec. (21)}$$

Donde:

$U_{\text{LC}}$  : Coeficiente de transferencia de calor total para el colector solar  $\left[ \frac{\text{W}}{\text{m}^2 * \text{K}} \right]$

$T_p$  : Temperatura promedio de la placa de absorción [K]

$T_a$  : Temperatura ambiente [K]

En función del factor de remoción de calor la ecuación sería la siguiente:

$$\dot{Q}_{\text{útil}} = F_R * A_c * [I_{TC} * (\alpha\tau)_c - U_{LC} * (T_{fe} - T_a)] \quad \text{Ec. (22)}$$

Donde:

$F_R$  : Factor de remoción de calor [-]

$T_{fe}$  : Temperatura del fluido a la entrada del colector [K]

Tomando en cuenta el flujo másico del fluido en el colector, el flujo de calor útil será:

$$\dot{Q}_{\text{útil}} = \dot{m}_c * C_f * (T_{fs} - T_{fe}) \quad \text{Ec. (23)}$$

Donde:

$\dot{m}_c$  : Flujo másico del fluido en el colector solar  $\left[\frac{\text{kg}}{\text{s}}\right]$

$C_f$  : Calor específico del fluido  $\left[\frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot\text{K}}\right]$

$T_{fs}$  : Temperatura del fluido a la salida del colector [K]

#### 2.4.1.4. Flujo de Calor Perdido ( $\dot{Q}_{pe}$ )

Debemos considerar que, para determinar el calor útil y la eficiencia del colector solar, es necesario calcular las pérdidas de calor. El flujo de calor perdido en el colector solar se expresa de la siguiente forma:

$$\dot{Q}_{pe} = U_{LC} * A_c * (T_p - T_a) \quad \text{Ec. (24)}$$

#### 2.4.1.5. Coeficiente de Transferencia de Calor Total ( $U_{LC}$ )

El coeficiente total de pérdidas de calor se puede obtener de dos formas: Experimentalmente, tomando valores de radiación, temperatura ambiente, temperatura promedio de la placa de absorción, etc. en base a normas establecidas. Y analíticamente empleando ecuaciones deducidas.

El coeficiente total de pérdidas de calor o coeficiente de transferencia de calor total para el colector solar, está representado por la siguiente expresión:

$$U_{LC} = U_{inf} + U_{sup} + U_{lat} \quad \text{Ec. (25)}$$

Donde:

$U_{LC}$  : Coeficiente de transf. de calor total para el Colector Solar, por la parte inferior, superior y lateral  $\left[ \frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$

$U_{inf}$  : Coeficiente de transf. de calor por la parte inferior del colector solar  $\left[ \frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$

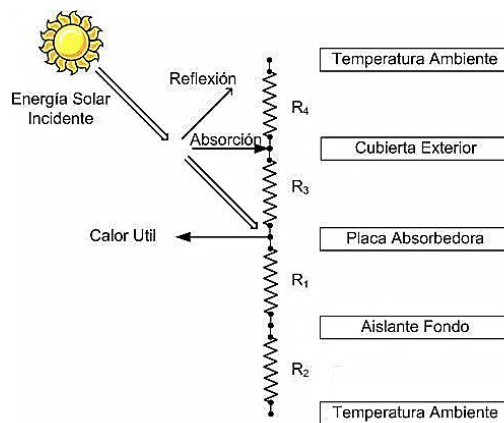
$U_{sup}$  : Coeficiente de transf. de calor por la parte superior del colector solar  $\left[ \frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$

$U_{lat}$  : Coeficiente de transf. de calor por la parte lateral del colector solar  $\left[ \frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$

En la siguiente figura se muestra el circuito térmico equivalente de un colector solar de placa plana que ayudará a visualizar los fenómenos físicos que se producen en él.

**Figura 34**

*Red de Resistencias Térmicas para la Transferencia de Calor en un Colector Solar Plano*



*Fuente: Fauroux & Jagër (2013)*

#### 2.4.1.5.1. Coeficiente de transferencia de calor total ( $U_{inf}$ )

El coeficiente de transferencia de calor por la parte inferior del colector solar se expresa por la siguiente ecuación:

$$U_{inf} = \frac{1}{R_1 + R_2} \quad \text{Ec. (26)}$$

Donde:

$U_{inf}$  : Coef. de transferencia de calor por la parte inferior del colector solar  $\left[\frac{W}{m^2 \cdot K}\right]$

$R_1$  : Resistencia térmica contra la conducción de calor  $\left[\frac{K}{W}\right]$

$R_2$  : Resistencia térmica contra la convección y radiación de calor  $\left[\frac{K}{W}\right]$

Además  $R_1$  y  $R_2$  están determinadas por las siguientes expresiones:

$$R_1 = \frac{e_a}{k_a} \quad \text{Ec. (27)} \quad R_2 = \frac{1}{h_{p-a}} \quad \text{Ec. (28)}$$

Donde:

$e_a$  : Espesor del aislante térmico [m]

$k_a$  : Conductividad del aislante térmico  $\left[\frac{W}{m \cdot K}\right]$

$h_{p-a}$  : Coeficiente de transferencia de calor entre placa de absorción - ambiente  $\left[\frac{W}{m^2 \cdot K}\right]$

En los colectores solares planos bien aislados ocurre que si  $R_2 \ll R_1$ , entonces  $R_2$  se desprecia, por lo que la ecuación (26) será:

$$U_{inf} = \frac{1}{R_1} = \frac{k_a}{e_a} \quad \text{Ec. (29)}$$

#### 2.4.1.5.2. Coeficiente de transferencia de calor total ( $U_{sup}$ )

Se evalúa conociendo la resistencia térmica  $R_3$  y  $R_4$ . El calor se transfiere entre la placa de absorción y la cubierta de vidrio por convección y radiación en forma paralela. Los mismos

mecanismos de transferencia son igualmente importantes en la disipación por parte de la cubierta hacia el ambiente.

$$U_{\text{sup}} = \frac{1}{R_3 + R_4} \quad \text{Ec. (30)}$$

Donde:

$U_{\text{sup}}$  : Coef. de transferencia de calor por la parte superior del colector solar  $\left[ \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \right]$

$R_3$  : Resistencia térmica contra la convección y radiación de calor  $\left[ \frac{\text{K}}{\text{W}} \right]$

$R_4$  : Resistencia térmica contra la convección y radiación de calor  $\left[ \frac{\text{K}}{\text{W}} \right]$

$R_3$  está determinada por la siguiente expresión:

$$\frac{1}{R_3} = \frac{1}{h_{r,p-v}^{-1}} + \frac{1}{h_{c,p-v}^{-1}} \quad \text{Ec. (31)}$$

Donde:

$h_{r,p-v}$  : Coef. de transf. de calor por radiación entre placa de absorción-vidrio  $\left[ \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \right]$

$h_{c,p-v}$  : Coef. de transf. de calor por convección entre placa de absorción-vidrio  $\left[ \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \right]$

El coeficiente de transferencia de calor por radiación ( $h_{r,p-v}$ ) entre placa de absorción y la cubierta de vidrio del colector solar puede ser determinado por la siguiente expresión:

$$h_{r,p-v} = \frac{\sigma \cdot (T_p + T_v) \cdot (T_p^2 + T_v^2)}{\frac{1}{\varepsilon_p} + \frac{1}{\varepsilon_v} - 1} \quad \text{Ec. (32)}$$

Donde:

$T_v$  : Temperatura promedio de la cubierta de vidrio [K]

$\varepsilon_p$  : Emisividad de la placa de absorción [-]

$\varepsilon_v$  : Emisividad de la cubierta de vidrio [-]

$\sigma$  : Constante de Boltzmann  $5.67 \cdot 10^{-8} \left[ \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}^4} \right]$

El coeficiente de transferencia de calor por convección ( $h_{c,p-v}$ ) entre placa de absorción y la cubierta de vidrio del colector solar puede ser determinado por la siguiente expresión (Travezaño, 2002):

$$h_{c,p-v} = [1 - 0.0018 * (T_p - 10)] * 1.14 * \frac{\Delta T_{p-v}^{0.310}}{t^{0.070}} \quad \text{Ec. (33)}$$

Además:

$$\Delta T_{p-v} = T_p - T_v \quad \text{Ec. (34)}$$

Donde:

$\Delta T_{p-v}$  : Diferencia de temperatura entre placa de absorción-vidrio [°C]

$t$  : Espaciamiento entre placa de absorción - vidrio [cm]

$R_4$  está determinada por la siguiente expresión:

$$\frac{1}{R_4} = \frac{1}{h_{r,v-a}^{-1}} + \frac{1}{h_{c,v-a}^{-1}} \quad \text{Ec. (35)}$$

Donde:

$h_{r,v-a}$  : Coeficiente de transf. de calor por radiación entre vidrio-ambiente  $\left[ \frac{W}{m^2 * K} \right]$

$h_{c,v-a}$  : Coeficiente de transf. de calor por convección entre vidrio-ambiente  $\left[ \frac{W}{m^2 * K} \right]$

El coeficiente de transferencia de calor por radiación ( $h_{r,v-a}$ ) entre la cubierta de vidrio y el ambiente exterior está determinado por la siguiente expresión:

$$h_{r,v-a} = \sigma * \epsilon_v * (T_v + T_a) * (T_v^2 + T_a^2) \quad \text{Ec. (36)}$$

El coeficiente de transferencia de calor por convección ( $h_{c,v-a}$ ) entre la cubierta de vidrio y el ambiente exterior está determinado por la siguiente expresión (Duffie & Beckman, 2013):

$$h_{c,v-a} = 5.7 + 3.8 * v \quad \text{Ec. (37)}$$

Donde:

$v$  : Velocidad del viento  $\left[\frac{m}{s}\right]$

Para determinar el coeficiente de transferencia de calor por la parte superior del colector solar ( $U_{sup}$ ), suele usarse ecuaciones empíricas como la de Hottel y Woertz, la cual involucra realizar el cálculo de otras variables adicionales. Para nuestro caso en particular usaremos las siguientes relaciones matemáticas para un colector solar de placa plana de una sola cubierta. (Duffie & Beckman, 2013)

$$U_{sup} = \left( \frac{1}{h_{r,p-v} + h_{c,p-v}} + \frac{1}{h_{r,v-a} + h_{c,v-a}} \right)^{-1} \quad \text{Ec. (38)}$$

Para estimar la temperatura promedio de la cubierta de vidrio ( $T_v$ ) (Travezaño, 2002):

$$T_v = T_p - \frac{U_{sup} * (T_p - T_a)}{h_{r,p-v} + h_{c,p-v}} \quad \text{Ec. (39)}$$

#### 2.4.1.5.3. Coeficiente de transferencia de calor total ( $U_{lat}$ )

Las pérdidas de calor a través de los lados del colector se evalúan aplicando la siguiente ecuación:

$$U_{lat} = \frac{k_{a,lat} * h * P}{e_{a,lat} * A_c} \quad \text{Ec. (40)}$$

Además:

$$P = 2 * (L_{tub} + n_{tub} * W) \quad \text{Ec. (41)}$$

Donde:

$U_{lat}$  : Coef. de transferencia de calor por la parte lateral del colector solar  $\left[\frac{W}{m^2 * K}\right]$

$k_{a,lat}$  : Conductividad del aislante térmico en los lados  $\left[\frac{W}{m * K}\right]$

$e_{a,lat}$  : Espesor del aislante térmico en los lados [m]

h : Altura del colector solar [m]

P : Perímetro del colector solar [m]

#### 2.4.1.6. Eficiencia Térmica del Colector Solar ( $\eta_c$ )

El parámetro básico que caracteriza al colector solar es su eficiencia térmica, que es la relación entre la energía térmica útil y la energía solar incidente. Esta dependerá del diseño del colector, del tiempo de operación y de factores externos tales como las condiciones meteorológicas y la disposición del colector en relación a la tierra. (Montoya, Palo, Cabana, & Soria, 2011)

Las siguientes ecuaciones son las mencionadas según la Norma Técnica Peruana (NTP 399.400, 2001) y expresan la eficiencia del colector solar.

$$\eta_c = \frac{\dot{Q}_{\text{útil}}}{I_{TC} * A_c} \quad \text{Ec. (42)}$$

$$\eta_c = F' * \left[ (\alpha\tau)_c - \frac{U_{LC}}{I_{TC}} * (T_f - T_a) \right] \quad \text{Ec. (43)}$$

$$\eta_c = F_R * \left[ (\alpha\tau)_c - \frac{U_{LC}}{I_{TC}} * (T_{fe} - T_a) \right] \quad \text{Ec. (44)}$$

Donde:

$\eta_c$  : Eficiencia térmica instantánea del colector solar [%]

$T_f$  : Temperatura promedio del fluido en el colector [K]

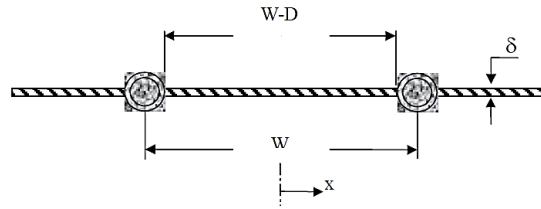
$F'$  : Factor de eficiencia del colector solar [-]

#### 2.4.1.7. Eficiencia de la Placa de Absorción (F)

La siguiente figura muestra la configuración de la placa de absorción dentro del colector solar plano.

### Figura 35

#### Configuración de la Placa de Absorción en un Colector Solar Plano



Fuente: Guevara Vásquez (2003)

La máxima temperatura de la placa en la figura anterior ocurre entre los dos tubos, para  $x=0$ . Se define “F” como la eficiencia geométrica de una superficie plana o eficiencia de la placa de absorción (Duffie & Beckman, 2013).

$$F = \frac{\tanh\left[\frac{c*(W-D)}{2}\right]}{\frac{c*(W-D)}{2}} \quad \text{Ec. (45)}$$

Donde:

F : Eficiencia de la placa de absorción [-]

D : Diámetro exterior de los tubos del colector solar [m]

La eficiencia geométrica (F) varía de acuerdo al parámetro  $\left[\frac{c*(W-D)}{2}\right]$ . Luego se define “c” como:

$$c^2 = \frac{U_{LC}}{k_p * e_p} \quad \text{Ec. (46)}$$

Donde:

$k_p$  : Conductividad térmica de la placa de absorción  $\left[\frac{W}{m*K}\right]$

$e_p$  : Espesor de la placa de absorción [m]

### 2.4.1.8. Factor de Eficiencia del Colector (F')

En este factor el numerador corresponde a la resistencia térmica entre la superficie del colector y el aire ambiente, mientras que el denominador la resistencia térmica entre el fluido y el ambiente. Este factor tiene importancia como un parámetro de diseño.

El factor de eficiencia del colector solar plano está dado por la siguiente expresión (Duffie & Beckman, 2013):

$$F' = \frac{\frac{1}{U_{LC}}}{W * \left\{ \frac{1}{U_{LC} * [D + (W - D) * F]} + \frac{1}{C_b} + \frac{1}{\pi * D_i * h_{c,t-f}} \right\}} \quad \text{Ec. (47)}$$

Donde:

$D_i$  : Diámetro interno de los tubos del colector solar [m]

$C_b$  : Conductancia entre tubo - placa de absorción  $\left[ \frac{W}{K} \right]$ , puede asumirse como un valor grande con lo que  $\frac{1}{C_b} = 0$

Además

$$h_{c,t-f} = \frac{Nu_f * k_f}{D_i} \quad \text{Ec. (48)}$$

$h_{c,t-f}$  : Coeficiente de transf. de calor por convección entre tubo-fluido  $\left[ \frac{W}{m^2 * K} \right]$

$k_f$  : Conductividad térmica del fluido  $\left[ \frac{W}{m * K} \right]$

$Nu_f$  : Número de Nusselt [-]

El número adimensional de Nusselt ( $Nu_f$ ), puede ser determinado mediante los números adimensionales de Grashof ( $Gr_f$ ) y Prandtl ( $Pr_f$ ), o Rayleigh ( $Ra_f$ ) por la siguiente correlación empírica:

$$Nu_f = C * (Gr_f * Pr_f)^n = C * Ra_f^n \quad \text{Ec. (49)}$$

Donde:

$C, n$  : Constantes experimentales  $C=0.54$  y  $n=0.25$  (Cengel & Ghajar, 2011)

El número de Grashof ( $Gr_f$ ) y el número de Prandtl ( $Pr_f$ ) están definidos como:

$$Gr_f = \frac{g \cdot \beta_f \cdot \Delta T_{t-f} \cdot D_i^3}{\nu_f^2} \quad \text{Ec. (50)} \qquad Pr_f = \frac{\nu_f}{\alpha_f} \quad \text{Ec. (51)}$$

Donde:

$\Delta T_{t-f}$  : Diferencia de temperatura entre tubo-fluido [K]

$\beta_f$  : Coeficiente de expansión volumétrica del fluido  $\left[\frac{1}{K}\right]$

$\nu_f$  : Viscosidad cinemática del fluido  $\left[\frac{m^2}{s}\right]$

$\alpha_f$  : Difusividad térmica del fluido  $\left[\frac{m^2}{s}\right]$

$g$  : Aceleración de la gravedad  $\left[\frac{m}{s^2}\right]$

#### 2.4.1.9. Factor de Remoción de Calor ( $F_R$ )

Se define como el parámetro que relaciona el calor de calentamiento que se obtiene efectivamente en el colector, con el que se obtendría si toda la superficie del colector se encontrara a la temperatura del fluido a la entrada (Duffie & Beckman, 2013).

$$F_R = \frac{\dot{m}_c \cdot C_f \cdot (T_{fs} - T_{fe})}{A_c \cdot [S - U_{LC} \cdot (T_{fe} - T_a)]} \quad \text{Ec. (52)}$$

Además

$$S = I_{TC} \cdot (\alpha\tau)_c \quad \text{Ec. (53)}$$

$S$  : Radiación solar incidente sobre la placa de absorción  $\left[\frac{W}{m^2}\right]$

El factor de remoción de calor ( $F_R$ ), en relación con el factor de eficiencia del colector ( $F'$ ) está determinada por la siguiente expresión:

$$F_R = \frac{\dot{m}_c * C_f}{A_c * U_{LC}} * \left[ 1 - e^{-\left[ \frac{A_c * U_{LC} * F'}{\dot{m}_c * C_f} \right]} \right] \quad \text{Ec. (54)}$$

El flujo másico del fluido en el colector solar ( $\dot{m}_c$ ) se puede estimar mediante la siguiente ecuación (Travezaño, 2002):

$$\dot{m}_c = \frac{F' * A_c * U_{LC}}{C_f * \ln \left[ 1 - \frac{U_{LC} * \Delta T_{t-f}}{S - U_{LC} * (T_{fe} - T_a)} \right]} \quad \text{Ec. (55)}$$

#### 2.4.1.10. Temperatura del Fluido

El fluido circula por los tubos del colector a una temperatura diferente a la de la placa de absorción, aunque siempre inferior a ésta ( $T_f < T_p$ ). Se deduce que la temperatura del fluido a la salida de colector solar ( $T_{fs}$ ) está en función a la temperatura de la placa de absorción, la que está dada una vez alcanzado el régimen estacionario por la siguiente expresión (Fauroux & Jagër, 2013):

$$T_{fs} = T_{fe} + \left( 1 - \frac{F_R}{F'} \right) * \frac{\dot{Q}_{\text{útil}}}{A_c * U_{LC} * F_R} \quad \text{Ec. (56)}$$

La temperatura promedio del fluido en el colector solar ( $T_f$ ) se define como la media aritmética de la temperatura del fluido al ingreso y la temperatura del fluido a la salida del colector.

$$T_f = \frac{T_{fe} + T_{fs}}{2} \quad \text{Ec. (57)}$$

Otro indicador interesante de mencionar es la ganancia de temperatura del fluido ( $\Delta T_f$ ), que es la diferencia entre la temperatura del fluido a la salida y la temperatura del fluido a la entrada del colector.

$$\Delta T_f = T_{fs} - T_{fe} \quad \text{Ec. (58)}$$

#### 2.4.1.11. Temperatura de Estancamiento

Cuando el sistema se encuentra en equilibrio se alcanza una variable de diseño, la temperatura de estancamiento ( $T_{est}$ ). A esta temperatura el rendimiento del colector es cero. No hay más transferencia de calor, además ni  $T_p$  ni  $T_{fs}$  aumentan. Su importancia radica en el hecho de que en condiciones de estancamiento (flujo igual a cero), la temperatura que puede alcanzarse en el interior del colector puede sobrepasar el límite de operación de alguna de sus partes: aislantes, empaques, etc.

La temperatura de estancamiento se puede obtener mediante la siguiente expresión:

$$T_{est} = T_a + \frac{S}{U_{LC}} \quad \text{Ec. (59)}$$

Donde:

$T_{est}$  : Temperatura de estancamiento del colector solar [K]

#### 2.4.1.12. Restricciones y Limitaciones

La solución de las ecuaciones planteadas se encuentra dentro de un espacio delimitado por las variables de diseño y por restricciones a las que el modelo estará sometido (Fauroux & Jagër, 2013). Estas restricciones son las siguientes:

- La temperatura del fluido a la salida del colector es mayor que la temperatura a la entrada ( $T_{fs} > T_{fe}$ ).
- La temperatura de la placa de absorción es mayor a la temperatura del fluido a la entrada ( $T_p > T_{fe}$ ).
- El producto ( $I_{TC} * A_c$ ) es mayor que el flujo de calor útil transportado al fluido ( $\dot{Q}_{\text{útil}}$ ).
- El flujo de calor útil transportado al fluido es mayor a cero ( $\dot{Q}_{\text{útil}} > 0$ ).

El valor de las variables es calculado conforme suceden las iteraciones. El no establecer limitaciones resultará en obtener resultados poco realistas o que provoquen algunas divergencias. En base a la experimentación y datos bibliográficos se establecen las siguientes limitaciones (Fauroux & Jagër, 2013):

- El área efectiva para un colector solar es menor a  $2.6 \text{ m}^2$ .
- La longitud del colector solar es menor a 2.2 m.
- La anchura del colector solar es menor a 1.2 m.
- El diámetro y espesor de los tubos del colector no deben ser excesivos.

Podrían agregarse otras limitaciones, teniendo en cuenta que es importante que las mismas sirvan para determinar un mejor panorama para la solución y no tornar el modelo en un sistema irresoluble o rígido, este mismo razonamiento puede ser aplicado a las restricciones.

## **2.4.2. EVALUACIÓN TÉRMICA SOBRE EL ALAMBIQUE SOLAR**

### **2.4.2.1. ALAMBIQUE SOLAR DE DOBLE VERTIENTE**

Es un dispositivo que aprovecha la radiación solar para producir agua pura a partir de agua contaminada o salobre. Su funcionamiento consiste en emplear la energía del sol para calentar el agua contaminada hasta evaporarla y luego condensarla para finalmente ser recolectada y ser consumida.

#### **2.4.2.1.1. Partes Principales**

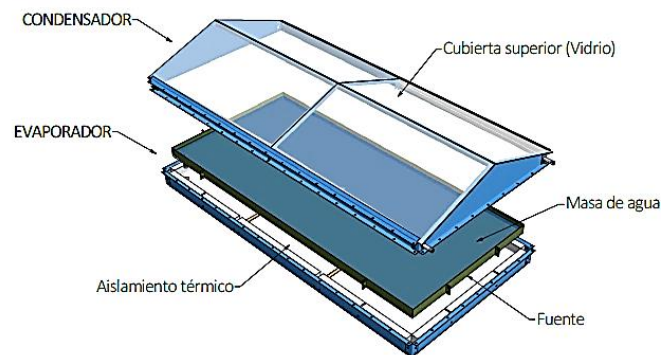
Un alambique solar debe estar diseñado para soportar altas temperaturas y la continua exposición a las condiciones interiores y exteriores a los que está sometido tales como alta humedad, vientos, polvo, lluvia, etc. Sus partes principales son:

**Evaporador:** Consiste en una bandeja o fuente aislada térmicamente, dentro de ella se suministra el agua contaminada a evaporar. La fuente debe soportar altas temperaturas y por lo general debe estar pintada de color negro mate para absorber la radiación solar.

**Condensador:** Consiste en una cubierta superior inclinada normalmente de vidrio, sobre el cual discurren las gotas de agua provenientes del vapor que se condensa interiormente sobre esta superficie.

### Figura 36

#### *Partes Principales de un Alambique Solar de Doble Vertiente*

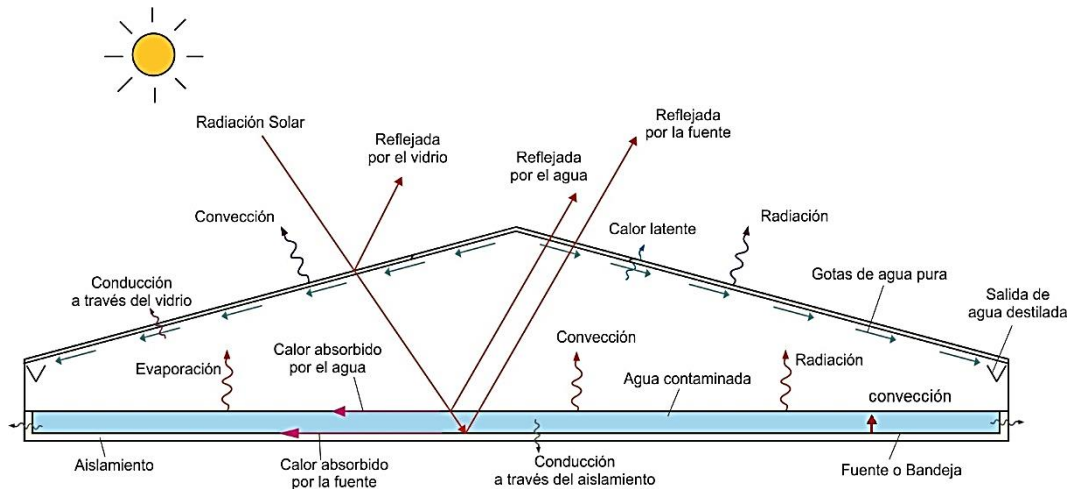


*Fuente: Propia (2022)*

La transferencia de calor en un alambique solar es principalmente clasificada en transferencia interna y externa. Los detalles y mecanismos físicos de transferencia de calor sobre un alambique solar se muestran en la siguiente figura.

**Figura 37**

*Mecanismos de Transferencia de Calor sobre el Alambique Solar*



*Fuente: Elaboración basada en Sampathkumar (2010)*

**2.4.2.2. TRANSFERENCIA DE CALOR INTERNO**

La transferencia de calor interno que ocurre dentro del alambique solar desde la superficie del agua hasta la superficie interna de la cubierta de vidrio, consiste principalmente de evaporación, convección y radiación. Por otra parte, la transferencia de calor entre la fuente y la masa de agua que la ocupa ocurre por convección. Las transferencias de calor por convección y evaporación ocurren simultáneamente y son independientes de la transferencia de calor por radiación.

La razón de transferencia de calor total entre la superficie de agua y la cubierta interna del vidrio se presenta como:

$$\dot{q}_{t,w-g} = \dot{q}_{r,w-g} + \dot{q}_{c,w-g} + \dot{q}_{e,w-g} \quad \text{Ec. (60)}$$

$$\dot{q}_{t,w-g} = h_{t,w-g} * (T_w - T_{gi}) \quad \text{Ec. (61)}$$

Donde:

$\dot{q}_{t,w-g}$  : Flujo de calor total entre agua-vidrio  $\left[ \frac{W}{m^2} \right]$

$\dot{q}_{r,w-g}$  : Flujo de calor por radiación entre agua-vidrio  $\left[\frac{W}{m^2}\right]$

$\dot{q}_{c,w-g}$  : Flujo de calor por convección entre agua-vidrio  $\left[\frac{W}{m^2}\right]$

$\dot{q}_{e,w-g}$  : Flujo de calor por evaporación entre agua-vidrio  $\left[\frac{W}{m^2}\right]$

$h_{t,w-g}$  : Coeficiente de transf. de calor interno total entre agua-vidrio  $\left[\frac{W}{m^2 \cdot K}\right]$

$T_w$  : Temperatura del agua en la fuente [K]

$T_{gi}$  : Temperatura de la superficie interna de la cubierta de vidrio [K]

Coeficiente de transferencia de calor interno total ( $h_{t,w-g}$ ) entre la superficie de agua y la cubierta interna del vidrio está dado por:

$$h_{t,w-g} = h_{r,w-g} + h_{c,w-g} + h_{e,w-g} \quad \text{Ec. (62)}$$

Donde:

$h_{r,w-g}$  : Coeficiente de transferencia de calor por radiación entre agua-vidrio  $\left[\frac{W}{m^2 \cdot K}\right]$

$h_{c,w-g}$  : Coeficiente de transferencia de calor por convección entre agua-vidrio  $\left[\frac{W}{m^2 \cdot K}\right]$

$h_{e,w-g}$  : Coeficiente de transferencia de calor por evaporación entre agua-vidrio  $\left[\frac{W}{m^2 \cdot K}\right]$

#### 2.4.2.2.1. Transferencia de Calor Interno por Radiación

La razón de transferencia de calor por radiación entre el agua y la cubierta de vidrio se presenta como:

$$\dot{q}_{r,w-g} = h_{r,w-g} * (T_w - T_{gi}) \quad \text{Ec. (63)}$$

El coeficiente de transferencia de calor por radiación ( $h_{r,w-g}$ ) entre el agua y la cubierta de vidrio está dado por:

$$h_{r,w-g} = \epsilon_{\text{eff}} * \sigma * \left(\frac{T_w^4 + T_{gi}^4}{T_w + T_{gi}}\right) \quad \text{Ec. (64)}$$

La emisividad efectiva entre el agua y la cubierta de vidrio, se presenta como:

$$\epsilon_{\text{eff}} = \frac{1}{\frac{1}{\epsilon_w} + \frac{1}{\epsilon_g} - 1} \quad \text{Ec. (65)}$$

Donde:

$\epsilon_{\text{eff}}$  : Emisividad efectiva entre el agua-vidrio [-]

$\epsilon_w$  : Emisividad del agua [-]

$\epsilon_g$  : Emisividad del vidrio [-]

$\sigma$  : Constante de Boltzmann  $5.67 * 10^{-8} \left[ \frac{W}{m^2 * K^4} \right]$

#### 2.4.2.2.2. Transferencia de Calor Interno por Convección

Dentro del alambique solar se presenta convección natural en 2 medios. El primero tiene lugar a través del aire húmedo dentro del alambique debido a la diferencia de temperatura entre la superficie del agua y la superficie interna de la cubierta de vidrio, y el segundo ocurre entre la fuente y la masa de agua que la ocupa.

La razón de transferencia de calor por convección entre el agua y la cubierta de vidrio está dada por:

$$\dot{q}_{c,w-g} = h_{c,w-g} * (T_w - T_{gi}) \quad \text{Ec. (66)}$$

El coeficiente de transferencia de calor por convección ( $h_{c,w-g}$ ) depende de la diferencia de temperatura entre la superficie de evaporación y la superficie de condensación, de las propiedades físicas del fluido, características del flujo y la geometría de la cubierta de condensación. Éste se puede determinar por la siguiente expresión (Sampathkumar, 2010):

$$h_{c,w-g} = 0.884 * [\Delta T]^{1/3} \quad \text{Ec. (67)}$$

Además:

$$\Delta T = (T_w - T_{gi}) + \left[ \frac{(P_w - P_{gi}) * T_w}{268.9 * 10^3 - P_w} \right] \quad \text{Ec. (68)}$$

Donde:

$\Delta T$  : Diferencia de temperatura entre superficie de agua - superficie del vidrio [K]

$P_w$  : Presión parcial del vapor a la temperatura  $T_w$  [Pa]

$P_{gi}$  : Presión parcial del vapor a la temperatura  $T_{gi}$  [Pa]

Así mismo:

$$P_w = e^{\left(25.317 - \frac{5144}{T_w}\right)} \quad \text{Ec. (69)} \quad P_{gi} = e^{\left(25.317 - \frac{5144}{T_{gi}}\right)} \quad \text{Ec. (70)}$$

La razón de transferencia de calor por convección entre la fuente y la masa de agua se presenta como:

$$\dot{q}_w = h_w * (T_b - T_w) \quad \text{Ec. (71)}$$

Donde:

$\dot{q}_w$  : Flujo de calor por convección entre fuente-agua  $\left[\frac{W}{m^2}\right]$

$h_w$  : Coeficiente de transferencia de calor por convección entre fuente-agua  $\left[\frac{W}{m^2 * K}\right]$

$T_b$  : Temperatura de la fuente [K]

El coeficiente de transferencia de calor por convección ( $h_w$ ) entre la fuente y la masa de agua está dado por:

$$h_w = \frac{k_w}{x_w} * C * (Gr_w * Pr_w)^n = \frac{k_w}{x_w} * C * (Ra_w)^n \quad \text{Ec. (72)}$$

Donde:

$k_w$  : Conductividad térmica del agua líquida  $\left[\frac{W}{m * K}\right]$

$x_w$  : Profundidad del agua en la fuente [m]

$C, n$  : Constantes experimentales  $C=0.54$  y  $n=0.25$  (Cengel & Ghajar, 2011)

Además, el número de Grashof ( $Gr_w$ ) y el número de Prandtl ( $Pr_w$ ) están definidos como:

$$Gr_w = \frac{g \cdot \beta_w \cdot \Delta T_w \cdot x_w^3}{\nu_w^2} \quad \text{Ec. (73)}$$

$$Pr_w = \frac{\mu_w \cdot C_w}{k_w} \quad \text{Ec. (74)}$$

Donde:

$\Delta T_w$  : Diferencia de temperatura entre fuente-agua [K]

$\beta_w$  : Coeficiente de expansión volumétrica del agua líquida  $\left[\frac{1}{K}\right]$

$\nu_w$  : Viscosidad cinemática del agua líquida  $\left[\frac{m^2}{s}\right]$

$\mu_w$  : Viscosidad dinámica del agua líquida [Pa \* s]

$C_w$  : Calor específico del agua líquida  $\left[\frac{J}{kg \cdot K}\right]$

$g$  : Aceleración de la gravedad  $\left[\frac{m}{s^2}\right]$

#### 2.4.2.2.3. Transferencia de Calor Interno por Evaporación

El desempeño del alambique solar depende de los coeficientes de transferencia de calor por convección y evaporación. La evaporación tiene lugar dentro del alambique solar por la adición de calor en el agua por medio de la radiación solar.

La ecuación general de la razón de transferencia de calor por evaporación entre el agua y la cubierta de vidrio se presenta como:

$$\dot{q}_{e,w-g} = h_{e,w-g} \cdot (T_w - T_{gi}) \quad \text{Ec. (75)}$$

El coeficiente de transferencia de calor por evaporación ( $h_{e,w-g}$ ) entre el agua y la cubierta de vidrio este dado por la siguiente ecuación (Sampathkumar, 2010):

$$h_{e,w-g} = 16.273 \cdot 10^{-3} \cdot h_{c,w-g} \cdot \left(\frac{P_w - P_{gi}}{T_w - T_{gi}}\right) \quad \text{Ec. (76)}$$

### 2.4.2.3. TRANSFERENCIA DE CALOR EXTERNO

La transferencia de calor externo en el alambique solar es gobernada principalmente por los procesos de conducción, convección y radiación, los cuales son independientes entre sí.

#### 2.4.2.3.1. Transferencia de Calor por la Cubierta Superior

El calor es perdido desde la superficie exterior de la cubierta de vidrio hacia la atmosfera. Esto ocurre a través de la convección y radiación. Las temperaturas del vidrio y de la atmosfera están relacionadas con el desempeño del alambique solar. La temperatura de la cubierta de vidrio es asumida como uniforme debido su corto espesor.

La razón de transferencia de calor total perdido sobre la cubierta de vidrio hacia el ambiente está dada por:

$$\dot{q}_{t,g-a} = \dot{q}_{r,g-a} + \dot{q}_{c,g-a} \quad \text{Ec. (77)}$$

$$\dot{q}_{t,g-a} = h_{t,g-a} * (T_{go} - T_a) \quad \text{Ec. (78)}$$

Donde:

$\dot{q}_{t,g-a}$  : Flujo de calor total entre vidrio-ambiente  $\left[\frac{W}{m^2}\right]$

$\dot{q}_{r,g-a}$  : Flujo de calor por radiación entre vidrio-ambiente  $\left[\frac{W}{m^2}\right]$

$\dot{q}_{c,g-a}$  : Flujo de calor por convección entre vidrio-ambiente  $\left[\frac{W}{m^2}\right]$

$h_{t,g-a}$  : Coeficiente de transferencia de calor externo total entre vidrio-ambiente  $\left[\frac{W}{m^2 * K}\right]$

$T_{go}$  : Temperatura de la superficie externa de la cubierta de vidrio [K]

$T_a$  : Temperatura ambiente [K]

El coeficiente de transferencia de calor externo total ( $h_{t,g-a}$ ) entre la cubierta de vidrio y el ambiente está dado por:

$$h_{t,g-a} = h_{r,g-a} + h_{c,g-a} \quad \text{Ec. (79)}$$

Donde:

$h_{r,g-a}$  : Coeficiente de transf. de calor por radiación entre vidrio-ambiente  $\left[\frac{W}{m^2 \cdot K}\right]$

$h_{c,g-a}$  : Coeficiente de transf. de calor por convección entre vidrio- ambiente  $\left[\frac{W}{m^2 \cdot K}\right]$

Una expresión experimental directa para el coeficiente de transferencia de calor total ( $h_{t,g-a}$ ) sobre la cubierta de vidrio en función de la velocidad del viento es la siguiente (Duffie & Beckman, 2013):

$$h_{t,g-a} = 5.7 + 3.8 * v \quad \text{Ec. (80)}$$

Donde:

$v$  : Velocidad del viento  $\left[\frac{m}{s}\right]$

#### 2.4.2.3.1.1. Transferencia de Calor Externo por Radiación

La razón de transferencia de calor por radiación entre la cubierta de vidrio y el ambiente esta expresada como:

$$\dot{q}_{r,g-a} = h_{r,g-a} * (T_{go} - T_a) \quad \text{Ec. (81)}$$

El coeficiente de transferencia de calor por radiación ( $h_{r,g-a}$ ) entre la cubierta de vidrio y el ambiente está dado por:

$$h_{r,g-a} = \varepsilon_g * \sigma * \left( \frac{T_{go}^4 - T_{sky}^4}{T_{go} - T_a} \right) \quad \text{Ec. (82)}$$

Además

$$T_{sky} = T_a - 6 \quad \text{Ec. (83)}$$

$T_{sky}$  : Temperatura del cielo [K]

### 2.4.2.3.1.2. Transferencia de Calor Externo por Convección

La razón de transferencia de calor por convección entre la cubierta de vidrio y el ambiente está expresada como:

$$\dot{q}_{c,g-a} = h_{c,g-a} * (T_{go} - T_a) \quad \text{Ec. (84)}$$

El coeficiente de transferencia de calor por convección ( $h_{c,g-a}$ ) entre la cubierta de vidrio y el ambiente está dado por la siguiente ecuación (Sampathkumar, 2010):

$$h_{c,g-a} = 2.8 + 3.0 * v \quad \text{Ec. (85)}$$

### 2.4.2.3.1.3. Transferencia de Calor Externo por Conducción

Esta forma de transferencia de calor se presenta en la cubierta de vidrio, desde su superficie interior hasta su superficie exterior.

La razón de transferencia de calor por conducción sobre la cubierta de vidrio está dada por la siguiente expresión:

$$\dot{q}_g = \frac{k_g}{L_g} * (T_{gi} - T_{go}) \quad \text{Ec. (86)}$$

Donde:

$\dot{q}_g$  : Flujo de calor por conducción en la cubierta de vidrio  $\left[ \frac{W}{m^2} \right]$

$k_g$  : Conductividad térmica del vidrio  $\left[ \frac{W}{m \cdot K} \right]$

$L_g$  : Espesor de la cubierta de vidrio [m]

De la ecuación anterior resulta adecuado designar al cociente:  $\left( \frac{k_g}{L_g} \right)$  como el coeficiente de transferencia de calor por conducción sobre la cubierta de vidrio.

### 2.4.2.3.2. Transferencia de Calor por los Lados y Parte Inferior

El calor es transferido desde el agua en la fuente hacia la superficie exterior de los lados y la parte inferior del alambique, esto a través del aislamiento térmico por conducción. Luego de la superficie exterior de los lados y la parte inferior del alambique por convección y radiación hacia el ambiente.

#### 2.4.2.3.2.1. Transferencia de Calor Externo por Conducción, Convección y Radiación

La razón de transferencia de calor entre la fuente y el ambiente exterior está expresada como:

$$\dot{q}_b = h_b * (T_b - T_a) \quad \text{Ec. (87)}$$

Donde:

$\dot{q}_b$  : Flujo de calor entre fuente-ambiente  $\left[ \frac{W}{m^2} \right]$

$h_b$  : Coeficiente de transferencia de calor entre fuente-ambiente  $\left[ \frac{W}{m^2 * K} \right]$

El coeficiente de transferencia de calor entre la fuente y el ambiente exterior ( $h_b$ ), representa la conducción en el aislante térmico y su cubierta que la reviste, además, la convección y radiación desde la cubierta del aislante hacia el ambiente exterior. Por lo que está representado de la siguiente manera:

$$h_b = \frac{1}{\frac{L_i}{k_i} + \frac{1}{h_{t,b-a}}} \quad \text{Ec. (88)}$$

Donde:

$L_i$  : Espesor del aislamiento térmico [m]

$k_i$  : Conductividad térmica del aislamiento  $\left[ \frac{W}{m * K} \right]$

$h_{t,b-a}$  : Coeficiente de transf. de calor combinado entre lados y base - ambiente  $\left[ \frac{W}{m^2 * K} \right]$

Las expresiones  $\left(\frac{L_i}{k_i}\right)$  y  $\left(\frac{1}{h_{t,b-a}}\right)$  en el denominador de la ecuación anterior representan las resistencias terminas del aislante y del ambiente exterior respectivamente. Así entonces, la resistencia térmica equivalente  $\left(\frac{L_i}{k_i}\right)$  depende del material usado como aislante térmico y del material de la cubierta que la reviste. Es adecuado mencionar que la relación  $\left(\frac{k_i}{L_i}\right)$  es el coeficiente de transferencia de calor por conducción por la parte inferior y los lados del alambique solar. Por otra parte, la resistencia térmica equivalente  $\left(\frac{1}{h_{t,b-a}}\right)$  incluye convección y radiación desde los lados y la parte inferior del alambique hacia el ambiente exterior. Por lo que el coeficiente de transferencia de calor  $(h_{t,b-a})$  es la suma de los coeficientes de transferencia de calor por convección y radiación entre la superficie exterior de los lados y la parte inferior del alambique para con el ambiente circundante. Esto se expresa como:

$$h_{t,b-a} = h_{c,b-a} + h_{r,b-a} \quad \text{Ec. (89)}$$

Donde:

$h_{c,b-a}$  : Coef. de transf. de calor por convección entre lados y base - ambiente  $\left[\frac{W}{m^2 \cdot K}\right]$

$h_{r,b-a}$  : Coef. de transf. de calor por radiación entre lados y base - ambiente  $\left[\frac{W}{m^2 \cdot K}\right]$

Para evaluar la ecuación anterior es práctico usar la Ec. (80) considerando que la velocidad del viento es cercana a cero ( $v \approx 0$ ) por los lados y la parte inferior del alambique solar. Con lo que el coeficiente de transferencia de calor  $(h_{t,b-a})$  será:

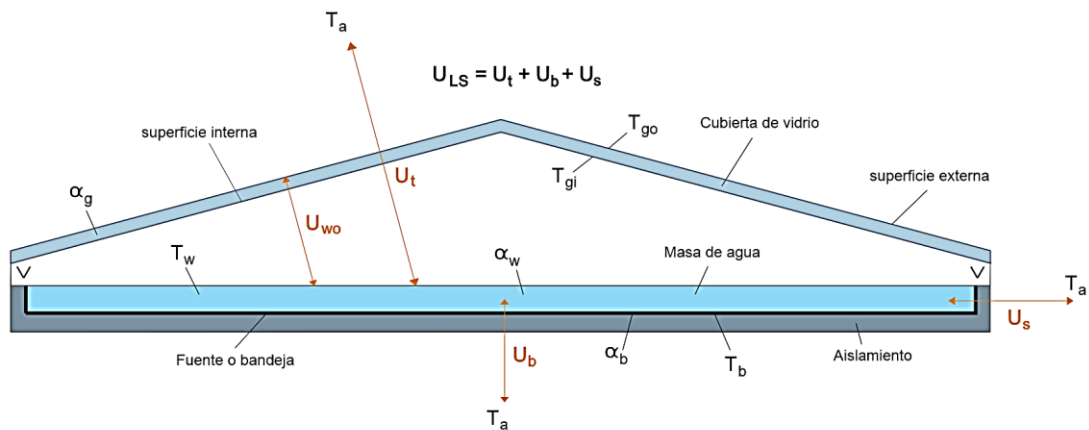
$$h_{t,b-a} = 5.7 \quad \text{Ec. (90)}$$

#### 2.4.2.4. COEFICIENTES DE TRANSFERENCIA DE CALORES TOTALES

Resulta cómodo y adecuado expresar de una forma más resumida lo descrito anteriormente. Esto puede realizarse mediante los coeficientes de transferencia de calores totales, por lo que a continuación los describiremos.

**Figura 38**

*Coefficientes de Transferencia de Calores Totales sobre el Alambique Solar*



*Fuente: Elaboración basada en Sampathkumar (2010)*

##### 2.4.2.4.1. Coeficiente de transferencia de calor total ( $U_{wo}$ )

El coeficiente de transferencia de calor interno total entre el agua y la cubierta de vidrio ( $h_{t,w-g}$ ), y el coeficiente de transferencia de calor por conducción sobre la cubierta de vidrio ( $\frac{k_g}{L_g}$ ) pueden ser expresados como:

$$U_{wo} = \frac{1}{\left(\frac{1}{h_{t,w-g}}\right) + \left(\frac{L_g}{k_g}\right)} = \frac{(h_{t,w-g}) * \left(\frac{k_g}{L_g}\right)}{(h_{t,w-g}) + \left(\frac{k_g}{L_g}\right)} \quad \text{Ec. (91)}$$

Donde:

$U_{wo}$  : Coeficiente de transf. de calor total entre agua-vidrio  $\left[\frac{W}{m^2 * K}\right]$

(Desde la superficie del agua hasta la superficie exterior de la cubierta de vidrio)

De manera similar a lo explicado anteriormente las relaciones  $\left(\frac{1}{h_{t,w-g}}\right)$  y  $\left(\frac{L_g}{k_g}\right)$  representan las resistencias térmicas equivalentes.

#### 2.4.2.4.2. Coeficiente de transferencia de calor total ( $U_t$ )

Coeficiente de transferencia de calor total desde la superficie del agua hasta el ambiente exterior considerando la conducción de calor en la cubierta de vidrio puede ser determinado por la siguiente expresión:

$$U_t = \frac{h_{t,w-g} * h_{t,g-a}}{h_{t,g-a} + U_{wo}} \quad \text{Ec. (92)}$$

Donde:

$U_t$  : Coef. de transf. de calor total por la parte superior entre agua-ambiente  $\left[\frac{W}{m^2 * K}\right]$

(Desde la superficie del agua hasta el ambiente exterior, a través de la cubierta de vidrio)

#### 2.4.2.4.3. Coeficiente de transferencia de calor total ( $U_b$ )

El coeficiente de transferencia de calor por convección entre la masa de agua y la fuente ( $h_w$ ), y el coeficiente de transferencia de calor entre la fuente y el ambiente ( $h_b$ ) pueden ser expresados como:

$$U_b = \frac{1}{\frac{1}{h_w} + \frac{1}{h_b}} = \frac{h_w * h_b}{h_w + h_b} \quad \text{Ec. (93)}$$

Donde:

$U_b$  : Coef. de transf. de calor total por la parte inferior entre agua-ambiente  $\left[\frac{W}{m^2 * K}\right]$

(Desde la masa de agua hasta el ambiente exterior, a través de la parte inferior del alambique)

De manera similar a lo explicado anteriormente las relaciones  $\left(\frac{1}{h_w}\right)$  y  $\left(\frac{1}{h_b}\right)$  representan las resistencias térmicas equivalentes.

#### 2.4.2.4.4. Coeficiente de transferencia de calor total ( $U_s$ )

El coeficiente de transferencia de calor total desde la masa de agua hasta el ambiente exterior pasando por el aislamiento térmico lateral del alambique es expresado como:

$$U_s = \left( \frac{A_{ss}}{A_s} \right) * U_b \quad \text{Ec. (94)}$$

Donde:

$U_s$  : Coef. de transf. de calor total por la parte lateral entre agua-ambiente  $\left[ \frac{W}{m^2 * K} \right]$

(Desde la masa de agua hasta el ambiente exterior, a través de la parte lateral del alambique)

$A_{ss}$  : Área lateral del alambique solar  $[m^2]$

$A_s$  : Área inferior del alambique solar  $[m^2]$

#### 2.4.2.4.5. Coeficiente de Transferencia de Calor Total ( $U_{LS}$ )

Éste representa el coeficiente de transferencia de calor total sobre el alambique solar, desde la parte interior del alambique hasta el ambiente exterior, y está representado por:

$$U_{LS} = U_t + U_b + U_s \quad \text{Ec. (95)}$$

Donde:

$U_{LS}$  : Coeficiente de transf. de calor total para el alambique solar, por la parte superior, inferior y lateral  $\left[ \frac{W}{m^2 * K} \right]$

(Desde la masa de agua hasta el ambiente exterior, a través de la parte superior, parte inferior y lateral del alambique)

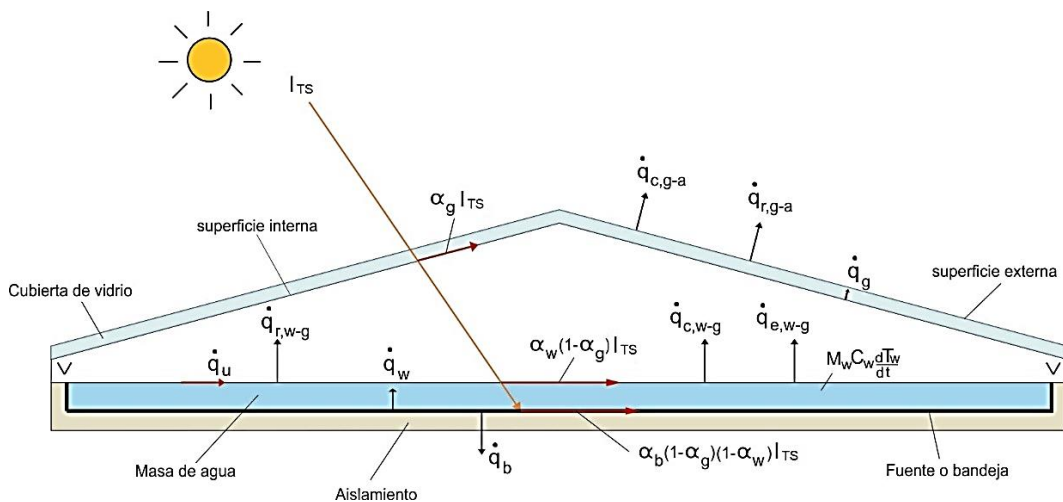
El coeficiente de transferencia de calor total por la parte lateral ( $U_s$ ) podría ser omitido ( $U_s \approx 0$ ), debido a que el área lateral del alambique es muy pequeña comparado con el área inferior ( $A_s \gg A_{ss}$ ).

### 2.4.2.5. MODELO TÉRMICO Y BALANCE DE ENERGÍA

La siguiente figura muestra los principales flujos de energía para el alambique solar de doble vertiente los cuales nos ayudaran a entender los análisis siguientes.

**Figura 39**

*Flujos de Energía presentes en el Alambique Solar*



*Fuente: Elaboración basada en Sampathkumar (2010)*

Los modelos térmicos de los alambiques solares son desarrollados basándose en las ecuaciones de balance de energía. Para esto han sido consideradas las siguientes suposiciones (Sampathkumar, 2010):

- El alambique solar es a prueba de fugas de vapor.
- El nivel del agua en la fuente es mantenida constante.
- La inclinación de la cubierta de vidrio es pequeña.
- No ocurre formación de estratos o capas de sedimento en la fuente.
- La capacidad de almacenamiento de calor en la cubierta de vidrio, la fuente y el aislamiento son despreciables.
- La condensación que ocurre sobre la cubierta de vidrio es tipo película.
- La reflexividad de la cubierta de vidrio es nula.

- Las propiedades del agua a destilar se asumen similares a las propiedades del agua pura.
- No existe un gradiente de temperatura en el agua de la fuente.
- El sistema está bajo una condición de estado cuasi-estable.

A continuación, se presentará la ecuación de balance de energía para los tres componentes principales del alambique solar.

#### **2.4.2.5.1. BALANCE DE ENERGÍA SOBRE LA CUBIERTA DE VIDRIO**

Los investigadores que ocuparon sus estudios en los alambiques solares activos desarrollaron un modelo térmico en base a la suposición que  $T_{gi} \neq T_{go}$ . Esta consideración es tomada para escribir la ecuación de balance de energía sobre la cubierta de vidrio.

La razón de energía solar ganada por la cubierta de vidrio y la razón de energía ganada desde la superficie de agua hasta la cubierta de vidrio por radiación, convección y evaporación, es igual a la razón de energía perdida hacia el aire del exterior.

##### **2.4.2.5.1.1. Sobre la superficie interna de la Cubierta de Vidrio**

$$\alpha_g * I_{TS} + \dot{q}_{r,w-g} + \dot{q}_{c,w-g} + \dot{q}_{e,w-g} = \dot{q}_g \quad \text{Ec. (96)}$$

Donde:

$I_{TS}$  : Radiación solar total sobre la superficie inclinada del alambique solar  $\left[\frac{W}{m^2}\right]$

$\alpha_g$  : Absortividad del vidrio [-]

Reemplazando las ecuaciones (60) y (86) en la ecuación (96), la ecuación de balance de energía en la superficie interna de la cubierta de vidrio será:

$$\alpha_g * I_{TS} + h_{t,w-g} * (T_w - T_{gi}) = \frac{k_g}{L_g} * (T_{gi} - T_{go}) \quad \text{Ec. (97)}$$

Luego de realizar algunos reemplazos y simplificaciones sobre la ecuación anterior, se obtiene la temperatura de la superficie interna de la cubierta de vidrio ( $T_{gi}$ ) (Sampathkumar, 2010):

$$T_{gi} = \frac{\alpha_g * I_{TS} + h_{t,w-g} * T_w + \left(\frac{k_g}{L_g}\right) * T_{go}}{h_{t,w-g} + \left(\frac{k_g}{L_g}\right)} \quad \text{Ec. (98)}$$

#### 2.4.2.5.1.2. Sobre la superficie externa de la Cubierta de Vidrio

$$\dot{q}_g = \dot{q}_{r,g-a} + \dot{q}_{c,g-a} \quad \text{Ec. (99)}$$

Reemplazando las ecuaciones (86) y (77) en la ecuación (99), la ecuación de balance de energía en la superficie externa de la cubierta de vidrio será:

$$\frac{k_g}{L_g} * (T_{gi} - T_{go}) = h_{t,g-a} * (T_{go} - T_a) \quad \text{Ec. (100)}$$

Luego de realizar algunos reemplazos y simplificaciones sobre la ecuación anterior, se obtiene la temperatura de la superficie externa de la cubierta de vidrio ( $T_{go}$ ) (Sampathkumar, 2010):

$$T_{go} = \frac{\alpha_g * I_{TS} * h_k + U_{wo} * T_w + h_{t,g-a} * T_a}{h_{t,g-a} + U_{wo}} \quad \text{Ec. (101)}$$

Además

$$h_k = \frac{\frac{k_g}{L_g}}{h_{t,w-g} + \frac{k_g}{L_g}} \quad \text{Ec. (102)}$$

#### 2.4.2.5.2. BALANCE DE ENERGÍA SOBRE LA FUENTE

La razón de energía absorbida por la fuente es igual a la razón de energía transferida al agua más la razón de energía perdida a través de los lados y la parte inferior del alambique solar. Esto es expresado como:

$$\alpha_b * (1 - \alpha_g) * (1 - \alpha_w) * I_{TS} = \dot{q}_w + \dot{q}_b \quad \text{Ec. (103)}$$

Donde:

$\alpha_b$  : Absortividad de la fuente [-]

$\alpha_w$  : Absortividad del agua [-]

Reemplazando las ecuaciones (71) y (87) en la ecuación (103), la ecuación de balance de energía sobre la fuente será:

$$\alpha_b * (1 - \alpha_g) * (1 - \alpha_w) * I_{TS} = h_w * (T_b - T_w) + h_b * (T_b - T_a) \quad \text{Ec. (104)}$$

Luego de realizar algunos reemplazos y simplificaciones sobre la ecuación anterior, se obtiene la temperatura de la fuente ( $T_b$ ) (Sampathkumar, 2010):

$$T_b = \frac{\alpha_{-b} * I_{TS} + h_w * T_w + h_b * T_a}{h_w + h_b} \quad \text{Ec. (105)}$$

Además

$$\alpha_{-b} = \alpha_b * (1 - \alpha_g) * (1 - \alpha_w) \quad \text{Ec. (106)}$$

#### 2.4.2.5.3. BALANCE DE ENERGÍA SOBRE LA MASA DE AGUA

La razón de energía solar absorbida más la razón de energía recibida por convección desde la fuente, es igual a la razón de energía almacenada más la razón de energía transferida hacia la cubierta de vidrio. En el caso de utilizar un colector solar se deberá añadir la energía térmica adicional ( $\dot{q}_u$ ) en el balance de energía sobre la masa de agua. Esta energía adicional

incrementa la temperatura de la masa agua en el alambique. Por lo que el balance de energía sobre la masa de agua será:

$$\alpha_w * (1 - \alpha_g) * I_{TS} + \dot{q}_w + \dot{q}_u = M_w * C_w * \frac{dT_w}{dt} + \dot{q}_{r,w-g} + \dot{q}_{c,w-g} + \dot{q}_{e,w-g}$$

Ec. (107)

Donde:

$\dot{q}_u$  : Flujo de calor útil ganado por el colector solar  $\left[\frac{W}{m^2}\right]$

$M_w$  : Masa de agua en la fuente [kg]

$C_w$  : Calor específico del agua líquida  $\left[\frac{J}{kg \cdot K}\right]$

$\frac{dT_w}{dt}$  : Razón de cambio de la temperatura del agua en relación al tiempo  $\left[\frac{K}{s}\right]$

Reemplazando las ecuaciones (71) y (60) en la ecuación (107), la ecuación de balance de energía sobre la masa de agua será:

$$\alpha_w * (1 - \alpha_g) * I_{TS} + h_w * (T_b - T_w) + \dot{q}_u = M_w * C_w * \frac{dT_w}{dt} + h_{t,w-g} * (T_w - T_{gi})$$

Ec. (108)

El flujo de calor útil por unidad de área ( $\dot{q}_u$ ) suministrado hacia el alambique solar por medio del colector solar de placa plana (FPC), es determinado por la siguiente expresión:

$$\dot{q}_u = \frac{\dot{Q}_{\text{útil}}}{A_c}$$

Ec. (109)

Donde:

$\dot{Q}_{\text{útil}}$  : Flujo de calor útil transportado al agua por el colector solar [W]

$A_c$  : Área efectiva del colector solar [m<sup>2</sup>]

En base a las ecuaciones de balance de energía mencionadas anteriormente, se determinó una solución analítica aproximada para evaluar la temperatura del agua en la fuente

del alambique ( $T_w$ ), la cual se presenta en forma de ecuación diferencial de la siguiente manera (Sampathkumar, 2010):

$$\frac{dT_w}{dt} + a * T_w = f(t) \quad \text{Ec. (110)}$$

Además

$$a = \frac{U_{eff}}{M_w * C_w} \quad \text{Ec. (111)}$$

$$f(t) = \frac{I_{eff} + U_{eff} * T_a}{M_w * C_w} \quad \text{Ec. (112)}$$

Donde:

$U_{eff}$  : Coeficiente de transferencia de calor total efectivo  $\left[ \frac{W}{m^2 * K} \right]$

$I_{eff}$  : Radiación solar efectiva  $\left[ \frac{W}{m^2} \right]$

El coeficiente de transferencia de calor total efectivo ( $U_{eff}$ ), comprende el coeficiente de transferencia de calor total para el alambique solar ( $U_{LS}$ ) así como para el colector solar ( $U_{LC}$ ) tal como se muestra a continuación:

$$U_{eff} = U_{LS} + N_c * F_R * U_{LC} \quad \text{Ec. (113)}$$

Donde:

$U_{LC}$  : Coeficiente de transferencia de calor total para el colector solar  $\left[ \frac{W}{m^2 * K} \right]$

$F_R$  : Factor de remoción de calor [-]

$N_c$  : Número de colectores solares [-]

La radiación solar efectiva ( $I_{eff}$ ), comprende la radiación solar recibida sobre la cubierta de vidrio del alambique solar ( $I_{TS}$ ) así como la recibida sobre el colector solar ( $I_{TC}$ ) tal como se muestra a continuación:

$$I_{eff} = N_c * F_R * (\alpha\tau)_c * I_{TC} + (\alpha\tau)_{eff} * I_{TS} \quad \text{Ec. (114)}$$

Donde:

$I_{TC}$  : Radiación solar total sobre la superficie inclinada del colector solar  $\left[\frac{W}{m^2}\right]$

$(\alpha\tau)_c$  : Factor por pérdidas ópticas y por absorción [-]

Además

$$(\alpha\tau)_{eff} = \alpha_b * \frac{h_w}{h_w + h_b} + \alpha_w + \alpha_g * \frac{h_{t,w-g}}{h_{t,g-a} + U_{w0}} \quad \text{Ec. (115)}$$

#### 2.4.2.5.3.1. Temperatura de Agua en la Fuente ( $T_w$ )

Con el fin de aproximar una solución a la Ec. (110) se consideró las siguientes suposiciones (Sampathkumar, 2010):

- El intervalo de tiempo  $\Delta t$  ( $0 < t < \Delta t$ ) es pequeño.
- El término “a” es constante durante el intervalo  $\Delta t$ .
- La función  $f(t)$  es constante, es decir  $\overline{f(t)} = f(t)$  para el intervalo de tiempo entre 0 y t.

Tomando en cuenta la condición de frontera: para  $t = 0$ ,  $T_{w(t=0)} = T_{w0}$ , la temperatura del agua en la fuente será siguiente (Sampathkumar, 2010):

$$T_w = \frac{\overline{f(t)}}{a} * (1 - e^{-a*t}) + T_{w0} * e^{-a*t} \quad \text{Ec. (116)}$$

Donde:

$T_{w0}$  : Temperatura del agua en la fuente cuando  $t = 0$ , [K]

t : Tiempo [s]

#### 2.4.2.6. PRODUCCIÓN DE AGUA PURA

La producción de agua pura por hora está determinada por la siguiente ecuación (Sampathkumar, 2010):

$$\dot{m}_{ew} = \frac{A_s * h_{e,w-g} * (T_w - T_{gi})}{L} * 3600 \quad \text{Ec. (117)}$$

Donde:

$\dot{m}_{ew}$  : Masa de agua destilada por hora  $\left[\frac{\text{kg}}{\text{h}}\right]$

L : Calor latente de vaporización del agua  $\left[\frac{\text{J}}{\text{kg}}\right]$

La producción de agua pura diaria será:

$$M_{ew,day} = \dot{m}_{ew} * N_h \quad \text{Ec. (118)}$$

Donde:

$M_{ew,day}$  : Masa de agua destilada por día  $\left[\frac{\text{kg}}{\text{día}}\right]$

$N_h$  : Número de horas sol efectivas por día  $\left[\frac{\text{h}}{\text{día}}\right]$

#### 2.4.2.7. EFICIENCIA TÉRMICA DEL DESTILADOR SOLAR

##### 2.4.2.7.1. Destilador Solar Pasivo

La eficiencia térmica para un destilador solar pasivo está definida como la relación entre la energía necesaria para evaporar el agua contaminada de la fuente y la energía suministrada por el alambique solar (Tiwari, 2008).

$$\eta_{s,pas} = \frac{\dot{m}_{ew} * L}{I_{TS} * A_s * 3600} * 100 \quad \text{Ec. (119)}$$

Donde:

$\eta_{s,pas}$  : Eficiencia térmica instantánea del destilador solar pasivo [%]

##### 2.4.2.7.2. Destilador Solar Activo

La eficiencia térmica para un destilador solar activo está definida como la relación entre la energía necesaria para evaporar el agua contaminada de la fuente y la energía suministrada por el alambique y colector solar (Tiwari, 2008).

$$\eta_{s,act} = \frac{\dot{m}_{ew} * L}{I_{TS} * A_s * 3600 + I_{TC} * A_c * 3600} * 100 \quad \text{Ec. (120)}$$

Donde:

$\eta_{s,act}$  : Eficiencia térmica instantánea del destilador solar activo [%]

#### 2.4.2.8. RESTRICCIONES Y LIMITACIONES

Las relaciones planteadas para la evaluación del destilador solar están sometidas a restricciones y limitaciones aplicadas a las constantes y variables de diseño (Sampathkumar, 2010), estas son:

- El cálculo presentado es independiente de la cavidad o volumen interno del alambique solar, es decir, del espacio encerrado entre la superficie de condensación y de evaporación.
- El cálculo presentado es válido para un flujo de calor ascendente a través de un espacio de aire encerrado, y con la superficie de evaporación y condensación idealmente paralelo.
- La temperatura normal de operación del alambique solar está alrededor de los 50°C y la variable  $\Delta T$  alrededor de los 17°C.
- La jerarquía de temperaturas en condiciones normales de operación debe ser:

$$T_b > T_w > T_{gi} > T_{go} > T_a$$

## CAPÍTULO III

### 3. DISEÑO Y COMPORTAMIENTO TEÓRICO

#### 3.1. DISEÑO

##### 3.1.1. DISTRITO DE MAJES: Datos Geográficos y Meteorológicos

El Distrito de Majes está asentado sobre una pampa costanera de poca inclinación que se origina en la cordillera de la costa peruana y asciende hacia los flancos de la cordillera andina. Su clima en general es árido, semiárido en verano y húmedo en otoño e invierno. Las precipitaciones promedio son de 0.1 L/m<sup>2</sup> que se considera casi despreciable.

La estación meteorológica más cercana es la estación Pampa de Majes la cual nos proporciona los siguientes datos meteorológicos.

**Tabla 6**

*Datos Geográficos y Meteorológicos del Distrito de Majes*

Estación meteorológica: Pampa de Majes	
Distrito	Majes
Provincia	Caylloma
Región	Arequipa
Latitud	16° 20' 8.35" S
Longitud	72° 9' 9.56" O
Altitud	1498 m.s.n.m.
Temperatura promedio	18.2 °C
Temperatura máxima	30.0 °C
Temperatura mínima	5.9 °C
Humedad relativa	49.7%
Velocidad de viento	1.89 m/s
Presión atmosférica	85 kPa

*Nota: Los valores mostrados son los promedios de los últimos doce meses.*

*Fuente: SENAMHI (2022)*

En la zona rural del Distrito de Majes se pueden describir las siguientes tendencias del clima que son normales y regulares durante el año: La presencia de vientos es más intensa en

la tarde y ligera durante la mañana. Predominan áreas desérticas sin asfaltado lo que facilita el arrastre de polvo a causa de los vientos. La presencia de humedad es más intensa alrededor de las áreas de cultivo o parcelas. La sensación de calor es intensa alrededor de la mañana y mediodía con tendencia a disminuir por la tarde; en cambio la sensación de frío es más notoria por la madrugada y desaparece conforme va desarrollando la mañana. Las lluvias son casi nulas durante el año y con mayor probabilidad en los meses de febrero y marzo. La presencia de nubes es regular, aunque entre los meses de mayo a julio se pueden encontrar cielos más despejados.

### 3.1.2. CRITERIOS PARA EL DISEÑO

Los criterios que se deben de tener en consideración para el diseño de un destilador solar involucran a los parámetros y variables que afectan la productividad y el rendimiento del destilador. De estos parámetros y variables no tenemos control sobre algunos y sobre otros sí hasta cierto modo. A continuación, veremos cuáles son estos.

**Parámetros Incontrolables:** Intensidad de radiación solar, velocidad del viento, temperatura ambiente, humedad ambiente y temperatura del agua a la intemperie.

**Parámetros Controlables:** Dimensiones del destilador, materiales de construcción, orientación e inclinación del *alambique* y *colector solar*, profundidad del agua en la fuente, la alimentación del agua contaminada, entre otros.

A continuación, detallaremos un poco más sobre estos parámetros mencionados.

#### 3.1.2.1. Dimensiones

La dimensión del *destilador solar* está determinada por la cantidad de agua pura que se desea conseguir, lo cual es estrictamente dependiente del área del evaporador. Por lógica esto

implica que a mayor superficie del evaporador y de la cubierta del condensador, mayor será la productividad del sistema.

Otros factores importantes a tener en consideración a la hora de establecer una dimensión en el diseño, es considerar la facilidad en la construcción, en el transporte, en la instalación y en el mantenimiento del *destilador solar*. Teniendo en cuenta que no solo el volumen que ocuparan los componentes es importante sino también los pesos de los mismos los cuales dependen de los materiales empleados.

### **3.1.2.2. Materiales de Construcción**

Los materiales a utilizar deben resistir las condiciones exteriores o climáticas del lugar donde va operar el destilador. Además, deben cumplir ciertas propiedades físicas para soportar las condiciones interiores como resistencia a temperaturas elevadas (80°C como mínimo), durabilidad del material, resistencia mecánica. Por otra parte, está el bajo mantenimiento, que estos materiales no sean tóxicos, y que sean relativamente económicos (Hermosillo, 1989).

Algunos materiales que se han usado en la *Estructura y el Evaporador* de prototipos de destiladores son por ejemplo: la lámina de hierro, el acero inoxidable, plástico reforzado con fibra de vidrio, materiales de mampostería, materiales aglomerados, madera, ferrocemento, entre otros.

Los materiales más usados para la *Cubierta del Condensador* son el vidrio y acrílicos, las cuales presentan propiedades interesantes. Por otro lado, el polietileno, polivinilo, y el poliéster son otras alternativas, con la desventaja que son menos resistentes a la radiación solar.

Los *Aislamientos Térmicos* en las partes adecuadas del *destilador solar* son importantes porque mejoran el rendimiento y la producción. Entre los aislamientos más utilizados tenemos

a la espuma de poliuretano y a la lana de vidrio. Otros menos conocidos son: el aserrín, el cartón corrugado, el papel en capas, espumas de tapicería y otros.

Los **Conductos** para transportar el agua contaminada y el agua destilada que pueden utilizarse en la construcción de un *destilador solar* son: tuberías de cobre, tuberías de aceros galvanizados, tuberías inox, tuberías y mangueras de PVC, mangueras de polietileno entre otros.

### **3.1.2.3. Orientación e Inclinación**

La orientación adecuada tanto para el *colector solar* como para el *alambique solar* según los resultados de los prototipos de destiladores solares estudiados es hacia el norte si es que el sistema de destilación se ubica en el hemisferio sur (que es nuestro caso), y hacia el sur si es que este se ubica en el hemisferio norte.

La inclinación adecuada para el *colector solar* según los estudios realizados es la misma o por lo menos cercana a la latitud de la zona donde se ubicará este componente.

En cambio, la inclinación adecuada para el *alambique solar* debe ser cercana a la latitud de la zona donde se ubicará este componente, aunque se debe tomar en cuenta que para que el agua condensada escurra con facilidad sobre las canaletas de recolección y no caiga sobre el evaporador sería idóneo tener la máxima inclinación posible. Sin embargo, experimentalmente algunos autores recomiendan como inclinación óptima para un condensador de vidrio (que es el más usado) ángulos entre 20 y 30° respecto a la horizontal. Otros mencionan que el ángulo mínimo debe ser 12° y el ángulo más indicado de 20°, aunque esto podría variar de acuerdo al tipo de destilador (Hermosillo, 1989).

#### **3.1.2.4. Profundidad del Agua Contaminada**

La profundidad del agua en el evaporador es un parámetro muy importante y de este puede depender mucho la productividad. Se recomienda en base a resultados experimentales profundidades cortas ya que con esto se tiene menores cantidades de agua en la bandeja reduciendo la cantidad de energía y el tiempo que se requiere para calentar esta masa.

#### **3.1.2.5. Alimentación del Agua Contaminada**

Como se mencionó en las limitaciones de la destilación solar, es conveniente que el agua contaminada no esté demasiada contaminada valga la redundancia, ya que esto perjudicaría a la productividad y el mantenimiento. Para evitar esta situación se puede realizar un pre-tratado externo al agua contaminada, lo cual implica separar las partículas más pesadas y ligeras que el agua. Estas partículas pueden ser restos orgánicos, restos vegetales, tierra, insectos, etc.

La alimentación de agua contaminada puede ser discreta, es decir por lotes de agua. Esto puede ser una vez al día o a cada cierto número de días; por otro lado, esto puede resultar algo más trabajoso y aburrido. Esta forma de alimentación es más adecuada para los destiladores pasivos de dimensiones reducidas.

Para evitar la constante alimentación manual del agua contaminada a la bandeja es prefiere usar un mecanismo automático como por ejemplo un flotador de boya, ya sea en el interior del alambique lo cual resulta algo complejo de lograr, o mediante un tanque externo conectado al evaporador por medio tuberías o mangueras usando el principio de vasos comunicantes.

### **3.1.2.6. Separación de Agua Pura y Agua Contaminada**

Como el agua contaminada y el agua destilada coexisten en un mismo ambiente dentro del destilador, en algunos casos puede que estos se mezclen. Si esto ocurriera disminuiría la eficiencia térmica y la productividad del destilador, además que se obtendría un producto contaminado, lo cual puede ser difícil de detectar a simple vista.

De lo mencionado anteriormente es importante que en el diseño de un *destilador solar* se prevea estas situaciones, por lo que se debe evitar que ocurran posibles goteos, escurrimientos, salpicaduras, inundaciones, fugas de vapor u otros procesos que causen la contaminación del agua pura obtenida.

### **3.1.2.7. Sabor del Agua Destilada**

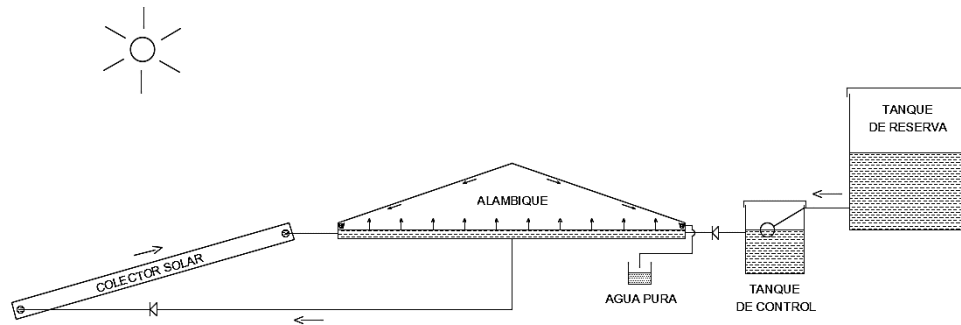
Aunque algunas personas creen que el agua destilada es de mal sabor e im potable, esto es falso en el caso del *destilador solar*. El agua destilada por su alta pureza, es ávida de disolver y absorber diversas sustancias en mayor grado que cuando tiene impurezas. Debido a esta propiedad, es fácil que el agua destilada adquiera el sabor de alguna sustancia o material con la que tenga contacto (canaletas ductos, etc.), estos problemas desaparecen con el tiempo y con el uso del destilador. Vale recordar que el objetivo del *destilador solar* es quitar las sales disueltas y contaminantes del agua, sin embargo, es posible y razonable remineralizar el agua para modificar su sabor, siempre que esta operación no la contamine más allá de ciertos límites (Hermosillo, 1989).

## **3.1.3. SISTEMA DE DESTILACIÓN SOLAR PROPUESTO**

Basándonos en los criterios para el diseño de un *destilador solar*, en las condiciones climáticas para el Distrito de Majes, en los prototipos de destiladores solares de referencia y en criterios propios, presentamos el siguiente esquema de destilación solar que desarrollaremos:

**Figura 40**

*Esquema del Sistema de Destilación Solar Propuesto*



*Fuente: Elaboración basada en Badran (2005)*

El sistema de destilación solar propuesto en esencia comprende un *alambique solar de doble vertiente* y un *colector solar tipo placa plana (FPC)*, un tanque de control de agua para mantener el nivel del mismo, un tanque de reserva para reponer el agua que se ira destilando y bidones o recipientes para almacenar el agua destilada. Estos componentes se revisarán a detalle más adelante.

### 3.1.4. PARÁMETROS DE DISEÑO

#### 3.1.4.1. Parámetros Generales

Para realizar la evaluación térmica en el Colector Solar y en el Alambique Solar tomaremos los siguientes parámetros físicos:

**Tabla 7**

*Parámetros Generales para el Sistema de Destilación Solar*

Descripción	Símbolo	Valores comunes		Referencia
		Valor	Unidad	
Aceleración de la gravedad	g	9.81	m/s <sup>2</sup>	-
Velocidad del viento	v	1.89	m/s	SENAMHI
Temperatura ambiente	Ta	18.2	°C	SENAMHI
Constante de Boltzmann	σ	5.67 x 10 <sup>(-8)</sup>	W/m <sup>2</sup> .K <sup>4</sup>	(Cengel & Ghajar, 2011)

*Fuente: Propia (2022)*

### 3.1.4.2. Parámetros de Diseño para el Colector Solar

**Tabla 8**

*Parámetros de Diseño para el Colector Solar de Placa Plana (FPC)*

Colector Solar de Placa Plana (FPC)				
<b>Dimensiones:</b>				
Descripción	Símbolo	Valor	Unidad	Referencia
Área	Ac	1.30	m <sup>2</sup>	Fabricante
Perímetro	P	4.56	m	Fabricante
Altura	h	0.06	m	Fabricante
Espaciamiento entre placa-cubierta	ι	4.0	cm	Fabricante
Ángulo de inclinación	θc	16	°	Latitud
<b>Cubierta de vidrio:</b>				
Descripción	Símbolo	Valor	Unidad	Referencia
Espesor	-	0.003	m	Fabricante
Emisividad	εv	0.90	-	(Cengel & Ghajar,2011)
Reflectividad difusa	ρd	0.16	-	(Travezaño, 2002)
Transmisividad	τ	0.88	-	(Travezaño, 2002)
<b>Placa de absorción:</b>				
Descripción	Símbolo	Valor	Unidad	Referencia
Absortividad (Pintura negra)	α	0.98	-	(Cengel & Ghajar,2011)
Emisividad (Pintura negra)	εp	0.98	-	(Cengel & Ghajar,2011)
Conductividad (Aluminio)	kp	237	W/mK	(Cengel & Ghajar,2011)
Espesor	ep	0.0003	m	Fabricante
<b>Banco de tubos:</b>				
Descripción	Símbolo	Valor	Unidad	Referencia
Conductividad (Cobre)	-	401	W/mK	(Cengel & Ghajar,2011)
Diámetro nominal (Cobre tipo M)	-	1/4	pulg	Fabricante
Diámetro externo (Cobre tipo M)	D	0.0095	m	Fabricante
Diámetro interno (Cobre tipo M)	Di	0.0083	m	Fabricante
Espesor (Cobre tipo M)	-	0.00064	m	Fabricante
Longitud	L <sub>tub</sub>	1.20	m	Fabricante
Número de tubos	N <sub>tub</sub>	12	-	Fabricante
Separación entre tubos	W	0.09	m	Fabricante
<b>Aislamiento térmico:</b>				
Descripción	Símbolo	Valor	Unidad	Referencia
Conductividad térmica (Lana de vidrio)	ka	0.036	W/mK	(Cengel & Ghajar,2011)
Espesor	ea	0.025	m	Fabricante

*Fuente: Propia (2022)*

### 3.1.4.3. Parámetros de Diseño para el Alambique Solar

**Tabla 9***Parámetros de Diseño para el Alambique Solar*

Alambique Solar				
<b>Dimensiones:</b>				
<b>Descripción</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>	<b>Referencia</b>
Área inferior	As	2.48	m <sup>2</sup>	Diseño
Área lateral	Ass	0.47	m <sup>2</sup>	Diseño
<b>Condensador:</b>				
<b>Descripción</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>	<b>Referencia</b>
Absortividad (Vidrio)	$\alpha_g$	0.05	-	(Tiwari, 2008)
Emisividad (Vidrio)	$\epsilon_g$	0.90	-	(Cengel & Ghajar, 2011)
Conductividad térmica (Vidrio)	kg	0.78	W/mK	(Tiwari, 2008)
Espesor de la cubierta (Vidrio)	Lg	0.003	m	Diseño
<b>Evaporador:</b>				
<b>Descripción</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>	<b>Referencia</b>
Profundidad del agua en la fuente	xw	0.030	m	Diseño
Espesor del aislamiento térmico (Lana de vidrio)	Li	0.050	m	Diseño
Conductividad térmica del aislamiento (Lana de vidrio)	ki	0.036	W/mK	(Cengel & Ghajar, 2011)
Absortividad de la fuente	$\alpha_b$	0.98	-	(Cengel & Ghajar, 2011)
Absortividad del agua	$\alpha_w$	0.60	-	(Dwivedi, 2009)
Emisividad del agua	$\epsilon_w$	0.95	-	(Dwivedi, 2009)

*Fuente: Propia (2022)*

## 3.2 COMPORTAMIENTO TEÓRICO DEL SISTEMA

### 3.2.1. CÁLCULO DE LA IRRADIACIÓN SOLAR TOTAL

Haremos uso de las ecuaciones mencionadas en el capítulo 2 para estimar la irradiación solar sobre el Distrito de Majes. Este flujo de energía incidirá sobre el colector solar de placa plana (FPC) y el Alambique Solar de doble vertiente.

#### 3.2.1.1- Irradiación Solar Total sobre la superficie inclinada del Colector Solar

Las ecuaciones del capítulo 2 involucradas en la estimación de la Irradiación Solar pueden ser resueltas usando el programa EES (Engineering Equation Solver) o mediante Microsoft Excel sin ningún inconveniente. Para ello solo requerimos conocer la latitud de la zona donde se instalará el Colector Solar y la inclinación del mismo.

- Latitud de la zona: 16.34° S (Distrito de Majes)
- Ángulo de inclinación de la cubierta receptora: 16°

En la siguiente tabla se muestra los resultados obtenidos para el día central de cada mes.

En ella se puede apreciar la Irradiación Solar Directa ( $I_{dir,\theta}$ ), la Irradiación Solar Difusa ( $I_{dif,\theta}$ ), la Irradiación Solar Reflejada ( $I_{ref,\theta}$ ) y la Irradiación Solar Total sobre la superficie inclinada del Colector Solar ( $I_{TC}$ ).

**Tabla 10**

*Valores de Irradiación Solar sobre el Colector Solar de Placa Plana (FPC)*

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Unidad
<b>Día</b>	16	14	16	15	16	15	16	16	15	16	15	16	-
<b>n</b>	16	45	75	105	136	166	197	228	258	289	319	350	-
<b><math>\delta</math></b>	-21.10	-13.62	-2.42	9.41	19.03	23.31	21.35	13.45	2.22	-9.97	-19.15	-23.37	°
<b><math>\omega_s</math></b>	83.51	85.93	89.29	92.79	95.80	97.26	96.58	94.02	90.65	87.05	84.16	82.72	°
<b>Nt</b>	11.13	11.46	11.91	12.37	12.77	12.97	12.88	12.54	12.09	11.61	11.22	11.03	h
<b>co</b>	1.032	1.024	1.009	0.992	0.977	0.968	0.968	0.977	0.991	1.009	1.023	1.032	-
<b>t1</b>	7.1	7.3	7.5	7.5	7.7	7.8	7.9	7.7	7.3	6.9	6.7	6.8	h
<b>t2</b>	17.3	17.1	16.8	16.5	16.2	16.2	16.3	16.5	16.5	16.6	16.8	17.1	h
<b>Io</b>	7832	8544	9261	9489	9289	9073	9136	9356	9303	8730	7971	7555	Wh/m <sup>2</sup>
<b>nr</b>	13.0	12.6	12.2	11.7	11.4	11.2	11.3	11.6	12.0	12.5	12.9	13.1	h
<b>I</b>	6299	6767	7209	7252	7009	6799	6869	7115	7189	6879	6386	6104	Wh/m <sup>2</sup>
<b>Kr</b>	0.80	0.79	0.78	0.76	0.75	0.75	0.75	0.76	0.77	0.79	0.80	0.81	-
<b>Idif</b>	1115	1198	1276	1284	1241	1348	1216	1259	1272	1218	1130	1080	Wh/m <sup>2</sup>
<b>Idir</b>	5184	5570	5933	5968	5768	5451	5653	5856	5916	5661	5255	5024	Wh/m <sup>2</sup>
<b>Rb</b>	1.23	1.15	1.06	0.98	0.93	0.90	0.92	0.96	1.03	1.12	1.21	1.26	-
<b>Idir,<math>\theta</math></b>	6375	6402	6282	5865	5352	4930	5173	5617	6078	6324	6341	6323	Wh/m <sup>2</sup>
<b>Idif,<math>\theta</math></b>	1093	1175	1251	1259	1217	1322	1192	1235	1248	1194	1108	1060	Wh/m <sup>2</sup>
<b>Iref,<math>\theta</math></b>	37	39	42	42	41	40	40	41	42	40	37	35	Wh/m <sup>2</sup>
<b>IT</b>	7505	7616	7576	7166	6610	6291	6405	6893	7368	7558	7486	7418	Wh/m <sup>2</sup>
<b>ITC</b>	737	777	807	802	772	750	757	785	801	783	745	721	W/m <sup>2</sup>
						IT.máximo:	7616	Wh/m <sup>2</sup>			ITC.máximo:	807	W/m <sup>2</sup>
						IT.mínimo:	6291	Wh/m <sup>2</sup>			ITC.mínimo:	721	W/m <sup>2</sup>
						IT.promedio:	7158	Wh/m <sup>2</sup>			ITC.promedio:	770	W/m <sup>2</sup>

*Fuente: Propia (2022)*

Del resultado obtenido podemos destacar lo siguiente:

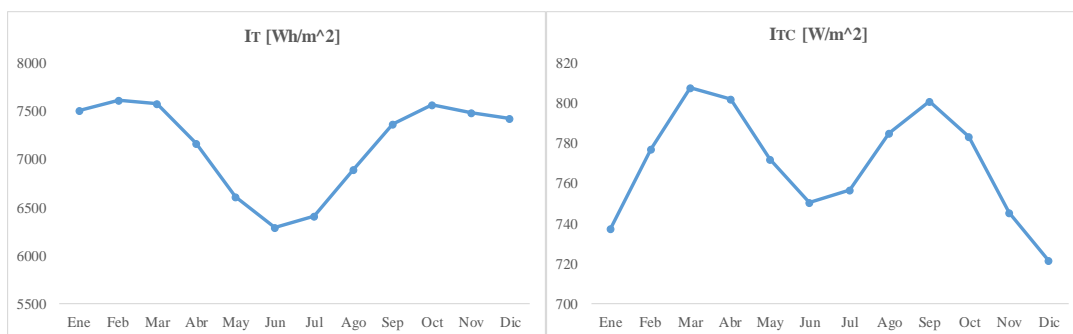
- El máximo nivel de Irradiación Solar Total ( $I_T$ ) es de 7 616 W-h/m<sup>2</sup> que corresponde al mes de febrero.
- El mínimo nivel de Irradiación Solar Total ( $I_T$ ) es de 6 291 W-h/m<sup>2</sup> que corresponde al mes de junio.

- El nivel de Irradiación Solar Total ( $I_T$ ) promedio durante el año es de 7 158 W-h/m<sup>2</sup>. Este valor aproximado es la energía solar captada por el Colector Solar y servirá como referencia para realizar los siguientes cálculos.

La siguiente grafica muestra la variación de la Irradiación Solar Total sobre la superficie inclinada del Colector Solar a lo largo del año. En esta se puede apreciar los valores de radiación máximos y mínimos.

**Figura 41**

*Variación de la Irradiación Solar Total sobre la superficie inclinada del Colector Solar*



*Fuente: Propia (2022)*

El nivel promedio de Irradiación Solar Total es 7 158 W-h/m<sup>2</sup>. Este valor puede interpretarse como la media anual de Irradiación Solar Total sobre una superficie inclinada a 16° respecto a la horizontal.

### 3.2.1.2. Irradiación Solar Total sobre la superficie inclinada del Alambique Solar

Para estimar La Irradiación Solar Total sobre la superficie inclinada del Alambique Solar fijaremos los siguientes parámetros necesarios:

- Latitud de la zona: 16.34° S (Distrito de Majes)
- Ángulo de inclinación de la cubierta receptora: 20°

En la siguiente tabla se muestra los resultados obtenidos para el día central de cada mes.

En ella se puede apreciar la Irradiación Solar Directa ( $I_{dir,\theta}$ ), la Irradiación Solar Difusa ( $I_{dif,\theta}$ ), la Irradiación Solar Reflejada ( $I_{ref,\theta}$ ) y la Irradiación Solar Total sobre la superficie inclinada del Alambique Solar ( $I_{TS}$ ).

**Tabla 11**

*Valores de Irradiación Solar sobre el Alambique Solar*

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Unidad	
<b>Día</b>	16	14	16	15	16	15	16	16	15	16	15	16	-	
<b>n</b>	16	45	75	105	136	166	197	228	258	289	319	350	-	
<b><math>\delta</math></b>	-21.10	-13.62	-2.42	9.41	19.03	23.31	21.35	13.45	2.22	-9.97	-19.15	-23.37	°	
<b><math>\omega_s</math></b>	83.51	85.93	89.29	92.79	95.80	97.26	96.58	94.02	90.65	87.05	84.16	82.72	°	
<b>Nt</b>	11.13	11.46	11.91	12.37	12.77	12.97	12.88	12.54	12.09	11.61	11.22	11.03	h	
<b><math>\epsilon_o</math></b>	1.032	1.024	1.009	0.992	0.977	0.968	0.968	0.977	0.991	1.009	1.023	1.032	-	
<b>t1</b>	7.1	7.3	7.5	7.5	7.7	7.8	7.9	7.7	7.3	6.9	6.7	6.8	h	
<b>t2</b>	17.3	17.1	16.8	16.5	16.2	16.2	16.3	16.5	16.5	16.6	16.8	17.1	h	
<b>Io</b>	7832	8544	9261	9489	9289	9073	9136	9356	9303	8730	7971	7555	Wh/m <sup>2</sup>	
<b>nr</b>	13.0	12.6	12.2	11.7	11.4	11.2	11.3	11.6	12.0	12.5	12.9	13.1	h	
<b>I</b>	6299	6767	7209	7252	7009	6799	6869	7115	7189	6879	6386	6104	Wh/m <sup>2</sup>	
<b>K<sub>r</sub></b>	0.80	0.79	0.78	0.76	0.75	0.75	0.75	0.76	0.77	0.79	0.80	0.81	-	
<b>Idif</b>	1115	1198	1276	1284	1241	1348	1216	1259	1272	1218	1130	1080	Wh/m <sup>2</sup>	
<b>Idir</b>	5184	5570	5933	5968	5768	5451	5653	5856	5916	5661	5255	5024	Wh/m <sup>2</sup>	
<b>Rb</b>	1.27	1.17	1.06	0.97	0.90	0.87	0.88	0.94	1.02	1.13	1.24	1.31	-	
<b>Idir,<math>\theta</math></b>	6599	6535	6294	5767	5182	4738	4988	5487	6045	6414	6538	6574	Wh/m <sup>2</sup>	
<b>Idif,<math>\theta</math></b>	1081	1162	1238	1245	1203	1307	1179	1221	1234	1181	1096	1048	Wh/m <sup>2</sup>	
<b>Iref,<math>\theta</math></b>	57	61	65	66	63	62	62	64	65	62	58	55	Wh/m <sup>2</sup>	
<b>IT</b>	7737	7758	7597	7077	6448	6107	6230	6773	7344	7657	7692	7678	Wh/m <sup>2</sup>	
<b>ITS</b>	760	792	810	792	753	728	736	771	798	794	765	747	W/m <sup>2</sup>	
							IT,máximo:	7758	Wh/m <sup>2</sup>			ITS,máximo:	810	W/m <sup>2</sup>
							IT,mínimo:	6107	Wh/m <sup>2</sup>			ITS,mínimo:	728	W/m <sup>2</sup>
							IT,promedio:	7175	Wh/m <sup>2</sup>			ITS,promedio:	770	W/m <sup>2</sup>

*Fuente: Propia (2022)*

Del resultado obtenido podemos destacar lo siguiente:

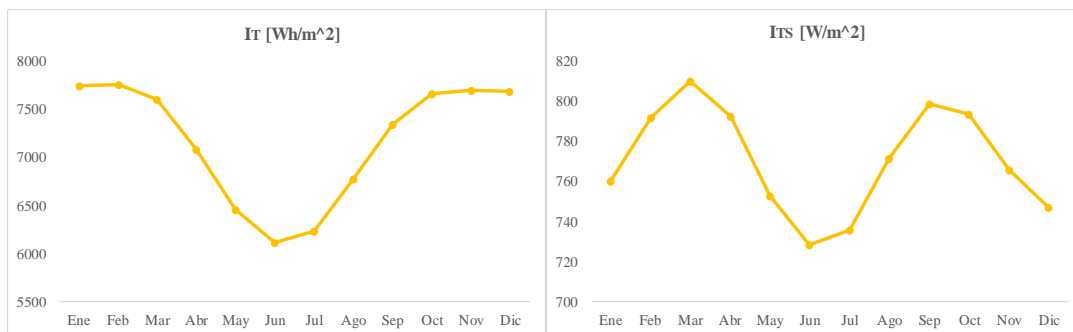
- El máximo nivel de Irradiación Solar Total ( $I_T$ ) es de 7 758 W-h/m<sup>2</sup> que corresponde al mes de febrero.
- El mínimo nivel de Irradiación Solar Total ( $I_T$ ) es de 6 107 W-h/m<sup>2</sup> que corresponde al mes de junio.

- El nivel de Irradiación Solar Total ( $I_T$ ) promedio durante el año es de 7 175 W-h/m<sup>2</sup>. Este valor aproximado es la energía solar captada por el Alambique Solar y servirá como referencia para realizar los siguientes cálculos.

La siguiente grafica muestra la variación de la Irradiación Solar Total sobre la superficie inclinada del Alambique Solar a lo largo del año. En esta se puede apreciar los valores de radiación máximos y mínimos.

**Figura 42**

*Variación de la Irradiación Solar Total sobre la superficie inclinada del Alambique Solar*



*Fuente: Propia (2022)*

El nivel promedio de Irradiación Solar Total es 7 175 W-h/m<sup>2</sup>. Este valor puede interpretarse como la media anual de Irradiación Solar Total sobre una superficie inclinada a 20° respecto a la horizontal.

### 3.2.2. COMPORTAMIENTO DEL COLECTOR SOLAR

Para dar solución a las ecuaciones sobre el colector solar citadas en el Capítulo 2 haremos uso del programa EES (Engineering Equation Solver) y las herramientas que este programa dispone para realizar el análisis respectivo. La programación utilizada se menciona en el Anexo 1.

A partir de las dimensiones del Colector Solar y de las propiedades de los materiales de los que está fabricado se estimará el valor del flujo de calor útil ( $\dot{Q}_{\text{útil}}$ ), el flujo de calor perdido ( $\dot{Q}_{\text{pe}}$ ), el coeficiente de transferencia de calor total de pérdidas ( $U_{LC}$ ), las temperaturas alcanzadas ( $T_{fe}$ ), ( $T_{fs}$ ), ( $T_f$ ), y ( $T_v$ ), el factor de remoción de calor ( $F_R$ ), el factor de eficiencia del colector solar ( $F'$ ) y demás parámetros importantes. Estos valores serán importantes para la evaluación térmica sobre el Alambique Solar.

Para estimar el valor de las variables implicadas en las ecuaciones que gobiernan el comportamiento del Colector Solar se realizó las siguientes asunciones:

**Tabla 12**

*Valores promedio asumidos para la Solución de las Ecuaciones sobre el Colector Solar*

Descripción	Símbolo	Valor	Unidad	Referencia
Temperatura promedio de placa de absorción	$T_p$	45	°C	Medido
Temperatura del fluido a la entrada	$T_{fe}$	25	°C	Medido
Diferencia de temperatura entre tubo-fluido	$\Delta T_{t-f}$	11	K	Medido

*Fuente: Propia (2022)*

Usando la herramienta “*Parametric Table*” del programa EES para establecer un rango estimado a las variables  $T_p$  y  $T_{fe}$  y manteniendo constantes y dentro de su valor promedio las demás variables involucradas se obtiene los siguientes resultados.

**Tabla 13**

*Comportamiento de las variables del Colector Solar en función de la Temperatura de la Placa de Absorción “Tp”*

Tp	Tfe	Tfs	Tf	Tv	Test	Ta	ΔTf	Qutil	Qpe	ULc	Usup	Uinf	Ulat	ηc	F	F'	FR	ṁhc
[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[W]	[W]	[W/m2-K]	[W/m2-K]	[W/m2-K]	[W/m2-K]	[%]				[kg/s]
21	17.0	23.1	20.1	18.9	122.0	18.2	6.1	839.70	23.27	6.41	4.67	1.44	0.30	84.18	0.954	0.929	0.880	0.0167
26	18.7	24.6	21.6	20.3	117.2	18.2	6.0	797.90	65.09	6.73	4.98	1.44	0.30	79.99	0.952	0.927	0.874	0.0163
30	20.3	26.1	23.2	21.7	114.1	18.2	5.8	753.90	109.10	6.94	5.20	1.44	0.30	75.57	0.950	0.926	0.870	0.0160
35	22.0	27.5	24.8	23.2	111.8	18.2	5.5	708.00	155.00	7.12	5.37	1.44	0.30	70.98	0.949	0.925	0.867	0.0156
40	23.7	29.0	26.3	24.8	109.7	18.2	5.3	660.60	202.40	7.28	5.53	1.44	0.30	66.23	0.948	0.924	0.864	0.0152
44	25.3	30.4	27.9	26.4	108.0	18.2	5.0	611.80	251.30	7.42	5.67	1.44	0.30	61.33	0.947	0.923	0.860	0.0149
49	27.0	31.8	29.4	28.0	106.4	18.2	4.8	561.50	301.50	7.55	5.81	1.44	0.30	56.29	0.946	0.923	0.857	0.0145
54	28.7	33.1	30.9	29.8	104.9	18.2	4.4	509.90	353.10	7.68	5.94	1.44	0.30	51.12	0.946	0.922	0.854	0.0141
58	30.3	34.4	32.4	31.5	103.5	18.2	4.1	457.00	406.00	7.81	6.06	1.44	0.30	45.81	0.945	0.921	0.850	0.0137
63	32.0	35.7	33.9	33.3	102.2	18.2	3.7	402.70	460.30	7.93	6.18	1.44	0.30	40.38	0.944	0.921	0.847	0.0133

*Fuente: Resultados EES (2022)*

También analizamos los resultados para el rango de Radiación Solar Total recibida sobre el Colector Solar ( $I_{TC}$ ), estos se aprecian en la siguiente tabla.

**Tabla 14**

*Comportamiento de las variables del Colector Solar en función de la Radiación Solar Total “ITC”*

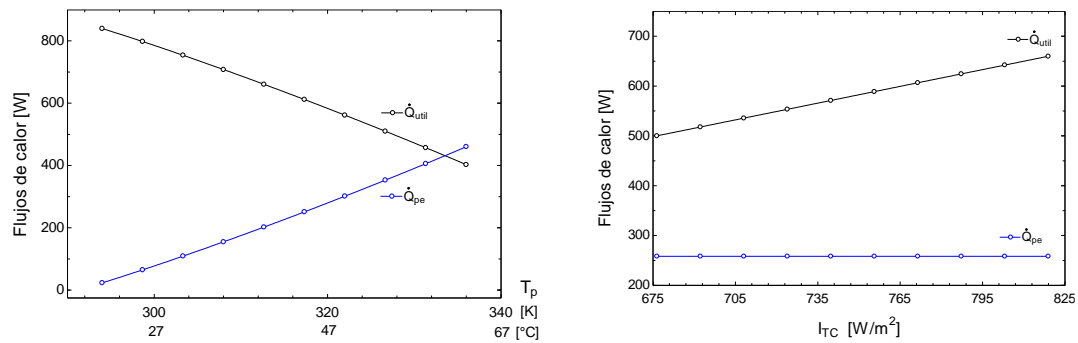
Irc	Tfe	Tfs	Tf	Tp	Tv	Test	Ta	ΔTf	Qutil	Qpe	ULc	Usup	Uinf	Ulat	ηc	F	F'	FR	ṁhc
[W/m2]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[W]	[W]	[W/m2-K]	[W/m2-K]	[W/m2-K]	[W/m2-K]	[%]				[kg/s]
677	17.0	21.3	19.1	45.0	26.6	96.9	18.2	4.3	500.10	258.30	7.44	5.69	1.44	0.30	57.05	0.947	0.918	0.853	0.0143
692	18.7	23.1	20.9	45.0	26.6	98.7	18.2	4.4	517.90	258.30	7.44	5.69	1.44	0.30	57.72	0.947	0.919	0.855	0.0143
708	20.3	24.9	22.6	45.0	26.6	100.6	18.2	4.6	535.60	258.30	7.44	5.69	1.44	0.30	58.37	0.947	0.920	0.856	0.0144
724	22.0	26.7	24.3	45.0	26.6	102.4	18.2	4.7	553.40	258.30	7.44	5.69	1.44	0.30	58.98	0.947	0.921	0.857	0.0144
740	23.7	28.5	26.1	45.0	26.6	104.2	18.2	4.8	571.10	258.30	7.44	5.69	1.44	0.30	59.57	0.947	0.922	0.858	0.0145
756	25.3	30.3	27.8	45.0	26.6	106.1	18.2	5.0	588.90	258.30	7.44	5.69	1.44	0.30	60.13	0.947	0.923	0.859	0.0145
771	27.0	32.1	29.5	45.0	26.6	107.9	18.2	5.1	606.60	258.30	7.44	5.69	1.44	0.30	60.68	0.947	0.924	0.859	0.0146
787	28.7	33.9	31.3	45.0	26.6	109.8	18.2	5.2	624.40	258.30	7.44	5.69	1.44	0.30	61.20	0.947	0.924	0.860	0.0146
803	30.3	35.7	33.0	45.0	26.6	111.6	18.2	5.4	642.10	258.30	7.44	5.69	1.44	0.30	61.69	0.947	0.925	0.861	0.0147
819	32.0	37.5	34.7	45.0	26.6	113.5	18.2	5.5	659.90	258.30	7.44	5.69	1.44	0.30	62.17	0.947	0.926	0.862	0.0147

*Fuente: Resultados EES (2022)*

Usamos la herramienta “Plot Window” del programa EES para interpretar los resultados obtenidos. Las siguientes gráficas muestran el comportamiento de las variables obtenidas en función de la temperatura de la placa de absorción ( $T_p$ ) y de la radiación solar total recibida ( $I_{TC}$ ).

**Figura 43**

Variación de los Flujos de Calor respecto a “ $T_p$ ” (izq.) y “ $I_{TC}$ ” (der.)

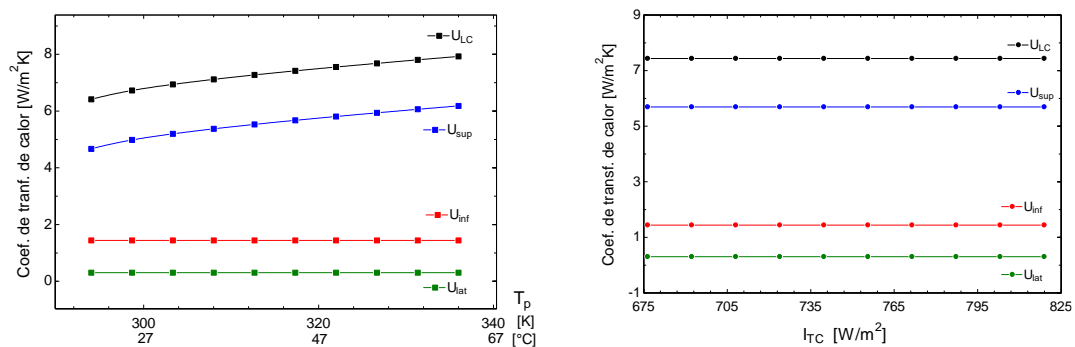


Fuente: Resultados EES (2022)

En la gráfica de la izquierda se puede apreciar que el Flujo de Calor Útil ( $\dot{Q}_{\text{útil}}$ ) disminuye con el incremento de la temperatura de la placa de absorción, mientras que el Flujo de Calor Perdido ( $\dot{Q}_{\text{pe}}$ ) aumenta, en este comportamiento se asume que la radiación solar sobre el Colector Solar se mantiene constante todo el tiempo. En cambio, para la gráfica de la derecha se aprecia que el Flujo de Calor Útil aumenta proporcionalmente con la radiación solar, mientras que el Flujo de Calor Perdido se mantiene constante, este comportamiento es el más lógico de suceder.

**Figura 44**

Variación del Coeficiente de Transferencia de Calor respecto a “ $T_p$ ” (izq.) y “ $I_{TC}$ ” (der.)

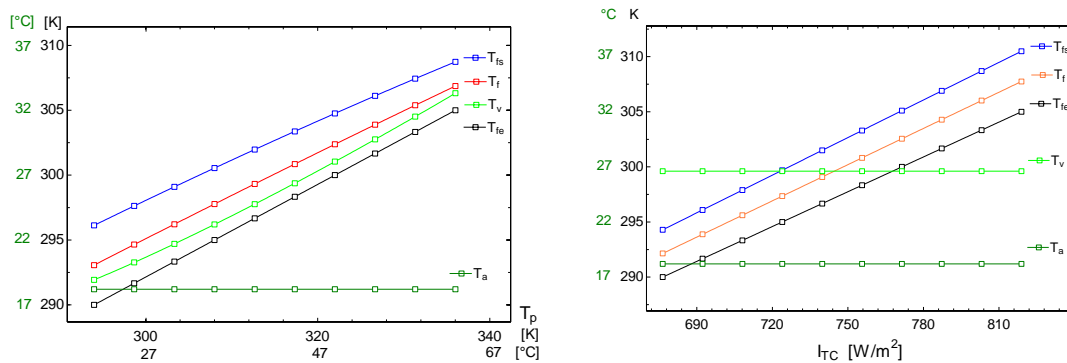


Fuente: Resultados EES (2022)

Los Coeficientes de Transferencia de Calor Perdido ( $U_{lat}$ ) y ( $U_{inf}$ ) tienen un comportamiento constante con la variación de la temperatura de la placa, así como con la variación de la radiación solar, mientras que ( $U_{sup}$ ) y el Coeficiente de Transferencia de Calor Total ( $U_{LC}$ ) se mantienen constantes los el incremento de la radiación solar, pero varían linealmente con el incremento de la temperatura de la placa de absorción. De forma práctica podría decirse que los coeficientes de transferencia de calor permanecen casi constantes.

**Figura 45**

*Variación de Temperaturas Alcanzadas respecto a “ $T_p$ ” (izq.) y “ $I_{TC}$ ” (der.)*

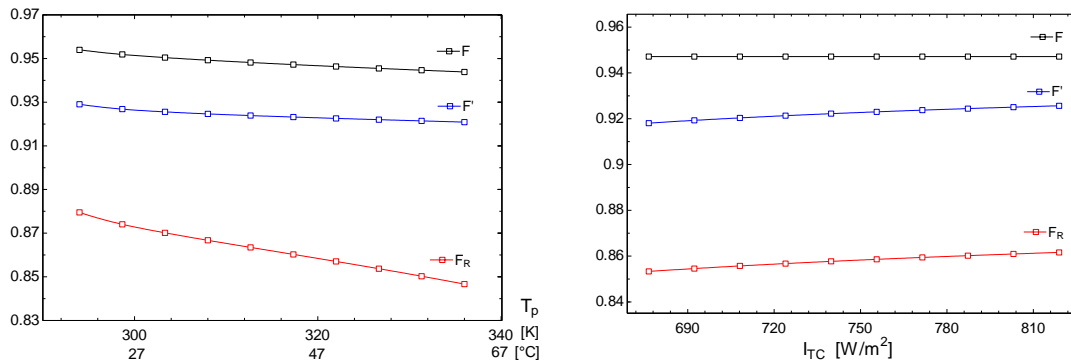


*Fuente: Resultados EES (2022)*

El comportamiento de las Temperaturas Alcanzadas es muy similar en ambas gráficas a excepción de la Temperatura del Vidrio ( $T_v$ ) que varía linealmente con el incremento de la temperatura de la placa de absorción, la cual es la situación más real a suceder; pero se mantiene constante con el incremento de la radiación solar. Debemos tener en cuenta que la Temperatura Ambiente ( $T_a$ ) la asumimos como constante y la Temperatura del Fluido al ingreso del colector ( $T_{fe}$ ) la asumimos con una variación lineal ascendente.

**Figura 46**

Variación de la Eficiencia de la Placa de Absorción, Factor de Eficiencia del Colector y Factor de Remoción de Calor Respecto a “ $T_p$ ” (izq.) y “ $I_{TC}$ ” (der.)

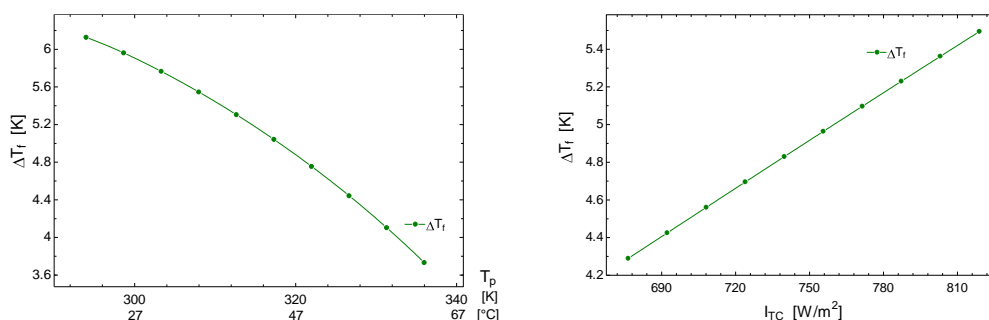


Fuente: Resultados EES (2022)

La Eficiencia de la Placa de Absorción (F), el Factor de Eficiencia del Colector (F') y el Factor de Remoción de Calor ( $F_R$ ) en la gráfica izquierda tienden a disminuir debido a que estas variables son influenciadas por  $U_{LC}$  el cual varía notoriamente con incremento de la temperatura de la placa de absorción como se vio anteriormente. En cambio, estos mismos factores en la gráfica derecha tienden a mantenerse ligeramente constantes a excepción del Factor de Remoción de Calor que tiende a elevarse ligeramente con el incremento de la radiación solar debido a que también este último depende del flujo másico de agua el cual también tiende a aumentar ligeramente con la radiación solar.

**Figura 47**

Variación de la Ganancia de Temperatura respecto a “ $T_p$ ” (izq.) y “ $I_{TC}$ ” (der.)

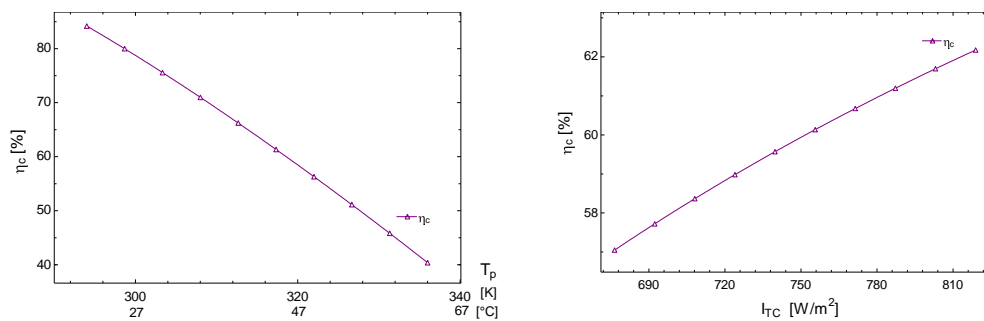


Fuente: Resultados EES (2022)

La Ganancia de Temperatura ( $\Delta T_f$ ) que representa la diferencia entre la temperatura a la salida y entrada del Colector Solar en las gráficas anteriores tienen un comportamiento inverso, a pesar que en ambos casos si existe una ganancia de temperatura como se vio en anteriormente. Lo que podemos declarar con este resultado es que el incremento de temperatura es ligeramente mayor con un incremento de radiación solar que con un incremento de la temperatura de la placa de absorción.

### Figura 48

Variación de la Eficiencia Instantánea del Colector Solar respecto a " $T_p$ " (izq.) y " $I_{TC}$ " (der.)



Fuente: Resultados EES (2022)

La Eficiencia Instantánea del Colector Solar ( $\eta_c$ ) como se puede apreciar en la gráfica izquierda tiende a disminuir con el incremento de la temperatura de la placa de absorción, esto se debe a que al incrementarse esta temperatura también se incrementa el coeficiente de calor perdido ( $U_{LC}$ ) con lo que el calor útil transportado al fluido ( $\dot{Q}_{\text{útil}}$ ) será menor. Por otro lado, se puede afirmar claramente que la Eficiencia del Colector presenta mejores valores con un incremento de la radiación solar como se observa en la gráfica derecha.

### 3.2.3- COMPORTAMIENTO DEL ALAMBIQUE SOLAR

Esta parte a tratar es la más importante que tocaremos. Se analizará la variación de diferentes parámetros involucrados y la efectividad de los materiales usados en la construcción del Alambique Solar propuesto.

En base a las dimensiones para el Alambique Solar, las propiedades de los materiales de los que está fabricado y de los resultados obtenidos de la Evaluación Térmica sobre el Colector Solar se estimará el valor de la Masa de Agua Destilada por día ( $M_{ew,day}$ ), la Eficiencia Térmica Instantánea del Destilador Solar ( $\eta_s$ ), las Temperaturas Alcanzadas y los demás parámetros.

Para estimar el valor de las variables implicadas en las ecuaciones que gobiernan el comportamiento del Alambique Solar se tomó los siguientes valores del Colector Solar.

**Tabla 15**

*Valores y Resultados promedio obtenidos de la Evaluación sobre el Colector Solar*

Valores y resultados tomados del colector solar				
Descripción	Símbolo	Valor	Unidad	Referencia
Área efectiva	Ac	1.30	m <sup>2</sup>	Fabricante
Coef. de transferencia de calor total para el colector solar	ULC	7.44	W/m <sup>2</sup> -K	Cálculo
Factor de remoción de calor	FR	0.86	-	Cálculo
Factor por pérdidas ópticas y por absorción	( $\alpha\tau$ )c	0.87	-	Cálculo

*Fuente: Propia (2022)*

#### 3.2.3.1. Sin utilizar Colector Solar

Usando la herramienta “*Parametric Table*” del programa EES, establecemos un incremento al valor de la Temperatura inicial del Agua en la Fuente ( $T_{w0}$ ) y mantenemos constantes y dentro del valor promedio las demás variables. Luego obtenemos los siguientes resultados.

**Tabla 16**

*Comportamiento de las variables del Destilador Solar en función de la Temperatura del Agua Inicial “ $T_{w0}$ ” para  $N_c=0$*

$T_{w0}$ [°C]	Mew,day [Kg/day]	$\dot{m}_{new}$ [Kg/h]	$\eta_s$ [%]	$T_b$ [°C]	$T_w$ [°C]	$T_{gi}$ [°C]	$T_{go}$ [°C]	$T_a$ [°C]	ULs [W/m2-K]	Ut [W/m2-K]	Ub [W/m2-K]	Us [W/m2-K]
27	0.81	0.09	3.06	27.6	27	22.0	21.7	18.2	6.44	5.68	0.64	0.12
29	1.16	0.12	4.39	29.8	29	23.1	22.7	18.2	6.80	6.04	0.64	0.12
31	1.56	0.17	5.91	32.0	32	24.3	23.9	18.2	7.15	6.39	0.64	0.12
34	2.02	0.22	7.63	34.2	34	25.6	25.1	18.2	7.49	6.73	0.64	0.12
36	2.54	0.27	9.57	36.4	36	27.0	26.4	18.2	7.84	7.08	0.64	0.12
38	3.11	0.33	11.72	38.6	38	28.5	27.9	18.2	8.19	7.43	0.64	0.12
40	3.75	0.40	14.09	40.8	40	30.1	29.4	18.2	8.55	7.79	0.64	0.12
43	4.45	0.48	16.69	43.0	43	31.8	31.0	18.2	8.91	8.15	0.64	0.12
45	5.22	0.56	19.51	45.2	45	33.6	32.7	18.2	9.29	8.53	0.64	0.12
47	6.05	0.65	22.56	47.4	47	35.5	34.5	18.2	9.67	8.91	0.64	0.12

*Fuente: Resultados EES (2022)*

También analizamos los resultados para un rango de Radiación Solar Total recibida sobre el Alambique Solar ( $I_{TS}$ ), asumiendo una Temperatura del Agua en la Fuente ( $T_{w0}$ ) de 40°C. Los resultados se muestran en la siguiente tabla.

**Tabla 17**

*Comportamiento de las variables del Destilador Solar en función de la Radiación Solar Total “ $I_{TS}$ ” para  $N_c=0$*

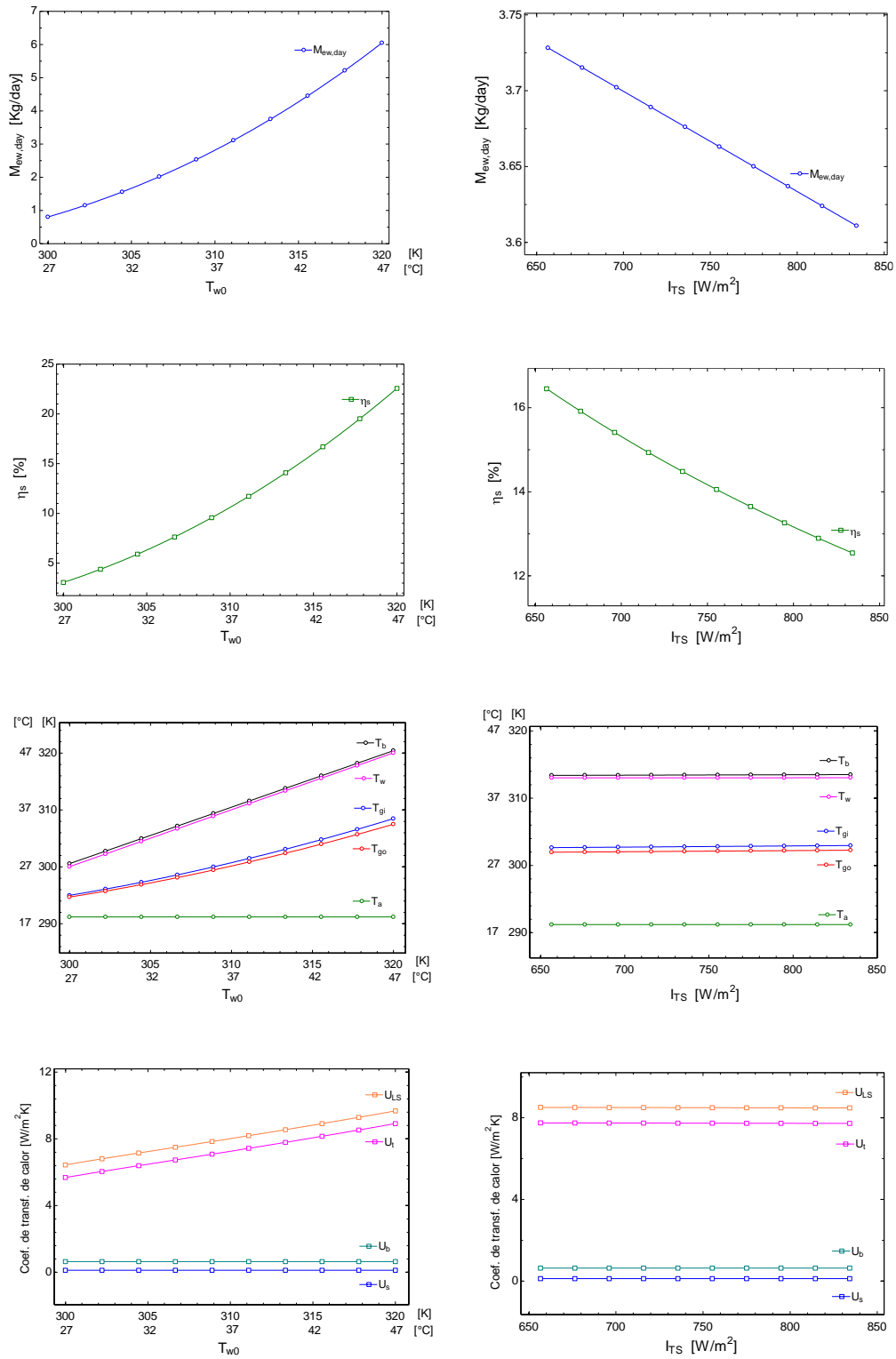
$I_{TS}$ [W/m2]	Mew,day [Kg/day]	$\dot{m}_{new}$ [Kg/h]	$\eta_s$ [%]	$T_b$ [°C]	$T_w$ [°C]	$T_{gi}$ [°C]	$T_{go}$ [°C]	$T_a$ [°C]	ULs [W/m2-K]	Ut [W/m2-K]	Ub [W/m2-K]	Us [W/m2-K]
657	3.73	0.40	16.45	40.4	40.0	29.6	29.0	18.2	8.51	7.75	0.64	0.12
676	3.72	0.40	15.92	40.4	40.0	29.7	29.0	18.2	8.51	7.75	0.64	0.12
696	3.70	0.40	15.41	40.4	40.0	29.7	29.0	18.2	8.50	7.74	0.64	0.12
716	3.69	0.40	14.93	40.4	40.0	29.8	29.1	18.2	8.50	7.74	0.64	0.12
736	3.68	0.40	14.48	40.4	40.0	29.8	29.1	18.2	8.50	7.74	0.64	0.12
755	3.66	0.39	14.05	40.5	40.0	29.8	29.1	18.2	8.50	7.74	0.64	0.12
775	3.65	0.39	13.65	40.5	40.0	29.9	29.2	18.2	8.49	7.73	0.64	0.12
795	3.64	0.39	13.26	40.5	40.0	29.9	29.2	18.2	8.49	7.73	0.64	0.12
815	3.62	0.39	12.89	40.5	40.0	29.9	29.2	18.2	8.49	7.73	0.64	0.12
834	3.61	0.39	12.54	40.5	40.0	30.0	29.3	18.2	8.48	7.72	0.64	0.12

*Fuente: Resultados EES (2022)*

Usamos la herramienta “*Plot Window*” del programa EES para interpretar los resultados obtenidos. Las siguientes gráficas muestran las tendencias de los resultados de las dos tablas anteriores.

### Figura 49

Variación de la Masa de Agua destilada por día, Eficiencia Térmica, Temperaturas Alcanzadas y Coeficientes de Transferencia de Calor respecto a “ $T_{w0}$ ” (izq.) y “ $I_{TS}$ ” (der.) para  $Nc=0$



Fuente: Resultados EES (2022)

Como podemos apreciar en las gráficas de la izquierda la Masa de Agua destilada por día ( $M_{ew,day}$ ) y la Eficiencia Térmica Instantánea del Destilador Solar ( $\eta_s$ ) tienen un comportamiento favorable con el aumento de la Temperatura del Agua en la Fuente ( $T_{w0}$ ); en cambio esto no ocurre con el aumento de la Radiación Solar ( $I_{TS}$ ) donde estas dos variables disminuyen levemente. El comportamiento de las Temperaturas ( $T_{go}$ ), ( $T_{gi}$ ) ( $T_w$ ) y ( $T_b$ ) y el de los Coeficientes de Transferencia de Calor ( $U_{LS}$ ), ( $U_t$ ), ( $U_b$ ) y ( $U_s$ ) con el aumento de la Temperatura inicial de Agua en la Fuente y con el aumento de la Radiación Solar es el esperado en ambos casos, por ser dependientes de la variación de estas dos variables.

Ahora establecemos un incremento al valor de la Profundidad de Agua en la fuente ( $X_w$ ), asumiendo una Temperatura de Agua en la Fuente ( $T_{w0}$ ) de 30°C y manteniendo constantes y dentro de los valores promedio las demás variables. Luego obtenemos los siguientes resultados.

**Tabla 18**

*Comportamiento de las variables del Destilador Solar en función de la Profundidad del Agua en la Fuente “ $X_w$ ” para  $Nc=0$*

$X_w$ [m]	$M_{ew,day}$ [Kg/day]	$m_{new}$ [Kg/h]	$\eta_s$ [%]	$T_b$ [°C]	$T_w$ [°C]	$T_{gi}$ [°C]	$T_{go}$ [°C]	$T_a$ [°C]	$U_{LS}$ [W/m2-K]	$U_t$ [W/m2-K]	$U_b$ [W/m2-K]	$U_s$ [W/m2-K]
0.005	1.324	0.142	5.021	30.5	30.2	23.6	23.2	18.2	6.95	6.19	0.64	0.12
0.012	1.300	0.140	4.932	30.5	30.1	23.5	23.2	18.2	6.93	6.17	0.64	0.12
0.019	1.294	0.139	4.91	30.5	30.1	23.5	23.1	18.2	6.93	6.17	0.64	0.12
0.027	1.292	0.139	4.899	30.5	30.0	23.5	23.1	18.2	6.93	6.17	0.64	0.12
0.034	1.290	0.139	4.893	30.6	30.0	23.5	23.1	18.2	6.92	6.16	0.64	0.12
0.041	1.289	0.139	4.889	30.6	30.0	23.5	23.1	18.2	6.92	6.16	0.64	0.12
0.048	1.288	0.139	4.887	30.6	30.0	23.5	23.1	18.2	6.92	6.16	0.64	0.12
0.056	1.288	0.139	4.885	30.6	30.0	23.5	23.1	18.2	6.92	6.16	0.64	0.12
0.063	1.287	0.138	4.883	30.6	30.0	23.5	23.1	18.2	6.92	6.16	0.64	0.12
0.070	1.287	0.138	4.882	30.6	30.0	23.5	23.1	18.2	6.92	6.16	0.64	0.12

*Fuente: Resultados EES (2022)*

De manera similar incrementaremos el valor del Área de la Fuente ( $A_s$ ), asumiendo una Temperatura de Agua ( $T_{w0}$ ) de 30°C y manteniendo constantes y dentro de los valores promedio las demás variables. Los resultados obtenidos se muestran en la siguiente tabla.

**Tabla 19**

*Comportamiento de las variables del Destilador Solar en función del Área del Alambique Solar “As” para  $N_c=0$*

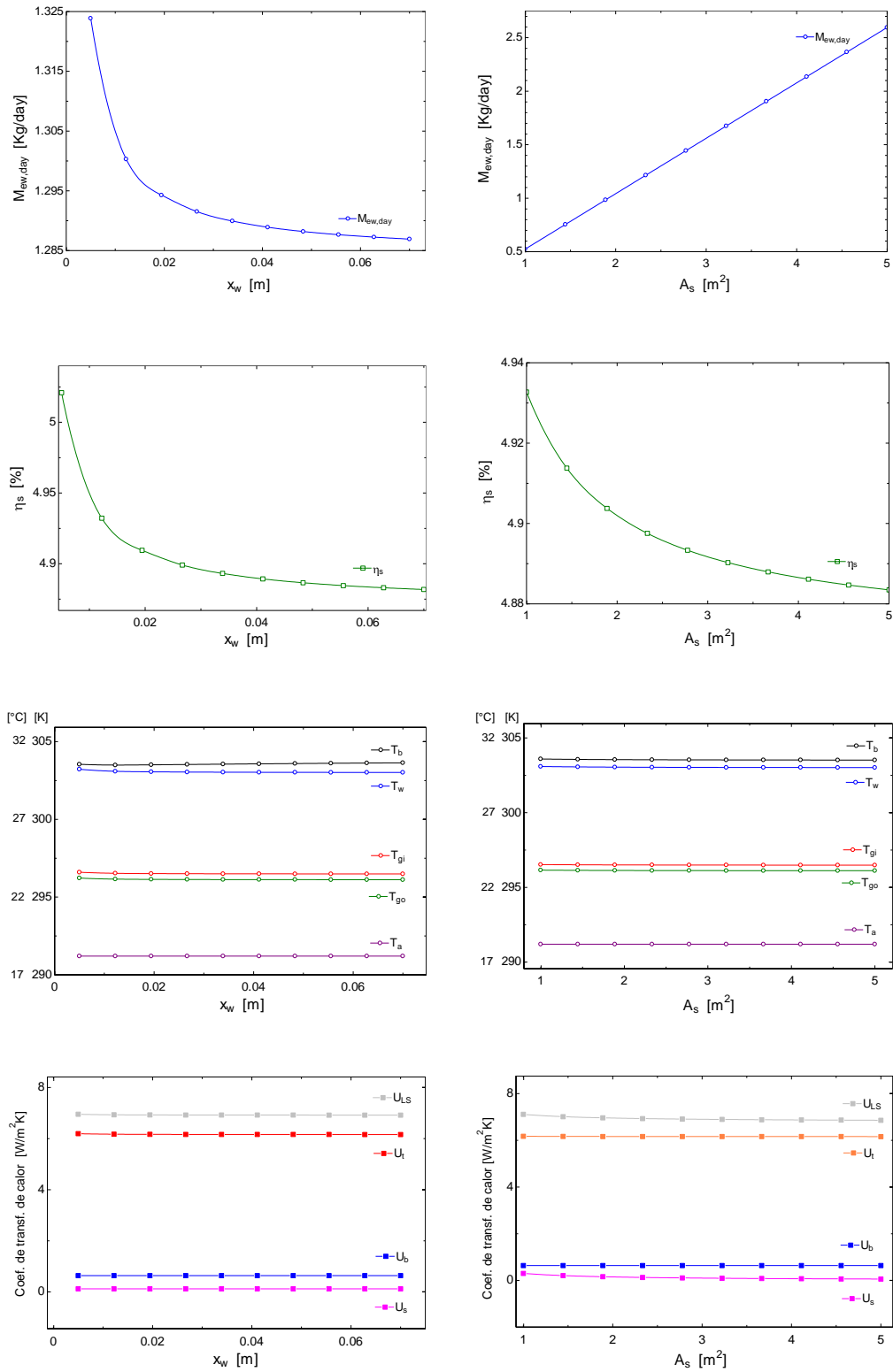
As [m2]	Mew,day [Kg/day]	mnew [Kg/h]	$\eta_s$ [%]	Tb [°C]	Tw [°C]	Tgi [°C]	Tgo [°C]	Ta [°C]	ULs [W/m2-K]	Ut [W/m2-K]	Ub [W/m2-K]	Us [W/m2-K]
1.0	0.52	0.06	4.93	30.6	30.1	23.5	23.2	18.2	7.11	6.17	0.64	0.30
1.4	0.75	0.08	4.91	30.6	30.1	23.5	23.1	18.2	7.02	6.17	0.64	0.21
1.9	0.98	0.11	4.90	30.6	30.0	23.5	23.1	18.2	6.96	6.17	0.64	0.16
2.3	1.22	0.13	4.90	30.5	30.0	23.5	23.1	18.2	6.93	6.17	0.64	0.13
2.8	1.45	0.16	4.89	30.5	30.0	23.5	23.1	18.2	6.91	6.16	0.64	0.11
3.2	1.68	0.18	4.89	30.5	30.0	23.5	23.1	18.2	6.90	6.16	0.64	0.09
3.7	1.91	0.20	4.89	30.5	30.0	23.5	23.1	18.2	6.88	6.16	0.64	0.08
4.1	2.14	0.23	4.89	30.5	30.0	23.5	23.1	18.2	6.87	6.16	0.64	0.07
4.6	2.37	0.25	4.89	30.5	30.0	23.5	23.1	18.2	6.87	6.16	0.64	0.07
5.0	2.60	0.28	4.88	30.5	30.0	23.5	23.1	18.2	6.86	6.16	0.64	0.06

*Fuente: Resultados EES (2022)*

Las siguientes gráficas muestran las tendencias de los resultados de las dos tablas anteriores.

**Figura 50**

Variación de la Masa de Agua destilada por día, Eficiencia Térmica, Temperaturas Alcanzadas y Coeficientes de Transferencia de Calor respecto a “ $X_w$ ” (izq.) y “ $A_s$ ” (der.) para  $Nc=0$



Fuente: Resultados EES (2022)

Como podemos apreciar en las gráficas de la izquierda la Masa de Agua destilada por día ( $M_{ew,day}$ ) y la Eficiencia Térmica Instantánea del Destilador Solar ( $\eta_s$ ) tienen un comportamiento desfavorable con el aumento de la Profundidad de Agua en la Fuente ( $x_w$ ); en cambio esto no ocurre con el aumento del Área Efectiva del Alambique Solar ( $A_S$ ) donde el incremento de esta variable aumenta la producción de agua, pero no ocurre lo mismo con la eficiencia térmica. El comportamiento de las Temperaturas ( $T_{go}$ ), ( $T_{gi}$ ) ( $T_w$ ) y ( $T_b$ ) y el de los Coeficientes de Transferencia de Calor ( $U_{LS}$ ), ( $U_t$ ), ( $U_b$ ) y ( $U_s$ ) con el aumento de la profundidad de agua y el área efectiva del alambique solar es el esperado en ambos casos.

También es importante analizar los resultados en función de la variación de la Velocidad del Viento ( $v$ ) para esto asumiremos una Temperatura del Agua en la Fuente ( $T_{w0}$ ) de 40°C. Los resultados se muestran en la siguiente tabla.

**Tabla 20**

*Comportamiento de las variables del Destilador Solar en función de la Velocidad del Viento “v” para  $Nc=0$*

$v$ [m/s]	$M_{ew,day}$ [Kg/day]	$m_{new}$ [Kg/h]	$\eta_s$ [%]	$T_b$ [°C]	$T_w$ [°C]	$T_{gi}$ [°C]	$T_{go}$ [°C]	$T_a$ [°C]	$U_{LS}$ [W/m <sup>2</sup> -K]	$U_t$ [W/m <sup>2</sup> -K]	$U_b$ [W/m <sup>2</sup> -K]	$U_s$ [W/m <sup>2</sup> -K]
1.0	3.24	0.35	12.16	40.5	40.0	30.9	30.3	18.2	7.78	7.02	0.64	0.12
2.0	3.70	0.40	13.89	40.5	40.0	29.7	29.0	18.2	8.57	7.81	0.64	0.12
3.0	4.07	0.44	15.29	40.5	40.0	28.8	28.0	18.2	9.22	8.46	0.64	0.12
4.0	4.38	0.47	16.43	40.5	40.0	28.0	27.2	18.2	9.75	8.99	0.64	0.12
5.0	4.63	0.50	17.39	40.5	40.0	27.3	26.5	18.2	10.20	9.44	0.64	0.12
6.0	4.84	0.52	18.19	40.5	40.0	26.7	25.8	18.2	10.58	9.82	0.64	0.12
7.0	5.03	0.54	18.88	40.5	40.0	26.2	25.3	18.2	10.90	10.14	0.64	0.12
8.0	5.19	0.56	19.48	40.5	40.0	25.8	24.9	18.2	11.18	10.43	0.64	0.12
9.0	5.33	0.57	20.00	40.5	40.0	25.4	24.4	18.2	11.43	10.67	0.64	0.12
10.0	5.45	0.59	20.46	40.5	40.0	25.1	24.1	18.2	11.65	10.89	0.64	0.12

*Fuente: Resultados EES (2022)*

Por último, veremos las tendencias de las variables en función de la Temperatura Ambiente ( $T_a$ ) para esto asumimos una Temperatura del Agua en la Fuente ( $T_{w0}$ ) de 40°C. Los resultados se muestran en la siguiente tabla.

**Tabla 21***Comportamiento de las variables del Destilador Solar en función de la Temperatura**Ambiente “Ta” para Nc=0*

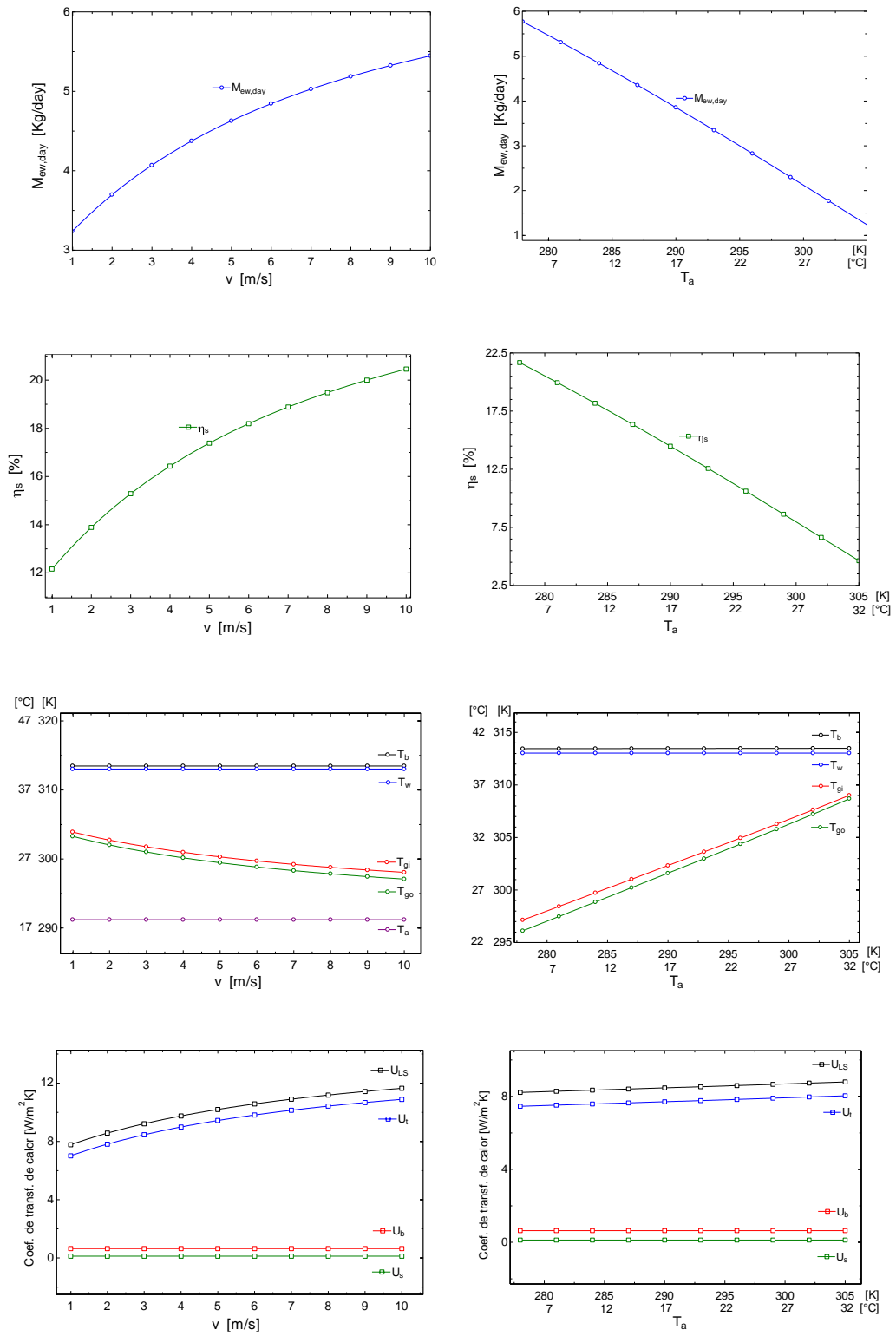
<b>Ta</b>	<b>Mew,day</b>	<b>mew</b>	<b><math>\eta_s</math></b>	<b>Tb</b>	<b>Tw</b>	<b>Tgi</b>	<b>Tgo</b>	<b>Uls</b>	<b>Ut</b>	<b>Ub</b>	<b>Us</b>
[°C]	[Kg/day]	[Kg/h]	[%]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[W/m2-K]	[W/m2-K]	[W/m2-K]	[W/m2-K]
5.0	5.77	0.62	21.68	40.5	40.0	24.1	23.1	8.22	7.46	0.64	0.12
8.0	5.31	0.57	19.95	40.5	40.0	25.4	24.5	8.28	7.52	0.64	0.12
11.0	4.84	0.52	18.17	40.5	40.0	26.7	25.9	8.34	7.58	0.64	0.12
14.0	4.35	0.47	16.35	40.5	40.0	28.0	27.2	8.41	7.65	0.64	0.12
17.0	3.86	0.41	14.48	40.5	40.0	29.3	28.6	8.47	7.71	0.64	0.12
20.0	3.35	0.36	12.57	40.5	40.0	30.6	30.0	8.53	7.77	0.64	0.12
23.0	2.83	0.30	10.62	40.5	40.0	31.9	31.4	8.59	7.83	0.64	0.12
26.0	2.30	0.25	8.63	40.5	40.0	33.3	32.8	8.66	7.90	0.64	0.12
29.0	1.77	0.19	6.63	40.5	40.0	34.6	34.2	8.73	7.97	0.64	0.12
32.0	1.23	0.13	4.63	40.5	40.0	36.0	35.7	8.79	8.03	0.64	0.12

*Fuente: Resultados EES (2022)*

Las siguientes gráficas muestran las tendencias de los resultados de las dos tablas anteriores.

**Figura 51**

Variación de la Masa de Agua destilada por día, Eficiencia Térmica, Temperaturas Alcanzadas y Coeficientes de Transferencia de Calor respecto a “v” (izq.) y “Ta” (der.) para  $Nc=0$



Fuente: Resultados EES (2022)

Como podemos apreciar en las gráficas de la izquierda la Masa de Agua destilada por día ( $M_{ew,day}$ ) y la Eficiencia Térmica Instantánea del Destilador Solar ( $\eta_s$ ) tienen un comportamiento favorable con el aumento de la Velocidad del Viento ( $v$ ); en cambio esto no ocurre con el aumento de la Temperatura Ambiente ( $T_a$ ) donde estas dos variables disminuyen notoriamente. El comportamiento de las Temperaturas ( $T_{go}$ ), ( $T_{gi}$ ) ( $T_w$ ) y ( $T_b$ ) y el de los Coeficientes de Transferencia de Calor ( $U_{LS}$ ), ( $U_t$ ), ( $U_b$ ) y ( $U_s$ ) con el incremento de estas dos variables analizadas es el esperado en ambos casos.

### 3.2.3.2. Utilizando Colector Solar

Para este análisis consideramos el uso de 1 Colector Solar de Placa Plana (FPC) y de manera similar al análisis anterior, establecemos un incremento al valor de la Temperatura inicial del Agua en la Fuente ( $T_{w0}$ ) y mantenemos constantes y dentro del valor promedio las demás variables. Luego obtenemos los siguientes resultados.

**Tabla 22**

*Comportamiento de las variables del Destilador Solar en función de la Temperatura del Agua Inicial “ $T_{w0}$ ” para  $Nc=1$*

$T_{w0}$ [°C]	$M_{ew,day}$ [Kg/day]	$m_{ew}$ [Kg/h]	$\eta_s$ [%]	$T_b$ [°C]	$T_w$ [°C]	$T_{gi}$ [°C]	$T_{go}$ [°C]	$T_a$ [°C]	$U_{LS}$ [W/m2-K]	$U_t$ [W/m2-K]	$U_b$ [W/m2-K]	$U_s$ [W/m2-K]
27	0.81	0.09	2.02	27.6	27.1	22.0	21.7	18.2	6.44	5.68	0.64	0.12
32	1.63	0.18	4.05	32.3	31.8	24.5	24.1	18.2	7.20	6.44	0.64	0.12
37	2.71	0.29	6.70	37.1	36.6	27.4	26.9	18.2	7.95	7.19	0.64	0.12
41	4.06	0.44	10.01	41.8	41.4	30.9	30.1	18.2	8.71	7.95	0.64	0.12
46	5.71	0.61	14.01	46.6	46.2	34.7	33.8	18.2	9.52	8.76	0.64	0.12
51	7.66	0.82	18.69	51.3	50.9	39.0	37.8	18.2	10.37	9.61	0.64	0.12
56	9.89	1.06	24.02	56.1	55.7	43.7	42.2	18.2	11.28	10.52	0.64	0.12
60	12.39	1.33	29.94	60.8	60.5	48.6	46.9	18.2	12.23	11.47	0.64	0.12
65	15.13	1.63	36.38	65.6	65.3	53.9	51.9	18.2	13.25	12.49	0.64	0.12
70	18.08	1.94	43.24	70.3	70.0	59.3	57.0	18.2	14.34	13.58	0.64	0.12

*Fuente: Resultados EES (2022)*

Analizamos la variación de los parámetros físicos utilizando 1 Colector Solar de Placa Plana (FPC) en función de la variación de la Radiación Solar Total recibida sobre el Alambique

Solar ( $I_{TS}$ ) y asumiendo una Temperatura de Agua en la Fuente Inicial ( $T_{w0}$ ) de 60 °C. Los resultados para este caso se muestran en la siguiente tabla.

**Tabla 23**

*Comportamiento de las variables del Destilador Solar en función de Radiación Solar Total “ $I_{TS}$ ” para  $N_c=1$*

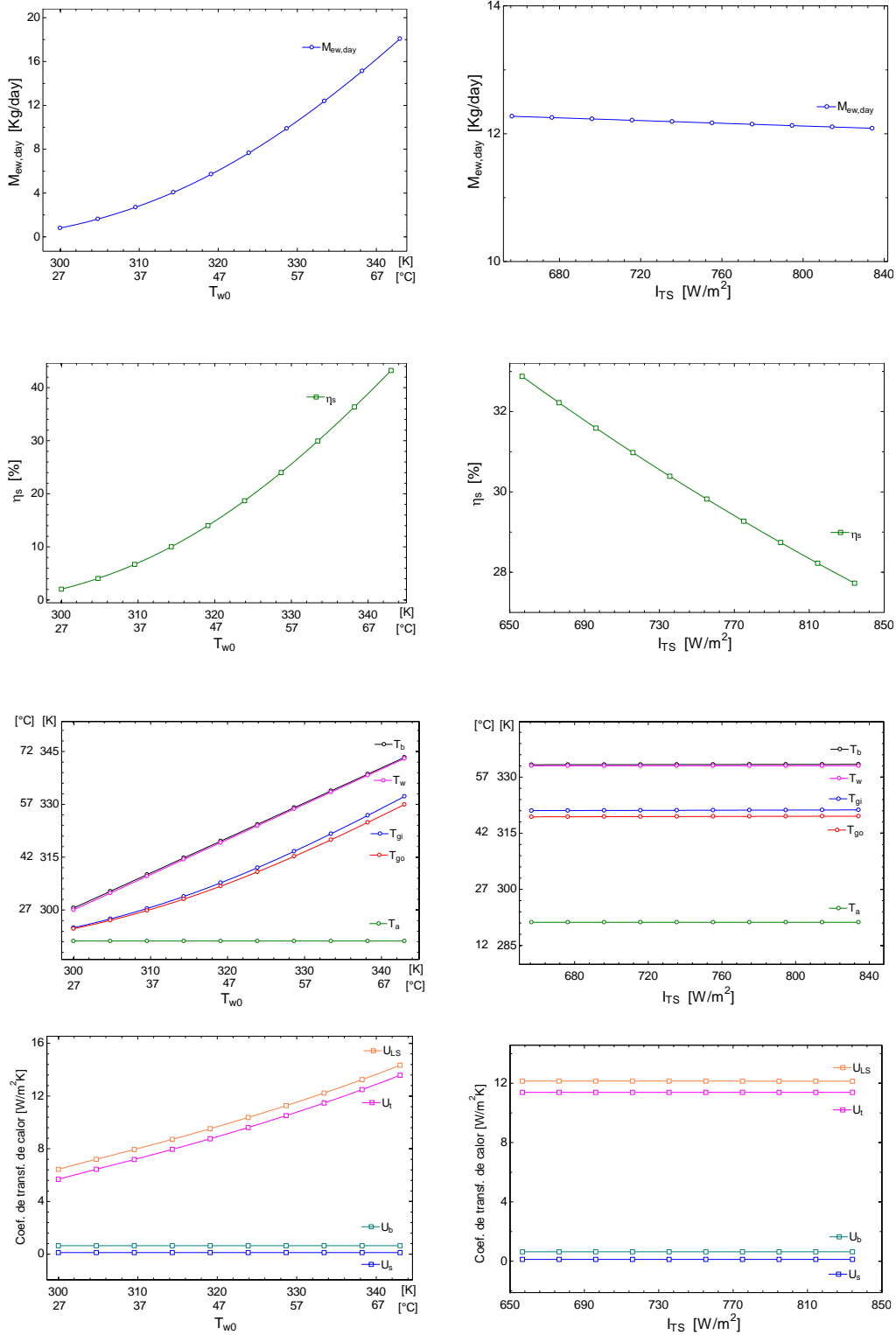
$I_{TS}$ [W/m <sup>2</sup> ]	Mew,day [Kg/day]	m <sub>new</sub> [Kg/h]	$\eta_s$ [%]	T <sub>b</sub> [°C]	T <sub>w</sub> [°C]	T <sub>gi</sub> [°C]	T <sub>go</sub> [°C]	T <sub>a</sub> [°C]	U <sub>LS</sub> [W/m <sup>2</sup> -K]	U <sub>t</sub> [W/m <sup>2</sup> -K]	U <sub>b</sub> [W/m <sup>2</sup> -K]	U <sub>s</sub> [W/m <sup>2</sup> -K]
657	12.27	1.32	32.87	60.3	60.0	48.0	46.4	18.2	12.14	11.38	0.64	0.12
676	12.25	1.32	32.22	60.3	60.0	48.1	46.4	18.2	12.14	11.38	0.64	0.12
696	12.23	1.32	31.59	60.3	60.0	48.1	46.4	18.2	12.14	11.38	0.64	0.12
716	12.21	1.31	30.98	60.3	60.0	48.1	46.4	18.2	12.14	11.38	0.64	0.12
736	12.19	1.31	30.39	60.4	60.0	48.1	46.5	18.2	12.14	11.38	0.64	0.12
755	12.17	1.31	29.82	60.4	60.0	48.1	46.5	18.2	12.14	11.38	0.64	0.12
775	12.15	1.31	29.27	60.4	60.0	48.2	46.5	18.2	12.14	11.38	0.64	0.12
795	12.13	1.30	28.74	60.4	60.0	48.2	46.5	18.2	12.14	11.38	0.64	0.12
815	12.11	1.30	28.23	60.4	60.0	48.2	46.5	18.2	12.14	11.38	0.64	0.12
834	12.08	1.30	27.73	60.4	60.0	48.2	46.6	18.2	12.14	11.38	0.64	0.12

*Fuente: Resultados EES (2022)*

Las siguientes gráficas muestran las tendencias de los resultados de las dos tablas anteriores.

**Figura 52**

Variación de la Masa de Agua destilada por día, Eficiencia Térmica, Temperaturas Alcanzadas y Coeficientes de Transferencia de Calor respecto a " $T_{w0}$ " (izq.) y " $I_{TS}$ " (der.) para  $Nc=1$



Fuente: Resultados EES (2022)

Como podemos apreciar en las gráficas anteriores la variación de las curvas de la Masa de Agua destilada por día ( $M_{ew,day}$ ), Eficiencia Térmica ( $\eta_s$ ), las Temperaturas Alcanzadas ( $T_{go}$ ), ( $T_{gi}$ ) ( $T_w$ ) y ( $T_b$ ) y los Coeficientes de Transferencia de Calor ( $U_{LS}$ ), ( $U_t$ ), ( $U_b$ ) y ( $U_s$ ) respecto a la Temperatura inicial del Agua en la Fuente ( $T_{w0}$ ) con la utilización de 1 colector solar tienden a aumentar con el incremento de la temperatura del agua en la fuente. al igual que los resultados obtenidos sin utilizar colector solar. Respecto a la Radiación Solar Total recibida sobre el Alambique Solar ( $I_{TS}$ ) estas variables tienden a disminuir levemente para el caso de ( $M_{ew,day}$ ) y ( $\eta_s$ ); pero mantenerse constante en el caso de las temperaturas y coeficientes de transferencia de calor.

Analizamos también la variación de los parámetros físicos utilizando 1 Colector Solar de Placa Plana (FPC) en función de la Profundidad del Agua en la Fuente ( $x_w$ ) asumiendo una Temperatura de Agua Inicial ( $T_{w0}$ ) de 60 °C. Los resultados para este caso se muestran en la siguiente tabla.

**Tabla 24**

*Comportamiento de las variables del Destilador Solar en función Profundidad del Agua en la Fuente “ $X_w$ ” para  $Nc=1$*

$x_w$ [m]	$M_{ew,day}$ [Kg/day]	$m_{ew}$ [Kg/h]	$\eta_s$ [%]	$T_b$ [°C]	$T_w$ [°C]	$T_{gi}$ [°C]	$T_{go}$ [°C]	$T_a$ [°C]	$U_{LS}$ [W/m2-K]	$U_t$ [W/m2-K]	$U_b$ [W/m2-K]	$U_s$ [W/m2-K]
0.005	12.24	1.32	29.59	60.4	60.2	48.3	46.7	18.2	12.18	11.42	0.64	0.12
0.012	12.18	1.31	29.43	60.4	60.1	48.2	46.5	18.2	12.15	11.39	0.64	0.12
0.019	12.16	1.31	29.39	60.4	60.1	48.2	46.5	18.2	12.15	11.39	0.64	0.12
0.027	12.15	1.31	29.37	60.4	60.0	48.2	46.5	18.2	12.14	11.38	0.64	0.12
0.034	12.15	1.31	29.36	60.4	60.0	48.2	46.5	18.2	12.14	11.38	0.64	0.12
0.041	12.15	1.31	29.36	60.4	60.0	48.2	46.5	18.2	12.14	11.38	0.64	0.12
0.048	12.14	1.31	29.35	60.4	60.0	48.2	46.5	18.2	12.14	11.38	0.64	0.12
0.056	12.14	1.31	29.35	60.4	60.0	48.1	46.5	18.2	12.14	11.38	0.64	0.12
0.063	12.14	1.31	29.34	60.4	60.0	48.1	46.5	18.2	12.14	11.38	0.64	0.12
0.070	12.14	1.31	29.34	60.4	60.0	48.1	46.5	18.2	12.14	11.38	0.64	0.12

*Fuente: Resultados EES (2022)*

Analizamos también la variación de los parámetros físicos utilizando 1 Colector Solar de Placa Plana (FPC) en función del Área Efectiva del Alambique Solar ( $A_S$ ) asumiendo una Temperatura de Agua Inicial ( $T_{w0}$ ) de 60 °C. Los resultados para este caso se muestran en la siguiente tabla.

**Tabla 25**

*Comportamiento de las variables del Destilador Solar en función del Área Efectiva del Alambique Solar “As” para  $N_c=1$*

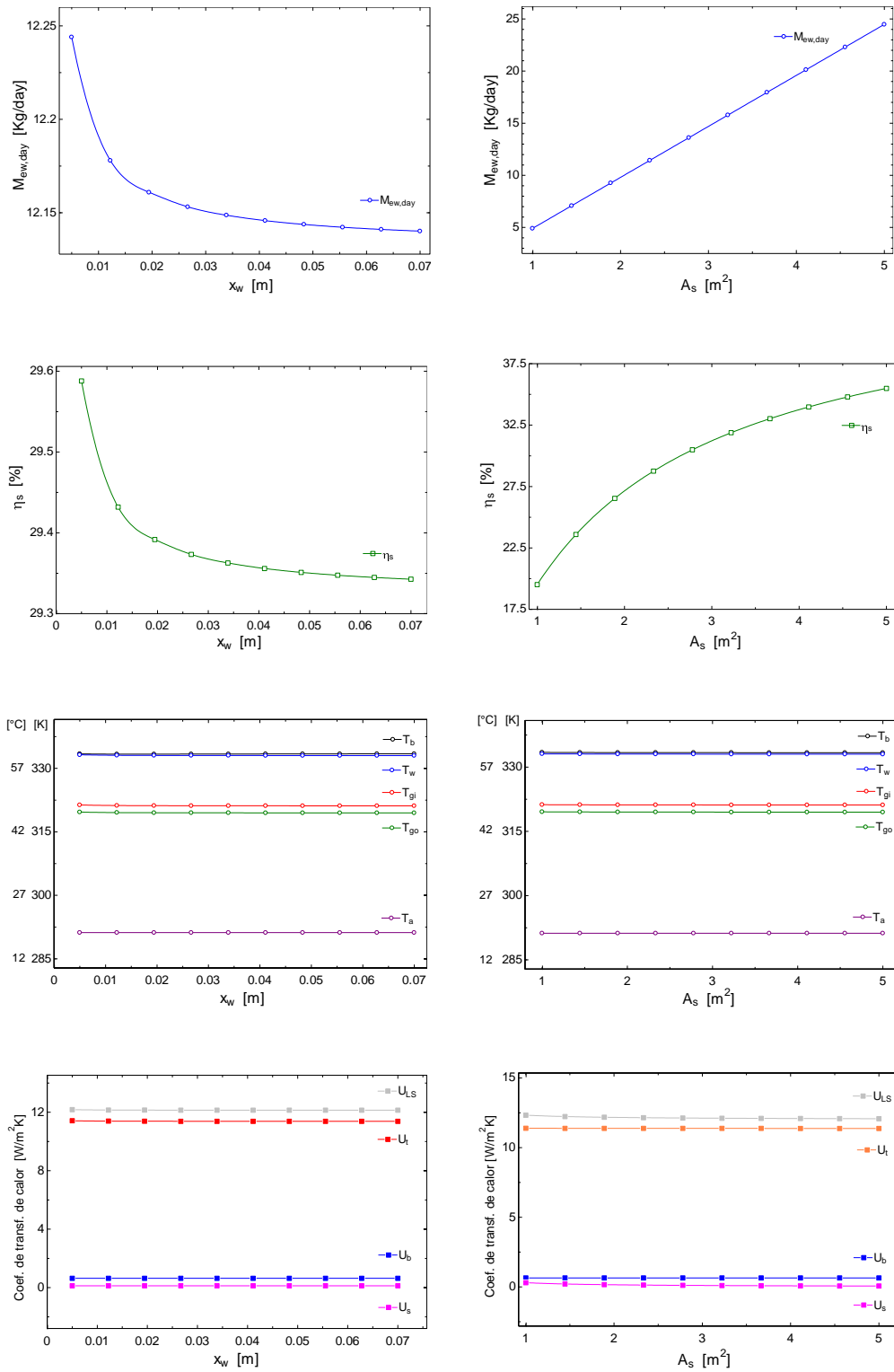
As	Mew,day	m <sub>new</sub>	η <sub>s</sub>	T <sub>b</sub>	T <sub>w</sub>	T <sub>gi</sub>	T <sub>go</sub>	T <sub>a</sub>	U <sub>LS</sub>	U <sub>t</sub>	U <sub>b</sub>	U <sub>s</sub>
[m <sup>2</sup> ]	[Kg/day]	[Kg/h]	[%]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[W/m <sup>2</sup> -K]	[W/m <sup>2</sup> -K]	[W/m <sup>2</sup> -K]	[W/m <sup>2</sup> -K]
1.0	4.91	0.53	19.51	60.4	60.1	48.2	46.5	18.2	12.33	11.39	0.64	0.30
1.4	7.09	0.76	23.59	60.4	60.1	48.2	46.5	18.2	12.23	11.39	0.64	0.21
1.9	9.26	1.00	26.53	60.4	60.0	48.2	46.5	18.2	12.18	11.38	0.64	0.16
2.3	11.43	1.23	28.75	60.4	60.0	48.2	46.5	18.2	12.15	11.38	0.64	0.13
2.8	13.61	1.46	30.49	60.4	60.0	48.2	46.5	18.2	12.13	11.38	0.64	0.11
3.2	15.78	1.70	31.88	60.4	60.0	48.2	46.5	18.2	12.11	11.38	0.64	0.09
3.7	17.96	1.93	33.02	60.4	60.0	48.2	46.5	18.2	12.10	11.38	0.64	0.08
4.1	20.13	2.17	33.98	60.4	60.0	48.2	46.5	18.2	12.09	11.38	0.64	0.07
4.6	22.30	2.40	34.79	60.4	60.0	48.1	46.5	18.2	12.08	11.38	0.64	0.07
5.0	24.48	2.63	35.49	60.4	60.0	48.1	46.5	18.2	12.08	11.38	0.64	0.06

*Fuente: Resultados EES (2022)*

Las siguientes gráficas muestran las tendencias de los resultados de las dos tablas anteriores.

**Figura 53**

Variación de la Masa de Agua destilada por día, Eficiencia Térmica, Temperaturas Alcanzadas y Coeficientes de Transferencia de Calor respecto a “ $X_w$ ” (izq.) y “ $A_s$ ” (der.) para  $Nc=1$



Fuente: Resultados EES (2022)

Como podemos apreciar en las gráficas anteriores la variación de las curvas de Masa de Agua destilada por día ( $M_{ew,day}$ ), Eficiencia Térmica ( $\eta_s$ ), las Temperaturas Alcanzadas ( $T_{go}$ ), ( $T_{gi}$ ) ( $T_w$ ) y ( $T_b$ ) y los Coeficientes de Transferencia de Calor ( $U_{LS}$ ), ( $U_t$ ), ( $U_b$ ) y ( $U_s$ ) respecto a la Profundidad del Agua en la Fuente ( $x_w$ ) tienen comportamientos similares a los obtenidos sin utilizar Colector Solar. Respecto al Área Efectiva del Alambique Solar ( $A_S$ ) estas variables tienden a aumentar para el caso de ( $M_{ew,day}$ ) y ( $\eta_s$ ), pero mantenerse constante en el caso de las temperaturas y coeficientes de transferencia de calor.

Analizamos también la variación de los parámetros físicos utilizando 1 Colector Solar de Placa Plana (FPC) en función de la Velocidad del viento ( $v$ ) asumiendo una Temperatura de Agua Inicial ( $T_{w0}$ ) de 60 °C. Los resultados para este caso se muestran en la siguiente tabla.

**Tabla 26**

*Comportamiento de las variables del Destilador Solar en función de la Velocidad del Viento “v” para  $Nc=1$*

$v$ [m/s]	$M_{ew,day}$ [Kg/day]	$m_{ew}$ [Kg/h]	$\eta_s$ [%]	$T_b$ [°C]	$T_w$ [°C]	$T_{gi}$ [°C]	$T_{go}$ [°C]	$T_a$ [°C]	$U_{LS}$ [W/m <sup>2</sup> -K]	$U_t$ [W/m <sup>2</sup> -K]	$U_b$ [W/m <sup>2</sup> -K]	$U_s$ [W/m <sup>2</sup> -K]
1.0	10.50	1.13	25.38	60.4	60.0	49.7	48.2	18.2	10.70	9.94	0.64	0.12
2.0	12.34	1.33	29.83	60.4	60.0	48.0	46.3	18.2	12.31	11.55	0.64	0.12
3.0	13.95	1.50	33.71	60.4	60.0	46.5	44.6	18.2	13.71	12.95	0.64	0.12
4.0	15.35	1.65	37.11	60.4	60.0	45.1	43.1	18.2	14.95	14.19	0.64	0.12
5.0	16.59	1.78	40.10	60.4	60.0	43.9	41.7	18.2	16.03	15.27	0.64	0.12
6.0	17.69	1.90	42.75	60.4	60.0	42.8	40.5	18.2	17.00	16.24	0.64	0.12
7.0	18.66	2.01	45.10	60.4	60.0	41.8	39.3	18.2	17.86	17.10	0.64	0.12
8.0	19.53	2.10	47.20	60.4	60.0	40.9	38.3	18.2	18.63	17.87	0.64	0.12
9.0	20.30	2.18	49.07	60.4	60.0	40.1	37.4	18.2	19.31	18.55	0.64	0.12
10.0	21.00	2.26	50.76	60.4	60.0	39.3	36.5	18.2	19.94	19.18	0.64	0.12

*Fuente: Resultados EES (2022)*

Analizamos también la variación de los parámetros físicos utilizando 1 Colector Solar de Placa Plana (FPC) en función de la Temperatura Ambiente ( $T_a$ ) asumiendo una Temperatura de Agua Inicial ( $T_{w0}$ ) de 60 °C. Los resultados para este caso se muestran en la siguiente tabla.

**Tabla 27**

*Comportamiento de las variables del Destilador Solar en función de la Temperatura Ambiente “Ta” para Nc=1*

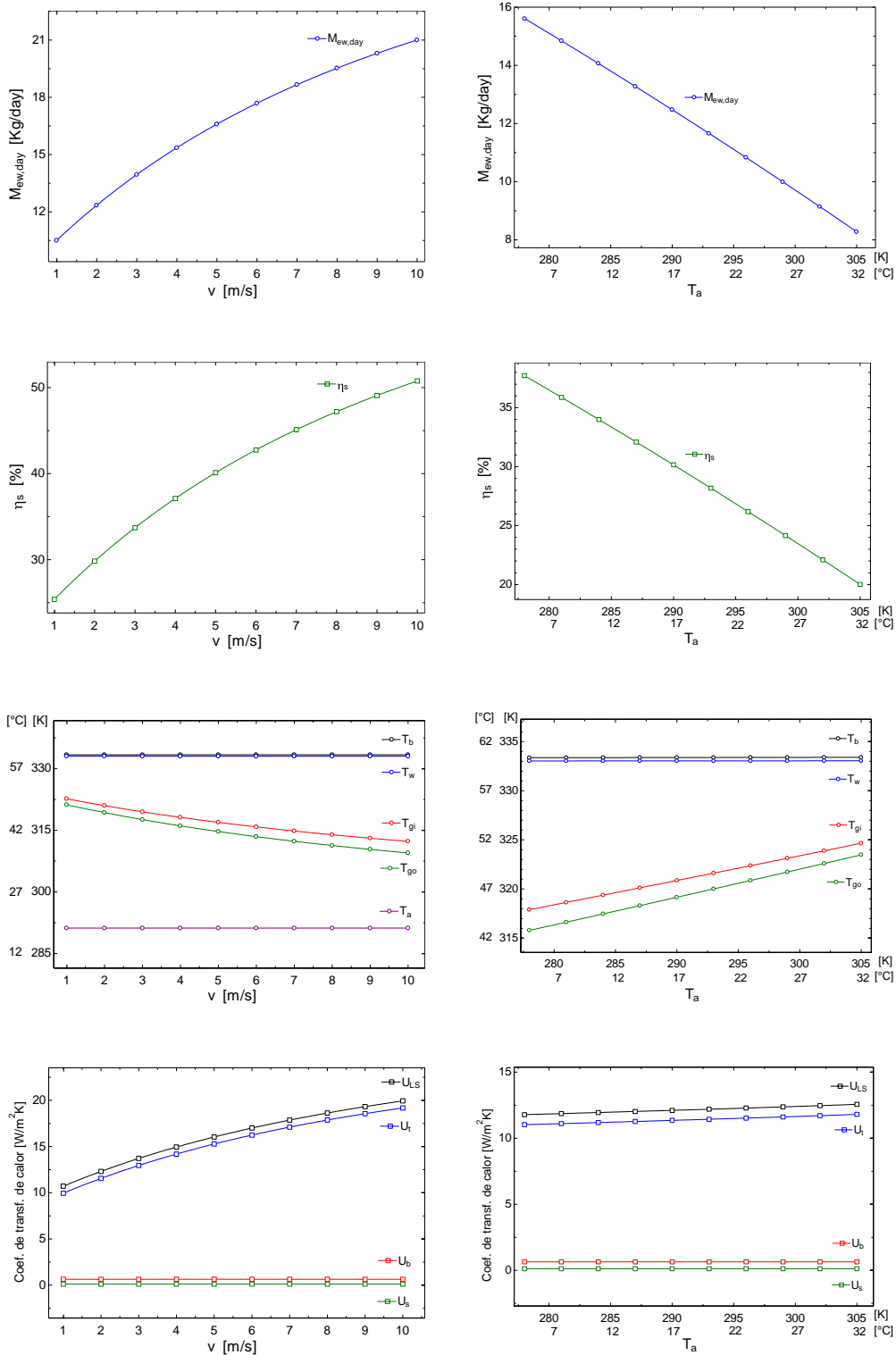
<b>Ta</b>	<b>Mew,day</b>	<b>mew</b>	<b><math>\eta_s</math></b>	<b>Tb</b>	<b>Tw</b>	<b>Tgi</b>	<b>Tgo</b>	<b>Uls</b>	<b>Ut</b>	<b>Ub</b>	<b>Us</b>
[°C]	[Kg/day]	[Kg/h]	[%]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[W/m <sup>2</sup> -K]	[W/m <sup>2</sup> -K]	[W/m <sup>2</sup> -K]	[W/m <sup>2</sup> -K]
5.0	15.61	1.68	37.72	60.4	60.0	44.9	42.8	11.78	11.02	0.64	0.12
8.0	14.84	1.60	35.87	60.4	60.0	45.6	43.6	11.86	11.10	0.64	0.12
11.0	14.07	1.51	34.00	60.4	60.0	46.4	44.5	11.94	11.18	0.64	0.12
14.0	13.28	1.43	32.09	60.4	60.0	47.1	45.3	12.03	11.27	0.64	0.12
17.0	12.48	1.34	30.15	60.4	60.0	47.9	46.2	12.11	11.35	0.64	0.12
20.0	11.66	1.25	28.18	60.4	60.0	48.6	47.0	12.19	11.43	0.64	0.12
23.0	10.83	1.17	26.19	60.4	60.0	49.4	47.9	12.28	11.52	0.64	0.12
26.0	10.00	1.08	24.16	60.4	60.0	50.1	48.7	12.37	11.61	0.64	0.12
29.0	9.14	0.98	22.10	60.4	60.0	50.9	49.6	12.46	11.70	0.64	0.12
32.0	8.28	0.89	20.02	60.4	60.0	51.7	50.5	12.56	11.80	0.64	0.12

*Fuente: Resultados EES (2022)*

Las siguientes gráficas muestran las tendencias de los resultados de las dos tablas anteriores.

**Figura 54**

Variación de la Masa de Agua destilada por día, Eficiencia Térmica, Temperaturas Alcanzadas y Coeficientes de Transferencia de Calor respecto a "v" (izq.) y "Ta" (der.) para  $Nc=1$



Fuente: Resultados EES (2022)

Como podemos apreciar en las gráficas anteriores la variación de las curvas de Masa de Agua destilada por día ( $M_{ew,day}$ ), Eficiencia Térmica ( $\eta_s$ ), las Temperaturas Alcanzadas ( $T_{go}$ ), ( $T_{gi}$ ) ( $T_w$ ) y ( $T_b$ ) y los Coeficientes de Transferencia de Calor ( $U_{LS}$ ), ( $U_t$ ), ( $U_b$ ) y ( $U_s$ ) respecto a la Velocidad del Viento ( $v$ ) y respecto a la Temperatura Ambiente ( $T_a$ ) al igual que los resultados obtenidos sin utilizar Colector Solar tienen las mismas tendencias.

Finalmente analizaremos la variación de los parámetros físicos en función del Número de Colectores Solares utilizados ( $N_c$ ) asumiendo una Temperatura de Agua inicial en la Fuente ( $T_{w0}$ ) de 60 °C. Los resultados para este caso se muestran en la siguiente tabla.

**Tabla 28**

*Comportamiento de las variables del Destilador Solar en función del Número de Colectores Solares utilizados “Nc”*

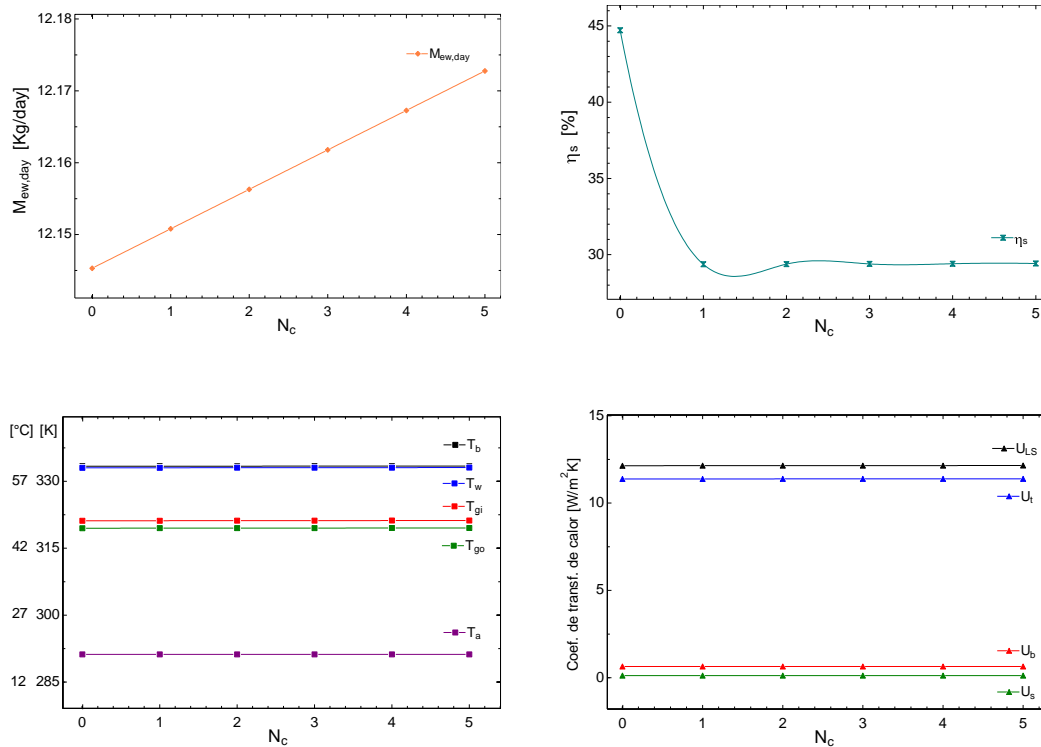
Nc	$M_{ew,day}$ [Kg/day]	$m_{new}$ [Kg/h]	$\eta_s$ [%]	$T_b$ [°C]	$T_w$ [°C]	$T_{gi}$ [°C]	$T_{go}$ [°C]	$T_a$ [°C]	$U_{LS}$ [W/m <sup>2</sup> -K]	$U_t$ [W/m <sup>2</sup> -K]	$U_b$ [W/m <sup>2</sup> -K]	$U_s$ [W/m <sup>2</sup> -K]
0	12.15	1.31	44.71	60.4	60	48.2	46.5	18.2	12.14	11.38	0.64	0.12
1	12.15	1.31	29.37	60.4	60	48.2	46.5	18.2	12.14	11.38	0.64	0.12
2	12.16	1.31	29.38	60.4	60	48.2	46.5	18.2	12.14	11.38	0.64	0.12
3	12.16	1.31	29.39	60.4	60	48.2	46.5	18.2	12.15	11.39	0.64	0.12
4	12.17	1.31	29.41	60.4	60	48.2	46.5	18.2	12.15	11.39	0.64	0.12
5	12.17	1.31	29.42	60.4	60	48.2	46.5	18.2	12.15	11.39	0.64	0.12

*Fuente: Resultados EES (2022)*

Las siguientes gráficas muestran las tendencias de los resultados de la tabla anterior.

## Figura 55

Variación de la Masa de Agua destilada por día, Eficiencia Térmica, Temperaturas Alcanzadas y Coeficientes de Transferencia de Calor respecto al Número de Colectores Solares utilizados “ $N_c$ ”



Fuente: Resultados EES (2022)

Como se puede apreciar en la gráfica de la Masa de Agua destilada por día ( $M_{ew,day}$ ) esta tiende a incrementar ligeramente al utilizar más Colectores Solares. En cambio, esto no ocurre en la gráfica de la Eficiencia Térmica Instantánea ( $\eta_s$ ) la cual disminuye al utilizar más de 1 Colector Solar, luego tiende a mantenerse constante. En el caso de las Temperaturas Alcanzadas ( $T_{go}$ ), ( $T_{gi}$ ), ( $T_w$ ) y ( $T_b$ ) y los Coeficientes de Transferencia de Calor ( $U_{LS}$ ), ( $U_t$ ), ( $U_b$ ) y ( $U_s$ ) estos tienden a tener un comportamiento constante con el número de colectores utilizados.

## CAPÍTULO IV

### 4. CONSTRUCCIÓN Y RESULTADOS

#### 4.1. CONSTRUCCIÓN

##### 4.1.1. MÉTODO DE CONSTRUCCIÓN

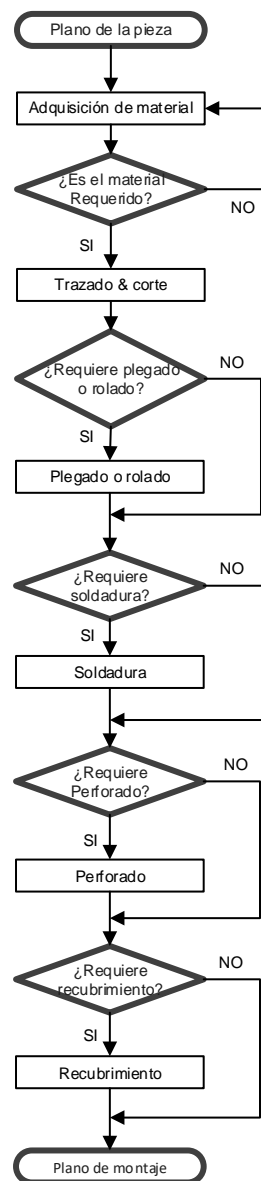
El método de construcción del sistema propuesto está fuertemente ligado a cumplir algunos requisitos fundamentales que son: Lograr la flexibilidad de los componentes para el armado, desarmado, mantenimiento y el transporte. Y lograr una larga vida útil además de la rigidez adecuada para soportar las cargas mecánicas y térmicas a los que estará sometido este sistema.

Por estas razones es que cada componente o conjunto del sistema se compone a su vez de partes o piezas independientes que pueden ser ensambladas entre sí formando un conjunto, y a su vez estas piezas pueden ser manufacturadas con los procesos tradicionales (corte con esmeril, taladrado, plegado, etc.) y no requieren operaciones complejas (uso de equipos CNC, por ejemplo). Así mismo mediante este método de construcción (construcción por conjuntos y subconjuntos) se facilita la reparación y la fabricación.

En la siguiente figura se muestra el diagrama de flujo con las operaciones o procesos de manufactura que seguiría la mayoría de piezas (excepto accesorios, tuberías, pernos, etc.) que forman los componentes del sistema de destilación propuesto hasta la etapa de montaje o ensamblaje.

**Figura 56**

*Diagrama de flujo de la construcción de una pieza del sistema*



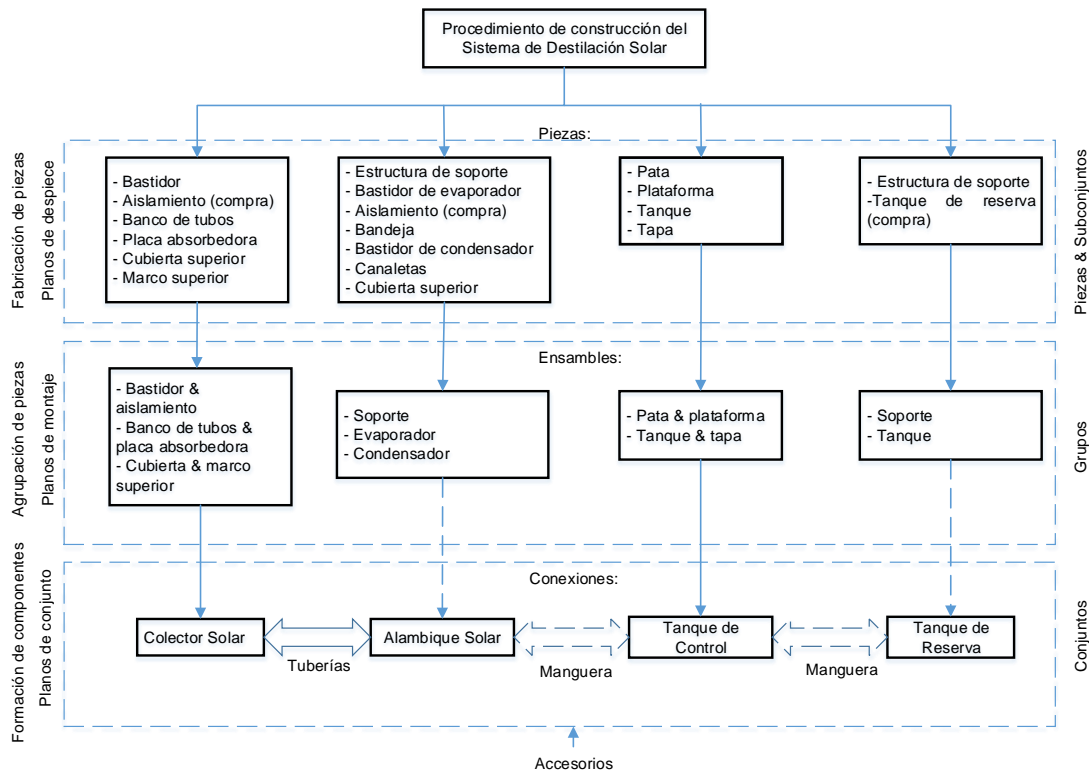
*Fuente: Propia (2022)*

#### **4.1.2. PROCEDIMIENTO DE CONSTRUCCIÓN**

En la siguiente tabla se muestra el esquema del procedimiento constructivo del sistema de destilación solar propuesto que se deberá utilizar junto con los planos presentados en este proyecto.

**Figura 57**

*Procedimiento de Construcción del Sistema de Destilación Solar*



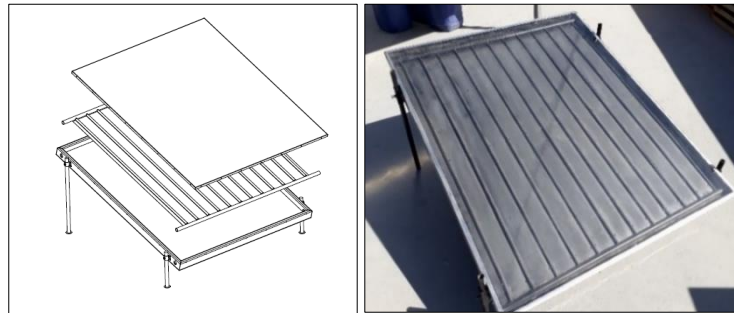
Fuente: Propia (2022)

**4.1.2.1. Construcción del Colector Solar de Placa Plana (FPC)**

El *colector solar de placa plana* es un componente comercial y existen de diferentes marcas y capacidades. Las características del colector utilizado son las siguientes: el *bastidor* es de perfiles de aluminio 60x25x0.9mm y las *patas* son de tubos redondos de acero ASTM A513 de Ø7/8"x1.2mm, presenta 12 *tubos de cobre* tipo M (Ø3/4" y Ø1/4"), *aislamiento térmico* de lana de vidrio de 1" de espesor, la *placa absorbidora* es de aluminio de 0.3 mm de espesor recubierta con pintura termoresistente color negro mate, el *vidrio o cubierta* es de 3 mm de espesor y el *marco* es de perfil angular de aluminio 12x12x1.1mm. En la siguiente figura se muestra el *montaje* típico del colector solar utilizado.

**Figura 58**

*Colector Solar de Placa Plana*



*Fuente: Propia (2022)*

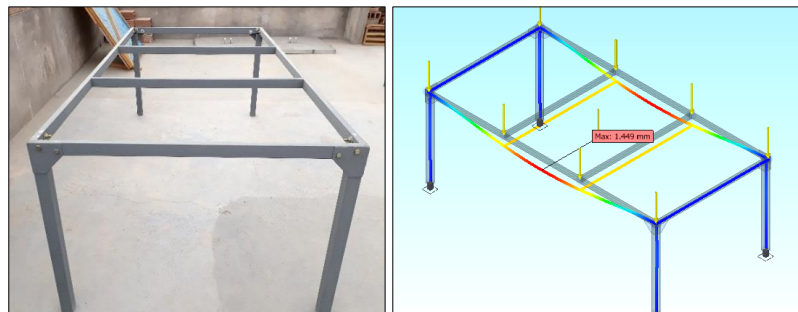
#### **4.1.2.2. Construcción del Alambique Solar**

##### **4.1.2.2.1. Construcción de la Estructura de Soporte**

La estructura de soporte para el *alambique solar*, se fabrica de perfiles comerciales de acero al carbono ASTM A513. Esta parte tiene que ser lo suficientemente rígida para evitar deformaciones y resistente para soportar el peso de todo el *alambique solar* incluyendo el agua contenida dentro (200 kg-f aprox.) La deflexión máxima que se obtuvo en una simulación de esfuerzos realizada fue de 1.5 mm en la parte media.

**Figura 59**

*Estructura de Soporte del Alambique Solar*



*Fuente: Propia (2022)*

El proceso de soldadura recomendado es SMAW, se puede utilizar electrodo E6011 o E6013 de  $\text{Ø}3/32''$  de preferencia. Se debe considerar que es preferible conseguir la menor deflexión posible a fin de evitar el desnivel del agua contaminada dentro del evaporador.

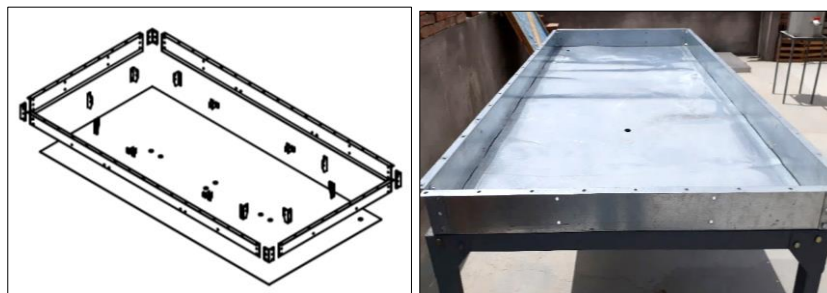
#### 4.1.2.2.2. Construcción del Evaporador

##### 4.1.2.2.2.1. Construcción del Bastidor del Evaporador

Luego de construir el soporte de todo el *alambique solar* se construye el bastidor del *evaporador*, el cual se fabrica de *perfiles plegados de chapa galvanizada* (espesor  $1/20''$ ) unidos entre sí por pernos hexagonales  $\text{Ø}5/16'' \times 5/8''$ . El espesor  $1/20''$  nos ofrece la rigidez adecuada para soportar a la *bandeja* incluyendo el peso del agua a destilar, además del peso del *condensador* ( $42 \text{ kg-f}$ ). La parte inferior del *evaporador* está cubierto de una lámina galvanizada de  $0.3 \text{ mm}$  de espesor unido al bastidor por remaches de aluminio de  $\text{Ø}1/8'' \times 1/2''$ .

#### Figura 60

*Bastidor del Evaporador*



*Fuente: Propia (2022)*

##### 4.1.2.2.2.2. Construcción de la Bandeja o Fuente

La bandeja es la pieza que contiene el agua contaminada a destilar, esta se construye a partir de una plancha de acero inox ( $2.44\text{m} \times 1.22\text{m}$ ) de  $1 \text{ mm}$  de espesor. El tamaño del *alambique solar* está limitado por el tamaño de la bandeja, es por ello que se debe aprovechar

la mayor área posible que se puede conseguir de una plancha comercial sin realizar uniones adicionales (soldaduras), a mayor área de destilación mayor es la producción de agua pura (capítulo 3). A esta bandeja se le une mediante el proceso de soldadura GTAW los respectivos nipples ( $\text{Ø}3/4''$ ) y orejas de sujeción para el ensamble al *bastidor del evaporador*.

### **Figura 61**

#### *Construcción de la Bandeja del Evaporador*



*Fuente: Propia (2022)*

Por otra parte, la bandeja está sujeta al *bastidor del evaporador* por medio de *perfiles angulares galvanizados* fabricados manualmente, y soportado por la parte inferior por *listones de madera*. Esta forma de sujeción y soporte es suficiente para lograr sostener el peso de la bandeja y el agua contaminada (0 a 100 kg-f dependiendo de la profundidad).

### **Figura 62**

#### *Sujeción de la Bandeja al Bastidor*



*Fuente: Propia (2022)*

Es importante señalar que la bandeja se debe recubrir interiormente de un *color negro mate (no brillante)*. Para ello la recomendación técnica más adecuada es usar un imprimante epoxico como primera capa y un esmalte epóxico como segunda. Otra opción es aplicar dos capas de pintura de alta temperatura. El objetivo es conseguir un recubrimiento que no se desprenda fácilmente y que mantenga el color a pesar de la radiación, la humedad y las altas temperaturas.

#### **4.1.2.2.3. Montaje del Aislamiento Térmico**

El aislamiento térmico usado para este proyecto es la *lana de vidrio (2pulg de espesor)*, este material es muy comercial y presenta buenas características como son su baja conductividad térmica, baja absorción de la humedad, no es inflamable y además tiene un buen comportamiento térmico a altas temperaturas.

#### **Figura 63**

*Aislamiento Térmico*



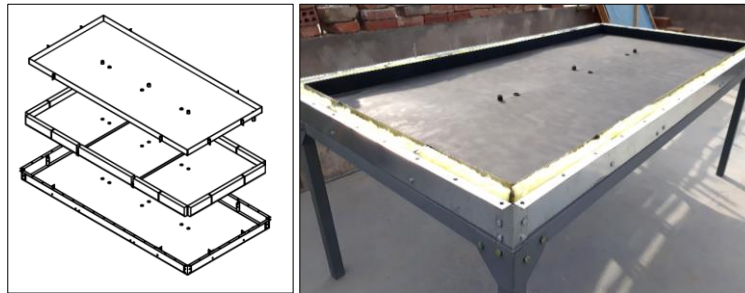
*Fuente: Propia (2022)*

#### **4.1.2.2.3. Montaje del Evaporador**

Sobre la *estructura de soporte del alambique* se muenta el *bastidor del evaporador*, luego el *aislamiento térmico*, por último, la *bandeja de evaporación*. La sujeción o unión de estas piezas es mediante pernos y tuercas hexagonales galvanizadas ( $\text{Ø}5/16'' \times 5/8''$ ). La siguiente figura muestra el montaje (izq.) y el evaporador terminado (der.).

## Figura 64

### Evaporador



Fuente: Propia (2022)

Como se puede apreciar sobre la bandeja se distinguen 3 pares de agujeros (niples inox de  $\text{Ø}3/4''$ ), estos son las salidas e ingresos de agua hacia los colectores solares.

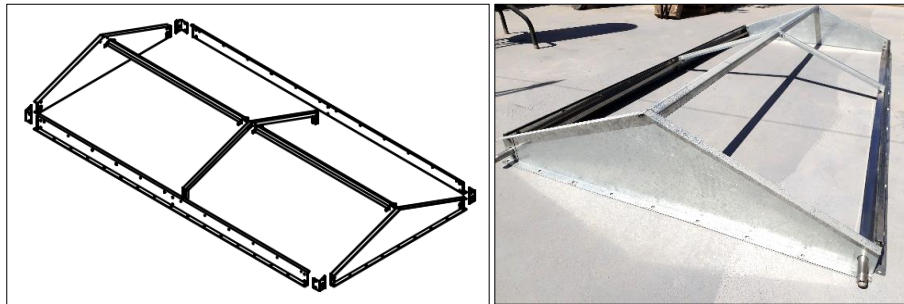
#### 4.1.2.2.4. Construcción del Condensador

##### 4.1.2.2.4.1. Construcción del Bastidor del Condensador

El *bastidor del condensador* se construye de *perfiles plegados de chapa galvanizada* de  $1/20''$  de espesor. La chapa galvanizada comparada con otros materiales tiene mejor resistencia mecánica, soporta mejor las temperaturas y resiste mejor la humedad y la corrosión por lo que no es necesario aplicar un recubrimiento adicional. Las uniones (ensamble) de los *perfiles plegados* del bastidor es por medio de pernos y tuercas hexagonales  $\text{Ø}5/16'' \times 5/8''$  y  $\text{Ø}1/4'' \times 1/2''$  (ver planos).

**Figura 65**

*Bastidor del Condensador*



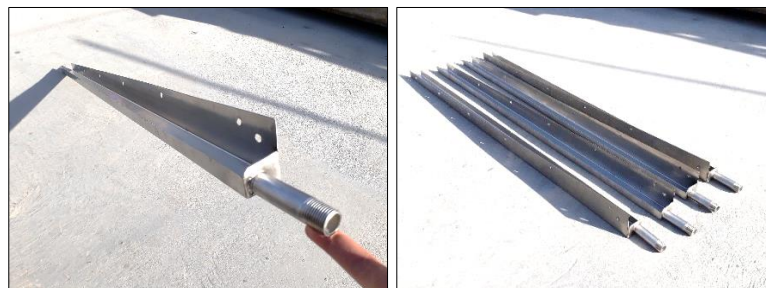
*Fuente: Propia (2022)*

#### **4.1.2.2.4.2. Construcción de Canaletas de Recolección**

Las *canaletas de recolección* de agua destilada se ubican en la parte lateral del condensador. Estas se construyen en chapa de acero inox 304 de 1 mm de espesor. A cada una de las 4 *canaletas* se le suelda un niple inox de Ø1/2" en uno de los extremos (proceso GTAW). Es importante que las canaletas tengan una inclinación con respecto a la horizontal (2 grados), esto con el fin de facilitar el desplazamiento de las gotas de agua destilada. Además, esta inclinación evita que se produzca la reevaporación del agua destilada en la misma canaleta debido a la alta temperatura de operación.

**Figura 66**

*Canaletas de Recolección*



*Fuente: Propia (2022)*

#### 4.1.2.2.4.3. Montaje de la Cubierta Superior

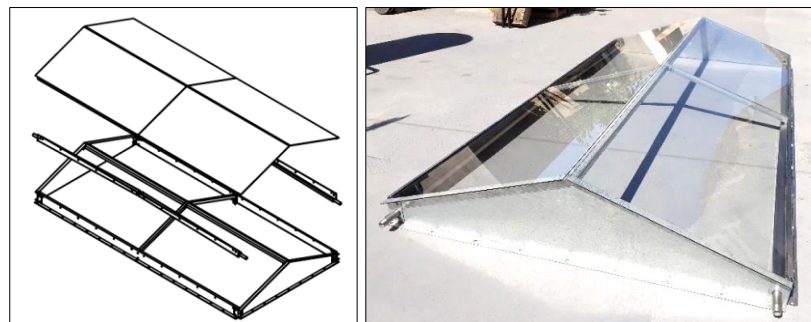
La *cubierta superior* comprende 4 vidrios incoloros de 3 mm de espesor apoyados sobre los *marcos frontales* que se sujetan al *bastidor* junto con las *canaletas* por medio de pernos hexagonales zincados de  $\text{Ø}1/4''\times 1/2''$  (ver planos).

#### 4.1.2.2.5. Montaje del Condensador

Sobre los *perfiles frontales del bastidor* se muenta las *canaletas de recolección* y junto con estas la *cubierta superior*, estos componentes forman el *condensador del alambique solar*. Para lograr el sellado hermético y con ello evitar posibles fugas de vapor se utiliza *silicona neutra* la cual tiene buena adhesión, no facilita la formación de hongos, resiste los rayos ultravioletas y sobre todo no es corrosivo.

#### Figura 67

*Condensador*



*Fuente: Propia (2022)*

#### 4.1.2.3. Montaje del Alambique Solar

El diseño del *alambique solar* se realizó de tal manera que el *condensador* pueda ser separado del *evaporador*, esto con el fin de facilitar el mantenimiento y la puesta en marcha. La unión entre el *condensador* y el *evaporador* es por medio de pernos y tuercas galvanizadas ( $\text{Ø}5/16''\times 5/8''$ ). También se utiliza *empaques* de  $1/16''$  de espesor por todo el perímetro de esta

unión con el fin de conseguir impermeabilidad; también podría utilizarse *silicona neutra* para este fin. La siguiente figura muestra el montaje (izq.) y el conjunto (der.) del *alambique solar de doble vertiente*.

### **Figura 68**

#### *Alambique Solar de Doble Vertiente*



*Fuente: Propia (2022)*

#### **4.1.2.4. Construcción del Tanque de Control de Nivel de Agua Contaminada**

El *tanque de control de nivel de agua contaminada* se diseña para una capacidad de agua de 40 L (lo suficiente para lograr el empuje de la boya para cerrar la válvula), y se fabrica de plancha rolada de acero inox de 1 mm de espesor. Presenta 1 entrada y 2 salidas, (uno para el *alambique solar* y el otro para la *purga del tanque*). En la entrada se ubica la *válvula tipo flotador* que controla el ingreso de agua contaminada al tanque.

### **Figura 69**

*Tanque de Control de Nivel de Agua Contaminada*



*Fuente: Propia (2022)*

El *tanque de control de nivel* permite que la profundidad del agua en la *bandeja del evaporador* se mantenga constante y que el suministro de agua contaminada al sistema sea automático. Esta profundidad de agua en la *bandeja del evaporador* puede ser configurada regulando la altura de la *plataforma* sobre la que descansa este tanque.

La *estructura de soporte del tanque* se construye de perfiles angulares (ASTM A36 38x38x2mm) y tubos redondos (ASTM A513 Ø1"x1mm) recubiertos con base anticorrosiva. Esta estructura es la que permite ajustar la profundidad del agua en la *bandeja del evaporador*.

### **Figura 70**

*Estructura de Soporte del Tanque de Control de Nivel de Agua*



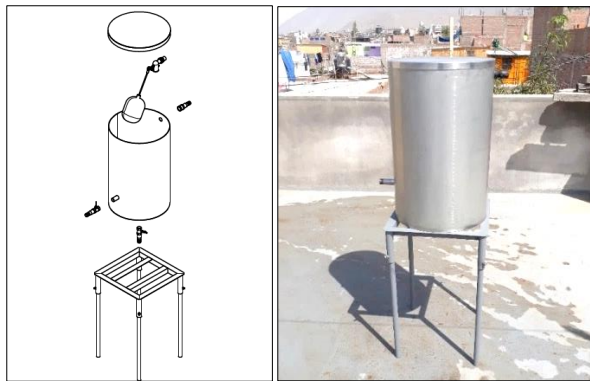
*Fuente: Propia (2022)*

#### 4.1.2.5. Montaje del Tanque de Control de Nivel de Agua Contaminada

Sobre el *soporte* se muenta el *tanque de control de nivel* con sus respectivos accesorios para la conexión con los demás componentes del sistema tal como se muestra en la siguiente figura.

**Figura 71**

*Montaje del Tanque de Control de Nivel de Agua Contaminada*



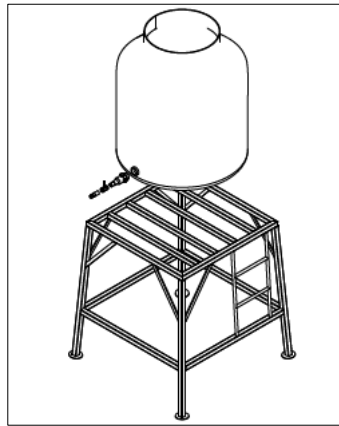
*Fuente: Propia (2022)*

#### 4.1.2.6. Montaje del Tanque de Reserva de Agua Contaminada

El *tanque de reserva de agua contaminada* es un tanque comercial y tiene una capacidad de 600 L (capacidad propuesta). A mayor capacidad del *tanque de reserva* menor es el tiempo de recarga de agua contaminada. El tanque debe estar a una altura adecuada para lograr la presión de agua suficiente para el sistema. Este tanque se soporta sobre una *estructura* (diseñada) construida a base de perfiles de acero ASTM A513 y A36 (ver plano). En la siguiente figura se muestra el montaje de este componente con sus respectivos accesorios para la conexión con los demás componentes del sistema.

## Figura 72

### Montaje del Tanque de Reserva de Agua Contaminada



Fuente: Propia (2022)

#### 4.1.2.7. Conexión de Componentes del Sistema de Destilación Solar

La conexión entre el *colector solar* y el *alambique solar* es mediante tuberías para agua caliente (polipropileno) de  $\text{Ø}3/4''$ , estas tuberías se unen a través de *uniones universales* de  $\text{Ø}3/4''$ . La conexión entre el *alambique solar* y el *tanque de control* es mediante manguera de PVC de  $\text{Ø}3/4''$  al igual que la conexión entre el *tanque de control* y el *tanque de reserva de agua contaminada*; la razón de utilizar este material en lugar de tuberías rígidas es lograr la flexibilidad o desplazamiento del *tanque de control de nivel* para regular la profundidad de agua contaminada.

#### 4.1.3. PUESTA EN MARCHA

Primeramente se debe buscar la ubicación y el espacio adecuado, el lugar escogido debe reunir los siguientes requisitos: que sea un espacio amplio, seco y libre de objetos que proyecten sombras, de preferencia que tenga el suelo pavimentado donde las partículas de polvo no se levanten fácilmente, que sea una área abierta al exterior, donde la radiación solar impacte constantemente y donde circule el viento libremente. Estas características son necesarias porque

están directamente ligadas a la producción final y a reducir el mantenimiento del sistema. Una vez escogido el lugar adecuado es ideal distanciar los componentes unos de otros a fin de evitar que estos proyecten sombras entre sí.

Comenzamos suministrando el agua contaminada del tanque de reserva al ingreso del tanque de control de nivel y de este tanque hacia el *alambique solar* por medio de mangueras flexibles.

### **Figura 73**

*Ingreso del Agua Contaminada al Alambique Solar*



*Fuente: Propia (2022)*

Seguidamente tenemos que asegurarnos que el nivel de agua a destilar sea parejo sobre toda la superficie de la bandeja del evaporador. Es decir se debe conseguir una profundidad del agua constante en cualquier punto para que la evaporación ocurra sobre toda la superficie de la bandeja de manera uniforme. Debemos asegurarnos de evitar cualquier tipo de desnivel en el *soporte del alambique solar*

## Figura 74

### *Verificación de la Horizontalidad del Alambique Solar*



*Fuente: Propia (2022)*

Posteriormente debemos fijar la profundidad del agua contaminada en la bandeja. La manera practica de conseguir esto es desmontando el Condensador del Evaporador momentaneamente para tener una mejor vista y poder medir esta profundida libremente. Para ajustar la profundidad del agua en la bandeja debemos variar la altura del tanque de control de nivel de agua. Como ya se vio anteriormente la profundidad influye sobre la productividad del sistema.

## Figura 75

### *Ajuste de la Profundidad del Agua Contaminada en el Alambique Solar*



*Fuente: Propia (2022)*

El *nivel de agua (altura)* en el *tanque de control* es el mismo que el de la *bandeja del evaporador* esto gracias al principio de vasos comunicantes. Si deseamos aumentar o disminuir este nivel pues simplemente tendremos que aumentar o disminuir la altura de la plataforma que

soporta al tanque de control de nivel de agua. El suministro de agua contaminada se lleva de manera automática gracias a la válvula tipo flotador contenida en el tanque de control.

### **Figura 76**

*Control del suministro de Agua Contaminada*



*Fuente: Propia (2022)*

Antes de montar el *condensador* sobre el *evaporador* es recomendable sellar esta unión con empaque o silicona a fin de evitar fugas de vapor, así mismo se debe sellar cualquier pequeño espacio abierto como grietas entre uniones, agujeros, etc.

Finalmente se monta el condensador sobre el evaporador y se colocan las mangueras y bidones o recipientes para albergar el agua destilada.

### **Figura 77**

*Destilador Solar de Doble Vertiente terminado*



*Fuente: Propia (2022)*

A este sistema se le añadira 1 y 2 *colectores solares de placa plana* conectados a los niples de la bandeja del evaporador que sobresalen por la parte inferior del *alambique solar*.

#### **4.1.4. FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA**

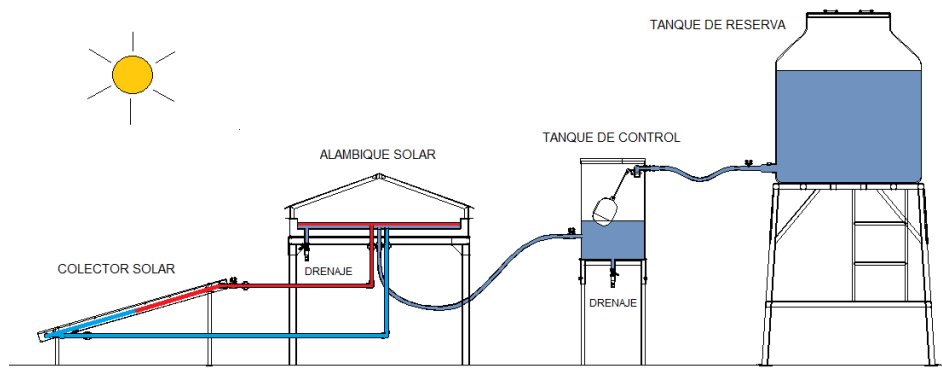
El funcionamiento del sistema es el siguiente: el *tanque de reserva de agua contaminada* alimenta constantemente al *tanque de control de nivel*, mediante el principio de vasos comunicantes este tanque mantiene el nivel del agua contaminada en el *alambique solar* con la ayuda de la *válvula tipo flotador*, que además es la encargada de suministrar el agua al sistema de forma automática.

Dentro del *alambique solar* ocurre la evaporación y la condensación del agua de manera permanente mientras se tenga cierta cantidad de este fluido en la bandeja del evaporador. El *colector solar* proporciona la energía adicional para calentar el agua contaminada, esto favorece el aumento de la producción del *agua pura* al reducir el tiempo de calentamiento del fluido contaminado.

La salida del agua destilada se da por la parte superior del *alambique solar* exactamente por los extremos de las *canaletas del condensador*. En este sistema propuesto tenemos 4 salidas, una por cada *canaleta inclinada*. La inclinación de las canaletas favorece el deslizamiento de las gotas de agua las cuales saldrán rápidamente del alambique. De esta manera se evita la reevaporación del agua pura. El agua obtenida se irá almacenando continuamente en bidones o depósitos apropiados ubicados en los extremos del *alambique solar*.

## Figura 78

### Funcionamiento del Sistema de Destilación Solar Propuesto



Fuente: Propia (2022)

El *tanque de reserva* debe estar a mayor altura que el *tanque de control* para facilitar el ingreso del agua contaminada al sistema. Algo similar ocurre con el *alambique solar* que debe estar a mayor altura que el *colector solar*, esto para favorecer el efecto de termosifón.

La conexión entre el *tanque de reserva*, el *tanque de control* y el *alambique solar* es por medio de mangueras ya que estas ofrecen flexibilidad la cual es necesaria al momento de configurar la altura del *tanque de control de nivel*. En el caso de la conexión entre el colector solar y el alambique solar esta es por medio de tuberías rígidas.

Dentro del *tanque de control de nivel* los contaminantes de mayor densidad que el agua se irán precipitando y los de menor densidad que el agua ascenderán a la superficie. Estos contaminantes pueden ser partículas de tierra, partículas orgánicas, suciedad, etc. Podemos decir que este tanque tiene una función adicional ya que en él ocurre un pre tratamiento del agua contaminada antes de evaporarse en el *alambique solar* lo que lo convierte en un componente importante del *sistema de destilación*.

Tanto el *tanque de control* como el *alambique solar* presentan un punto de drenaje o salida al exterior a través de un niple y una llave de paso. Esta salida es útil para realizar el

vaciado del agua contaminada al momento de realizar el mantenimiento y también al momento de ajustar la profundidad del agua en la bandeja del evaporador.

Cada componente del *sistema propuesto* lleva consigo los accesorios de conexión necesarios para el sistema opere de manera constante. Entre estos accesorios están: llaves de paso, uniones universales, válvulas unidireccionales y otros.

## **4.2. RESULTADOS EXPERIMENTALES**

### **4.2.1. Configuraciones Analizadas**

Las configuraciones analizadas y los detalles de conexiones se pueden apreciar en el Plano 2 y son las siguientes.

- Destilador solar sin utilizar Colector Solar de Placa Plana ( $N_c=0$ )
- Destilador solar acoplado a 1 Colector Solar de Placa Plana ( $N_c=1$ )
- Destilador solar acoplado a 2 Colectores Solares de Placa Plana ( $N_c=2$ )

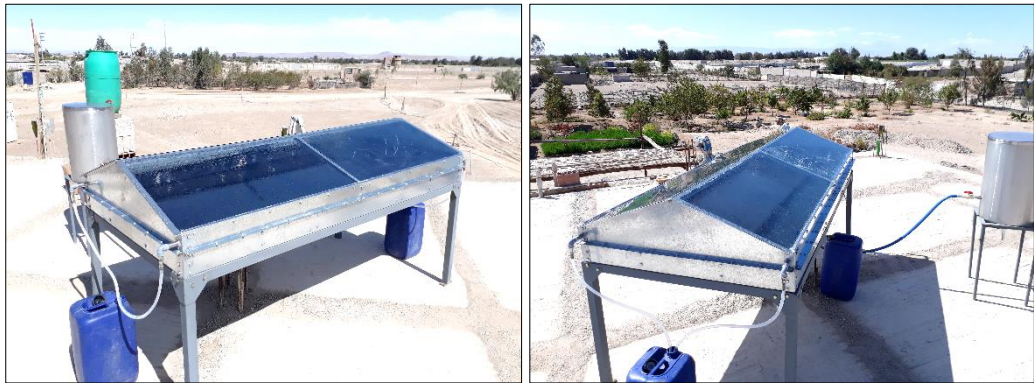
Los resultados obtenidos (Litros de Agua Destilada Producida y Temperaturas Alcanzadas) tuvieron lugar en la Zona Rural denominada “Hijos de Colonos” ubicada en la parte Oeste del Sector Urbano “Pedregal Sur” lindante con la Sección Agrícola “D2” en el mes de Junio del año 2022 con días de cielo despejado en la mayoría de ellos.

### **4.2.2. RESULTADOS SIN UTILIZAR COLECTOR SOLAR ( $N_c=0$ )**

En la siguiente figura se muestra el Sistema de Destilación sin utilizar el Colector Solar de Placa Plana (FPC). Como se puede apreciar este sistema comprende al Tanque de Reserva de Agua Contaminada, el Tanque de Control de nivel de Agua Contaminada, el Alambique Solar de Doble Vertiente, y los Bidones o recipientes de Agua Pura.

## Figura 79

*Sistema de Destilación Solar sin utilizar Colector Solar*



*Fuente: Propia (2022)*

### 4.2.2.1- Resultados a una profundidad de Agua Contaminada de 2 cm

En la siguiente tabla se presentan los valores medidos, estos comprenden Temperaturas Alcanzadas y los Volúmenes de Agua Destilada producida cada 2 horas durante el día, así como la descripción del clima en ese instante.

**Tabla 29**

*Resultados sin utilizar Colector Solar (Nc=0) a una profundidad de 2 cm (Xw=2cm)*

FECHA	HORA	Tb (E) [°C]	Tb (O) [°C]	Tb (Promedio) [°C]	Tw [°C]	Tgo (N) [°C]	Tgo (S) [°C]	Tgo (Promedio) [°C]	Ta [°C]	Mew (NE) [mL]	Mew (SE) [mL]	Mew (NO) [mL]	Mew (SO) [mL]	Mew (Total) [mL]	Clima (Cielo)
7 junio 2022	07:00	13	14	13.5	8	13	12	12.5	14	0	0	0	0	0	Despejado
	09:00	20	22	21.0	25	20	20	20.0	20	20	20	20	20	80	Despejado
	11:00	48	50	49.0	50	28	29	28.5	25	200	200	200	200	800	Despejado
	13:00	57	59	58.0	60	30	32	31.0	28	650	650	650	650	2600	Despejado
	15:00	49	49	49.0	51	28	30	29.0	24	620	620	620	620	2480	Despejado
	17:00	37	36	36.5	34	19	19	19.0	17	280	280	300	300	1160	Despejado
	Evap. Nocturna	-	-	-	-	-	-	-	-	-	200	200	200	200	800
<b>Total</b>														<b>7920</b>	
8 junio 2022	07:00	12	14	13.0	8	12	12	12.0	14	0	0	0	0	0	Despejado
	09:00	20	21	20.5	23	20	20	20.0	21	20	20	30	30	100	Despejado
	11:00	50	50	50.0	52	30	31	30.5	23	250	250	250	250	1000	Despejado
	13:00	54	55	54.5	56	29	30	29.5	25	600	600	600	600	2400	Despejado
	15:00	49	49	49.0	50	28	28	28.0	22	600	600	630	630	2460	Despejado
	17:00	34	34	34.0	33	18	18	18.0	17	280	280	300	300	1160	Despejado
	Evap. Nocturna	-	-	-	-	-	-	-	-	-	150	150	130	130	560
<b>Total</b>														<b>7680</b>	
9 junio 2022	07:00	11	12	11.5	7	12	12	12.0	15	0	0	0	0	0	Despejado
	09:00	27	29	28.0	28	17	17	17.0	17	50	50	50	50	200	Despejado
	11:00	46	48	47.0	49	25	26	25.5	21	200	200	210	210	820	Despejado
	13:00	57	58	57.5	58	29	32	30.5	25	620	600	600	620	2440	Despejado
	15:00	48	48	48.0	50	27	28	27.5	24	600	580	600	600	2380	Despejado
	17:00	34	34	34.0	31	17	17	17.0	16	300	300	300	300	1200	Despejado
	Evap. Nocturna	-	-	-	-	-	-	-	-	-	220	220	220	220	880
<b>Total</b>														<b>7920</b>	
<b>Promedio</b>														<b>7840</b>	

Nota: E=Este, O=Oeste, N=Norte, S=Sur

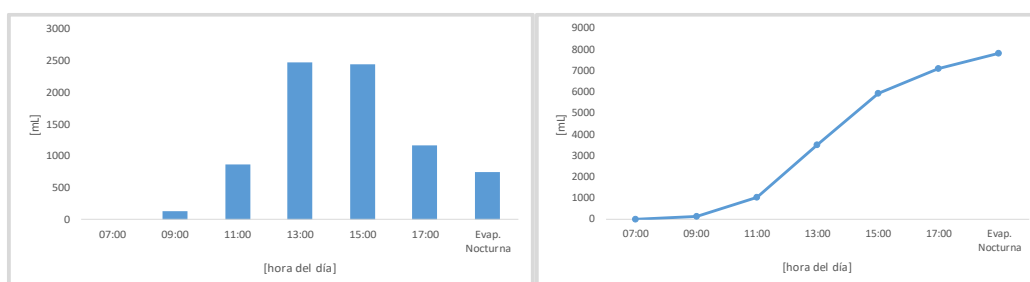
Fuente: Propia (2022)

Como se observa en la tabla anterior esta configuración se llevó a cabo los días 7, 8 y 9 de junio del presente año. Los valores medidos de producción de agua destilada fueron 7920, 7680 y 7920 mL/día respectivamente. El promedio para estos 3 días es 7 840 mL/día y el clima fue de cielo despejado en todo instante.

En las siguientes graficas se muestran los resultados de la tabla anterior de una forma más amigable y clara.

### Figura 80

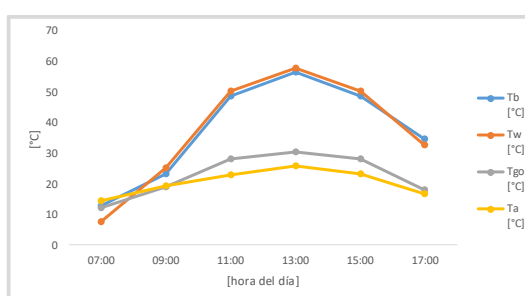
*Producción de Agua Destilada promedio por lotes (izq.) y acumulada (der.) para  $N_c=0$  y  $X_w=2\text{cm}$  ( $M_w=49\text{ Kg}$ )*



Fuente: Propia (2022)

### Figura 81

*Temperaturas Alcanzadas promedio para  $N_c=0$  y  $X_w=2\text{cm}$  ( $M_w=49\text{ Kg}$ )*



Fuente: Propia (2022)

#### 4.2.2.2- Resultados a una profundidad de Agua Contaminada de 4 cm

En la siguiente tabla se presentan los valores medidos, estos comprenden Temperaturas Alcanzadas y los Volúmenes de Agua Destilada producida cada 2 horas durante el día, así como la descripción del clima en ese instante.

**Tabla 30**

*Resultados sin utilizar Colector Solar (Nc=0) a una profundidad de 4 cm (Xw=4cm)*

FECHA	HORA	Tb (E) [°C]	Tb (O) [°C]	Tb (Promedio) [°C]	Tw [°C]	Tgo (N) [°C]	Tgo (S) [°C]	Tgo (Promedio) [°C]	Ta [°C]	Mew (NE) [mL]	Mew (SE) [mL]	Mew (NO) [mL]	Mew (SO) [mL]	Mew (Total) [mL]	Clima (Cielo)
10 junio 2022	07:00	13	13	13.0	11	11	11	11.0	11	0	0	0	0	0	Despejado
	09:00	15	16	15.5	16	16	16	16.0	16	20	20	20	20	80	Seminublado
	11:00	29	30	29.5	31	20	20	20.0	19	50	50	50	50	200	Despejado
	13:00	43	45	44.0	45	23	24	23.5	22	250	230	230	250	960	Despejado
	15:00	46	46	46.0	46	22	23	22.5	21	450	430	400	430	1710	Despejado
	17:00	39	39	39.0	38	22	20	21.0	17	380	380	380	380	1520	Despejado
	Evap. Nocturna	-	-	-	-	-	-	-	-	-	400	400	400	400	1600
<b>Total</b>														<b>6070</b>	
11 junio 2022	07:00	12	12	12.0	10	11	11	11.0	9	0	0	0	0	0	Despejado
	09:00	16	17	16.5	17	15	15	15.0	15	40	40	40	40	160	Despejado
	11:00	43	43	43.0	41	19	19	19.0	18	100	100	100	100	400	Seminublado
	13:00	47	48	47.5	48	20	21	20.5	19	300	300	310	310	1220	Despejado
	15:00	45	45	45.0	44	20	22	21.0	18	450	450	450	450	1800	Seminublado
	17:00	37	38	37.5	36	18	18	18.0	13	280	300	280	280	1140	Nublado
	Evap. Nocturna	-	-	-	-	-	-	-	-	-	380	380	380	380	1520
<b>Total</b>														<b>6240</b>	
12 junio 2022	07:00	12	12	12.0	11	12	11	11.5	13	0	0	0	0	0	Nublado
	09:00	16	17	16.5	18	17	17	17.0	16	40	40	30	40	150	Seminublado
	11:00	35	37	36.0	36	21	21	21.0	20	100	100	100	100	400	Despejado
	13:00	45	47	46.0	47	24	25	24.5	23	300	300	300	300	1200	Despejado
	15:00	47	46	46.5	48	25	25	25.0	21	430	430	430	430	1720	Despejado
	17:00	38	39	38.5	37	22	21	21.5	15	300	300	300	300	1200	Despejado
	Evap. Nocturna	-	-	-	-	-	-	-	-	-	380	380	380	380	1520
<b>Total</b>														<b>6190</b>	
<b>Promedio</b>														<b>6167</b>	

Nota: E=Este, O=Oeste, N=Norte, S=Sur

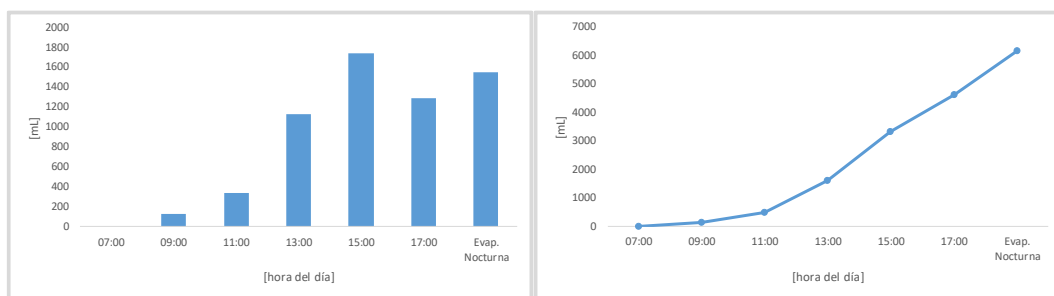
Fuente: Propia (2022)

Como se observa en la tabla anterior esta configuración se llevó a cabo los días 10, 11 y 12 de junio del presente año. Los valores medidos de producción de agua destilada fueron 6 070, 6 240 y 6 190 mL/día respectivamente. El promedio para estos 3 días es 6 167 mL/día. El clima fue de cielo despejado en mayor parte, cielo seminublado en algunas horas y nublado en otras.

En las siguientes graficas se muestran los resultados de la tabla anterior de una forma más amigable y clara.

### Figura 82

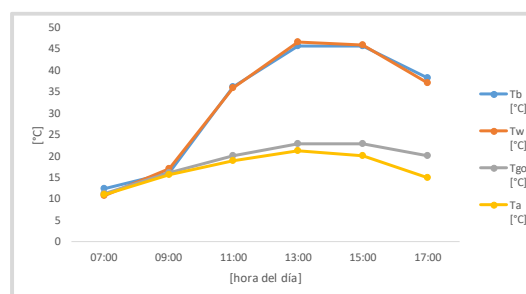
*Producción de Agua Destilada promedio por lotes (izq.) y acumulada (der.) para  $N_c=0$  y  $X_w=4\text{cm}$  ( $M_w=98\text{ Kg}$ )*



*Fuente: Propia (2022)*

### Figura 83

*Temperaturas Alcanzadas promedio para  $N_c=0$  y  $X_w=4\text{cm}$  ( $M_w=98\text{ Kg}$ )*



*Fuente: Propia (2022)*

### 4.2.3. RESULTADOS UTILIZANDO 1 COLECTOR SOLAR ( $N_c=1$ )

En la siguiente figura se muestra el Sistema de Destilación utilizando 1 Colector Solar de Placa Plana (FPC). Como se puede apreciar este sistema comprende al Tanque de Reserva de Agua Contaminada, el Tanque de Control de nivel de Agua Contaminada, el Alambique Solar de Doble Vertiente, los Bidones o recipientes de Agua Pura y a 1 Colector Solar.

#### Figura 84

*Sistema de Destilación Solar utilizando 1 Colector Solar*



*Fuente: Propia (2022)*

#### 4.2.3.1. Resultados a una profundidad de Agua Contaminada de 2 cm

En la siguiente tabla se presentan los valores medidos durante el día, para 3 días seguidos. Estos valores tomados comprenden a las Temperaturas Alcanzadas sobre el Alambique Solar, a las Temperaturas Alcanzadas sobre el Colector Solar y los Volúmenes de Agua Destilada Producida cada 2 horas durante el día, así como la descripción del clima en ese instante.

**Tabla 31**

*Resultados utilizando 1 Colector Solar (Nc=1) a una profundidad de 2 cm (Xw=2cm)*

FECHA	HORA	Tb (E) [°C]	Tb (O) [°C]	Tb (Promedio) [°C]	Tw [°C]	Tgo (N) [°C]	Tgo (S) [°C]	Tgo (Promedio) [°C]	Ta [°C]	Mew (NE) [mL]	Mew (SE) [mL]	Mew (NO) [mL]	Mew (SO) [mL]	Mew (Total) [mL]	Tfe [°C]	Tfs [°C]	Tp [°C]	Tv [°C]	Clima (Cielo)
14 junio 2022	07:00	10	11	10.5	6	8	9	8.5	13	0	0	0	0	0	6	8	11	8	Despejado
	09:00	18	21	19.5	20	16	16	16.0	20	50	50	50	50	200	22	46	57	25	Despejado
	11:00	50	52	51.0	50	27	28	27.5	23	200	200	200	200	800	45	67	84	32	Despejado
	13:00	55	56	55.5	58	29	32	30.5	25	650	600	620	650	2520	51	67	80	30	Despejado
	15:00	50	50	50.0	51	30	31	30.5	21	700	700	700	700	2800	44	58	62	26	Despejado
	17:00	36	36	36.0	36	20	20	20.0	14	400	400	400	400	1600	18	23	13	16	Despejado
	Evap. Noct.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	250	250	250	250	1000	-	-	-	-
<b>Total</b>														<b>8920</b>					
15 junio 2022	07:00	10	11	10.5	7	10	9	9.5	12	0	0	0	0	0	7	9	12	9	Despejado
	09:00	22	24	23.0	24	15	16	15.5	17	50	50	50	50	200	23	48	60	19	Despejado
	11:00	49	50	49.5	52	25	27	26.0	21	270	250	250	270	1040	47	68	82	29	Despejado
	13:00	58	58	58.0	59	29	31	30.0	22	700	680	680	680	2740	53	70	79	29	Despejado
	15:00	48	48	48.0	50	29	30	29.5	20	650	650	650	650	2600	45	59	58	25	Despejado
	17:00	34	33	33.5	33	19	19	19.0	16	350	350	350	350	1400	18	24	15	15	Despejado
	Evap. Noct.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	250	250	250	250	1000	-	-	-	-
<b>Total</b>														<b>8980</b>					
16 junio 2022	07:00	9	11	10.0	7	9	8	8.5	11	0	0	0	0	0	8	10	11	8	Despejado
	09:00	20	22	21.0	22	15	17	16.0	16	50	50	50	50	200	24	44	56	26	Despejado
	11:00	47	49	48.0	52	28	30	29.0	25	280	280	280	280	1120	48	69	80	34	Despejado
	13:00	57	57	57.0	60	31	35	33.0	26	600	600	600	600	2400	55	70	80	32	Despejado
	15:00	50	49	49.5	52	32	31	31.5	25	730	730	730	730	2920	47	60	61	29	Despejado
	17:00	34	33	33.5	32	22	22	22.0	16	380	380	380	400	1540	20	26	15	14	Despejado
	Evap. Noct.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	250	250	250	250	1000	-	-	-	-
<b>Total</b>														<b>9180</b>					
<b>Promedio</b>														<b>9027</b>					

Nota : E=Este, O=Oeste, N=Norte, S=Sur

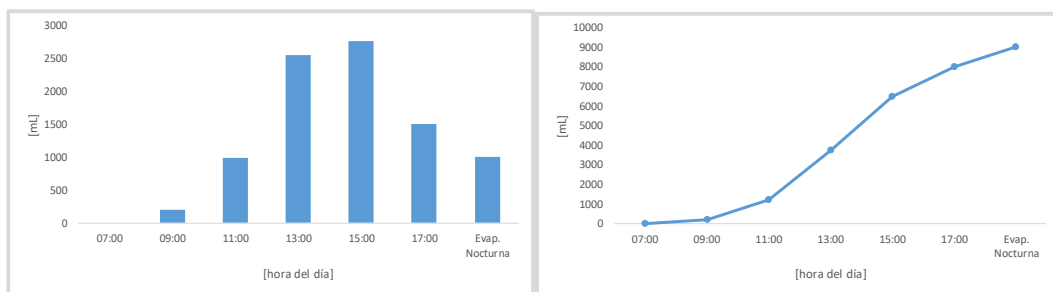
Fuente: Propia (2022)

Como se observa en la tabla anterior esta configuración se llevó a cabo los días 14, 15 y 16 de junio del presente año. Los valores medidos de producción de agua destilada fueron 8 920, 8 980 y 9 180 mL/día respectivamente. El promedio para estos 3 días es 9 027 mL/día. El clima fue de cielo despejado en todo instante.

Las siguientes graficas muestran los valores de la tabla anterior de forma más entendible.

### Figura 85

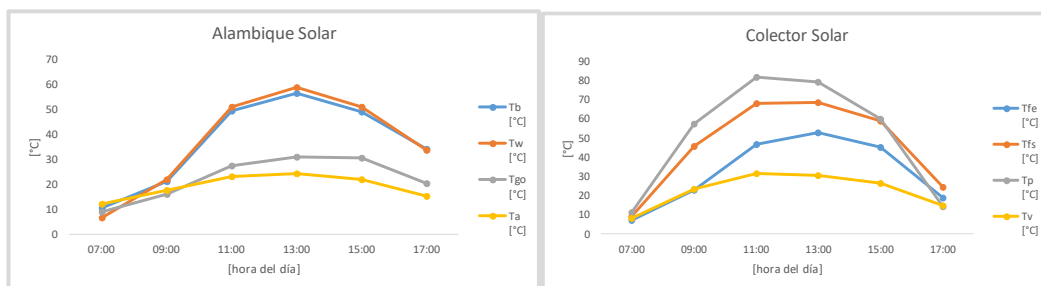
*Producción de Agua Destilada promedio por lotes (izq.) y acumulada (der.) para  $N_c=1$  y  $X_w=2\text{cm}$  ( $M_w=49\text{ Kg}$ )*



*Fuente: Propia (2022)*

### Figura 86

*Temperaturas Alcanzadas promedio sobre el Alambique Solar (izq.) y Colector Solar (der.) para  $N_c=1$  y  $X_w=2\text{cm}$  ( $M_w=49\text{ Kg}$ )*



*Fuente: Propia (2022)*

#### **4.2.3.2. Resultados a una profundidad de Agua Contaminada de 4 cm**

En la siguiente tabla se presentan los valores medidos durante el día, para 3 días seguidos. Estos valores tomados comprenden a las Temperaturas Alcanzadas sobre el Alambique Solar, a las Temperaturas Alcanzadas sobre el Colector Solar y los Volúmenes de Agua Destilada Producida cada 2 horas durante el día, así como la descripción del clima en ese instante.

**Tabla 32**

*Resultados utilizando 1 Colector Solar (Nc=1) a una profundidad de 4 cm (Xw=4cm)*

FECHA	HORA	Tb (E) [°C]	Tb (O) [°C]	Tb (Promedio) [°C]	Tw [°C]	Tgo (N) [°C]	Tgo (S) [°C]	Tgo (Promedio) [°C]	Ta [°C]	Mew (NE) [mL]	Mew (SE) [mL]	Mew (NO) [mL]	Mew (SO) [mL]	Mew (Total) [mL]	Tfe [°C]	Tfs [°C]	Tp [°C]	Tv [°C]	Clima (Cielo)
17 junio 2022	07:00	11	12	11.5	9	11	12	11.5	14	0	0	0	0	0	8	10	13	11	Despejado
	09:00	17	18	17.5	20	17	18	17.5	20	40	40	40	40	160	22	44	56	25	Despejado
	11:00	41	43	42.0	42	24	25	24.5	24	130	130	130	130	520	38	64	80	32	Despejado
	13:00	60	60	60.0	58	29	31	30.0	27	520	500	500	520	2040	48	65	82	32	Despejado
	15:00	52	52	52.0	52	28	29	28.5	24	600	580	580	600	2360	42	56	58	24	Despejado
	17:00	39	39	39.0	38	20	20	20.0	14	380	380	380	380	1520	16	20	14	14	Despejado
	Evap. Noct.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	430	430	430	430	1720	-	-	-	-
<b>Total</b>														<b>8320</b>					
18 junio 2022	07:00	12	12	12.0	10	11	11	11.0	11	0	0	0	0	0	10	11	14	10	Despejado
	09:00	16	18	17.0	19	17	19	18.0	18	40	40	40	40	160	22	43	56	25	Despejado
	11:00	38	39	38.5	40	22	22	22.0	21	130	130	130	130	520	37	60	75	27	Despejado
	13:00	52	53	52.5	53	28	28	28.0	23	450	450	450	450	1800	48	65	77	28	Despejado
	15:00	50	50	50.0	51	28	29	28.5	23	630	600	600	600	2430	44	57	60	27	Despejado
	17:00	39	39	39.0	39	20	21	20.5	15	400	400	400	400	1600	16	21	14	13	Despejado
	Evap. Noct.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	450	450	450	450	1800	-	-	-	-
<b>Total</b>														<b>8310</b>					
19 junio 2022	07:00	12	13	12.5	9	12	13	12.5	13	0	0	0	0	0	8	10	13	11	Despejado
	09:00	26	27	26.5	23	19	20	19.5	22	40	40	40	40	160	22	44	65	24	Despejado
	11:00	43	43	43.0	42	25	25	25.0	24	150	150	150	150	600	40	60	77	28	Despejado
	13:00	60	61	60.5	58	28	29	28.5	26	500	500	500	500	2000	50	68	85	30	Despejado
	15:00	51	50	50.5	51	28	28	28.0	21	620	620	620	620	2480	46	58	57	26	Despejado
	17:00	39	39	39.0	40	20	20	20.0	14	400	400	400	400	1600	17	20	14	14	Despejado
	Evap. Noct.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	450	450	450	450	1800	-	-	-	-
<b>Total</b>														<b>8640</b>					
<b>Promedio</b>														<b>8423</b>					

Nota : E=Este, O=Oeste, N=Norte, S=Sur

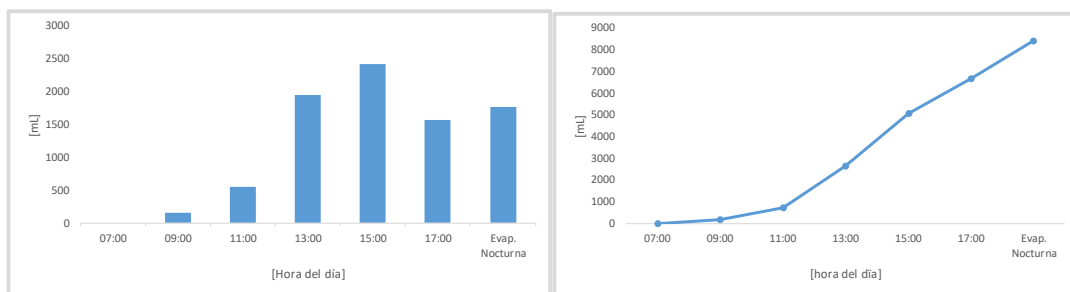
Fuente: Propia (2022)

Como se observa en la tabla anterior esta configuración se llevó a cabo los días 17, 18 y 19 de junio del presente año. Los valores medidos de producción de agua destilada fueron 8 320, 8 310 y 8 640 mL/día respectivamente. El promedio para estos 3 días es 8 423 mL/día. El clima fue de cielo despejado en todo instante.

Las siguientes graficas muestran los valores de la tabla anterior de forma más entendible.

**Figura 87**

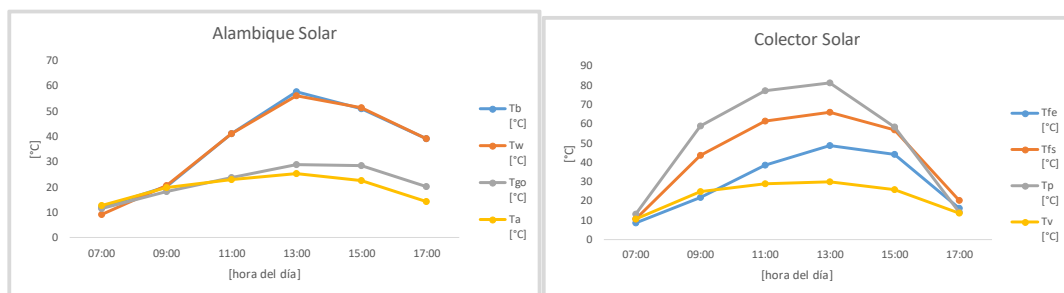
*Producción de Agua Destilada promedio por lotes (izq.) y acumulada (der.) para  $N_c=1$  y  $X_w=4cm$  ( $M_w=98 Kg$ )*



*Fuente: Propia (2022)*

**Figura 88**

*Temperaturas Alcanzadas promedio sobre el Alambique Solar (izq.) y Colector Solar (der.) para  $N_c=1$  y  $X_w=4cm$  ( $M_w=98 Kg$ )*



*Fuente: Propia (2022)*

#### 4.2.4. RESULTADOS UTILIZANDO 2 COLECTORES SOLARES ( $N_c=2$ )

En la siguiente figura se muestra el Sistema de Destilación utilizando 2 Colectores Solares de Placa Plana (FPC). Como se puede apreciar este sistema comprende al Tanque de Reserva de Agua Contaminada, el Tanque de Control de nivel de Agua Contaminada, el Alambique Solar de Doble Vertiente, los Bidones o recipientes de Agua Pura y a 2 Colectores Solares.

#### Figura 89

*Sistema de Destilación Solar utilizando 2 Colectores Solares*



*Fuente: Propia (2022)*

##### 4.2.4.1. Resultados a una profundidad de Agua Contaminada de 2 cm

En la siguiente tabla se presentan los valores medidos durante el día, para 3 días seguidos. Estos valores tomados comprenden a las Temperaturas Alcanzadas sobre el Alambique Solar, a las Temperaturas Alcanzadas sobre los Colectores Solares y los Volúmenes de Agua Destilada Producida cada 2 horas durante el día, así como la descripción del clima en ese instante.

**Tabla 33**

*Resultados utilizando 2 Colectores Solares (Nc=2) a una profundidad de 2 cm (Xw=2cm)*

FECHA	HORA	Tb	Tb	Tb	Tw	Tgo	Tgo	Tgo	Ta	Mew	Mew	Mew	Mew	Mew	FPC 1				FPC 2				Clima (cielo)
		(E) [°C]	(O) [°C]	(Promedio) [°C]		(N) [°C]	(S) [°C]	(Promedio) [°C]		(NE) [mL]	(SE) [mL]	(NO) [mL]	(SO) [mL]	(Total) [mL]	Tfe [°C]	Tfs [°C]	Tp [°C]	Tv [°C]	Tfe [°C]	Tfs [°C]	Tp [°C]	Tv [°C]	
21 junio 2022	07:00	10	10	10.0	9	11	10	10.5	12	0	0	0	0	0	10	12	14	10	11	12	15	10	Despejado
	09:00	22	24	23.0	24	16	17	16.5	15	50	50	50	50	200	23	44	56	24	29	50	57	21	Despejado
	11:00	57	57	57.0	56	27	28	27.5	21	350	350	350	350	1400	45	67	78	29	52	76	82	28	Despejado
	13:00	63	63	63.0	65	33	34	33.5	25	750	750	750	750	3000	53	71	84	29	55	75	85	28	Despejado
	15:00	55	54	54.5	55	31	31	31.0	24	750	750	750	760	3010	46	64	62	28	44	65	63	27	Despejado
	17:00	38	38	38.0	38	20	20	20.0	16	400	400	400	400	1600	21	25	18	15	19	23	18	14	Despejado
	Evap. Noct.	-	-	-	-	-	-	-	-	250	250	250	250	1000	-	-	-	-	-	-	-	-	-
														<b>Total</b>	<b>10210</b>								
22 junio 2022	07:00	10	12	11.0	7	10	10	10.0	15	0	0	0	0	0	9	10	13	9	9	15	16	9	Despejado
	09:00	28	30	29.0	30	18	18	18.0	17	80	80	80	80	320	28	50	60	24	33	55	62	22	Despejado
	11:00	52	55	53.5	55	27	29	28.0	21	370	370	370	370	1480	48	69	77	27	53	70	79	24	Despejado
	13:00	62	64	63.0	64	31	32	31.5	22	860	860	860	860	3440	53	75	79	28	55	76	81	26	Despejado
	15:00	54	52	53.0	52	27	28	27.5	22	700	700	700	700	2800	41	65	66	28	45	68	68	25	Despejado
	17:00	36	35	35.5	35	21	22	21.5	16	300	300	300	300	1200	19	24	17	14	18	22	18	13	Despejado
	Evap. Noct.	-	-	-	-	-	-	-	-	280	280	280	280	1120	-	-	-	-	-	-	-	-	-
														<b>Total</b>	<b>10360</b>								
23 junio 2022	07:00	11	12	11.5	8	10	10	10.0	13	0	0	0	0	0	11	12	14	10	11	13	15	11	Despejado
	09:00	28	30	29.0	28	15	16	15.5	16	60	60	60	60	240	25	45	61	21	30	54	63	20	Despejado
	11:00	52	54	53.0	54	25	26	25.5	20	360	360	360	360	1440	47	68	82	29	53	72	85	27	Despejado
	13:00	62	63	62.5	62	29	30	29.5	22	830	830	830	830	3320	51	71	80	28	53	74	83	28	Despejado
	15:00	51	51	51.0	51	29	29	29.0	22	700	680	700	700	2780	43	58	60	26	42	62	63	25	Despejado
	17:00	35	35	35.0	34	20	20	20.0	16	300	300	300	300	1200	19	24	20	16	17	22	20	15	Despejado
	Evap. Noct.	-	-	-	-	-	-	-	-	270	270	270	270	1080	-	-	-	-	-	-	-	-	-
														<b>Total</b>	<b>10060</b>								
														<b>Promedio</b>	<b>10210</b>								

Nota: E=Este, O=Oeste, N=Norte, S=Sur

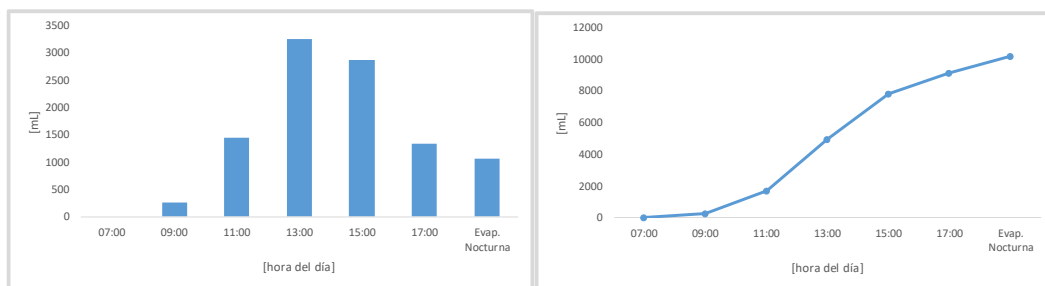
Fuente: Propia (2022)

Como se observa en la tabla anterior esta configuración se llevó a cabo los días 21, 22 y 23 de junio del presente año. Los valores medidos de producción de agua destilada fueron 10 210, 10 360 y 10 060mL/día respectivamente. El promedio para estos 3 días es 10 210 mL/día. El clima fue de cielo despejado en todo instante.

Las siguientes gráficas muestran los resultados anteriores de una manera más apreciable.

### Figura 90

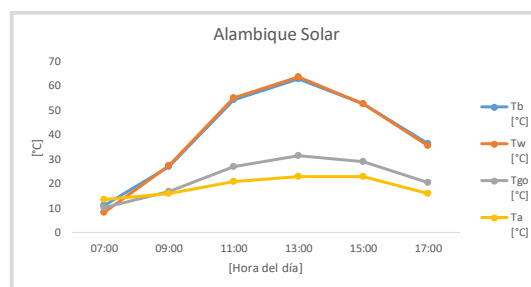
*Producción de Agua Destilada promedio por lotes (izq.) y acumulada (der.) para  $N_c=2$  y  $X_w=2cm$  ( $M_w=49 Kg$ )*



*Fuente: Propia (2022)*

### Figura 91

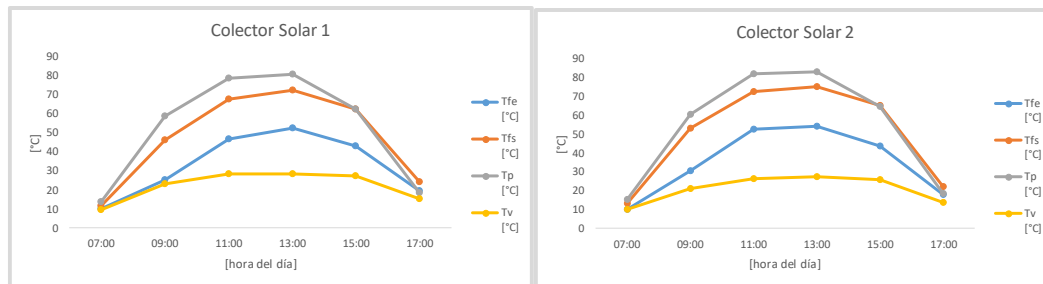
*Temperaturas Alcanzadas promedio sobre el Alambique Solar para  $N_c=2$  y  $X_w=2cm$  ( $M_w=49 Kg$ )*



*Fuente: Propia (2022)*

## Figura 92

Temperaturas Alcanzadas promedio sobre el Colector Solar 1 (izq.) y Colector Solar 2 (der.) para  $N_c=2$  y  $X_w=2\text{cm}$  ( $M_w=49\text{ Kg}$ )



Fuente: Propia (2022)

### 4.2.4.2. Resultados a una profundidad de Agua Contaminada de 4 cm

En la siguiente tabla se presentan los valores medidos durante el día, para 3 días seguidos. Estos valores tomados comprenden a las Temperaturas Alcanzadas sobre el Alambique Solar, a las Temperaturas Alcanzadas sobre los Colectores Solares y los Volúmenes de Agua Destilada Producida cada 2 horas durante el día, así como la descripción del clima en ese instante.

**Tabla 34**

*Resultados utilizando 2 Colectores Solares (Nc=2) a una profundidad de 4 cm (Xw=4cm)*

FECHA	HORA	Tb	Tb	Tb	Tw	Tgo	Tgo	Tgo	Ta	Mew	Mew	Mew	Mew	Mew	FPC 1				FPC 2				Clima (cielo)	
		(E) [°C]	(O) [°C]	(Promedio) [°C]		(N) [°C]	(S) [°C]	(Promedio) [°C]		(NE) [mL]	(SE) [mL]	(NO) [mL]	(SO) [mL]	(Total) [mL]	FPC 1 (E)		FPC 2 (O)							
		Tfe	Tfs	TP	Tv	Tfe	Tfs	TP	Tv															
		[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]															
24 junio 2022	07:00	14	14	14.0	12	13	13	13.0	14	0	0	0	0	0	12	14	15	13	13	15	16	13	Despejado	
	09:00	20	19	19.5	21	16	18	17.0	19	40	40	40	40	160	24	42	56	23	26	50	58	21	Despejado	
	11:00	45	47	46.0	47	25	24	24.5	21	200	200	220	220	840	45	65	75	30	46	69	77	26	Despejado	
	13:00	60	62	61.0	61	28	30	29.0	23	600	600	620	620	2440	51	67	84	29	53	70	85	27	Despejado	
	15:00	54	54	54.0	54	30	31	30.5	23	700	690	690	690	2770	43	60	59	24	40	58	60	24	Seminublado	
	17:00	42	43	42.5	41	23	24	23.5	16	450	450	450	450	1800	20	22	20	16	18	20	18	16	Despejado	
	Evap. Noct.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	500	500	500	500	2000	-	-	-	-	-	-	-	-	-
										<b>Total</b>				<b>10010</b>										
25 junio 2022	07:00	14	15	14.5	11	13	13	13.0	16	0	0	0	0	0	10	13	16	15	10	13	17	15	Despejado	
	09:00	19	19	19.0	20	18	18	18.0	17	60	60	60	60	240	23	45	56	24	25	50	58	21	Despejado	
	11:00	40	42	41.0	42	24	24	24.0	21	180	180	180	180	720	40	59	68	29	43	63	72	27	Seminublado	
	13:00	51	52	51.5	52	28	28	28.0	22	520	520	520	520	2080	46	65	76	26	47	69	78	25	Seminublado	
	15:00	52	53	52.5	52	28	27	27.5	23	600	600	600	600	2400	42	57	60	24	39	56	60	23	Seminublado	
	17:00	41	41	41.0	38	20	21	20.5	15	400	400	400	400	1600	17	20	16	13	15	18	17	12	Despejado	
	Evap. Noct.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	450	450	450	450	1800	-	-	-	-	-	-	-	-	-
										<b>Total</b>				<b>8840</b>										
26 junio 2022	07:00	15	17	16.0	11	9	10	9.5	13	0	0	0	0	0	9	11	16	9	9	11	18	9	Despejado	
	09:00	23	23	23.0	22	15	15	15.0	20	80	80	80	80	320	23	44	56	24	25	54	59	21	Despejado	
	11:00	45	45	45.0	47	24	25	24.5	21	230	220	220	220	890	43	65	74	29	45	68	77	27	Despejado	
	13:00	60	60	60.0	61	29	30	29.5	23	600	600	620	620	2440	51	68	78	29	52	70	81	28	Despejado	
	15:00	54	53	53.5	54	28	29	28.5	23	650	650	660	660	2620	44	60	58	24	40	58	60	24	Despejado	
	17:00	41	42	41.5	42	20	20	20.0	16	480	480	480	480	1920	19	20	16	14	16	19	18	13	Despejado	
	Evap. Noct.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	500	500	500	500	2000	-	-	-	-	-	-	-	-	-
										<b>Total</b>				<b>10190</b>										
										<b>Promedio</b>				<b>9680</b>										

Nota: E=Este, O=Oeste, N=Norte, S=Sur

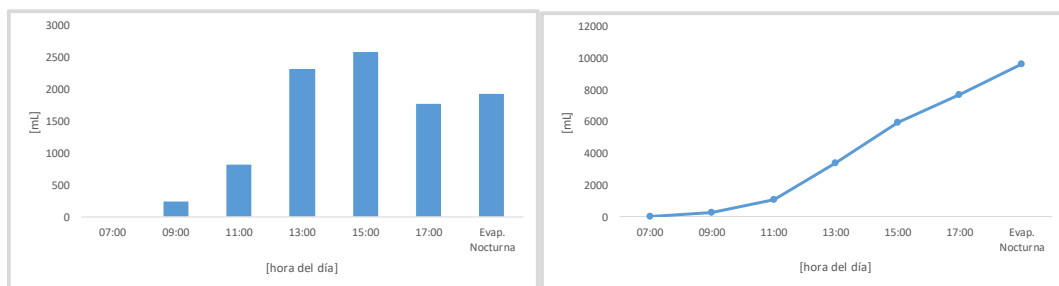
Fuente: Propia (2022)

Como se observa en la tabla anterior esta configuración se llevó a cabo los días 24, 25 y 26 de junio del presente año. Los valores medidos de producción de agua destilada fueron 10 010, 8 840 y 10 190 mL/día respectivamente. El promedio para estos 3 días es 9680 mL/día. El clima fue de cielo despejado en mayor parte del día y cielo seminublado en algunas horas.

Las siguientes gráficas muestran los resultados anteriores de una manera más apreciable.

### Figura 93

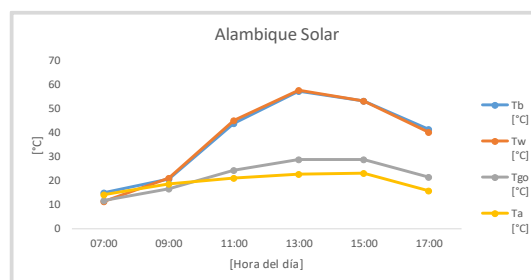
*Producción de Agua Destilada promedio por lotes (izq.) y acumulada (der.) para  $N_c=2$  y  $X_w=4cm$  ( $M_w=98 Kg$ )*



*Fuente: Propia (2022)*

### Figura 94

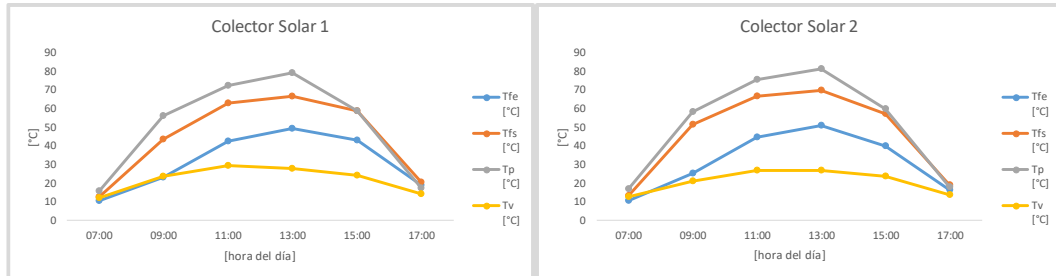
*Temperaturas Alcanzadas promedio sobre el Alambique Solar para  $N_c=2$  y  $X_w=4cm$  ( $M_w=98 Kg$ )*



*Fuente: Propia (2022)*

## Figura 95

Temperaturas Alcanzadas promedio sobre el Colector Solar 1 (izq.) y Colector Solar 2 (der.) para  $N_c=2$  y  $X_w=4\text{cm}$  ( $M_w=98\text{ Kg}$ )



Fuente: Propia (2022)

### 4.2.5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Como pudimos apreciar en las Tablas 10 y 11 la Radiación Solar recibida sobre la superficie del Colector Solar ( $I_{TC}$ ) y sobre el Alambique Solar ( $I_{TS}$ ) en el *Mes de Junio* (Mes donde se realizó las mediciones) es la menor de todos los meses. Por lo que la Producción de Agua Destilada para este mes sería la menor de todas. Aunque a favor del mes de Junio podemos afirmar que la mayoría de días fueron días de cielo despejado o con poca presencia de nubes, situaciones que favorece la producción de agua destilada.

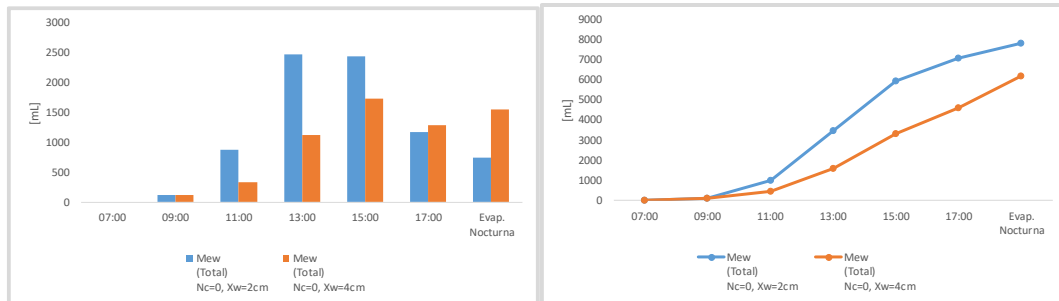
Según los datos teóricos mostrados anteriormente la producción de agua destilada debería de aumentar progresivamente hasta alcanzar su valor mayor en el mes de Febrero para la estación de verano.

#### 4.2.5.1. Producción de Agua Destilada

En la siguiente gráfica se aprecia la Producción de Agua Destilada para el sistema de destilación sin Colector Solar a una profundidad de agua contaminada de 2 y 4 cm.

## Figura 96

Producción de Agua Destilada promedio por lotes (izq.) y acumulada (der.) para  $N_c=0$ ,  $X_w=2\text{cm}$  y  $X_w=4\text{cm}$



Fuente: Propia (2022)

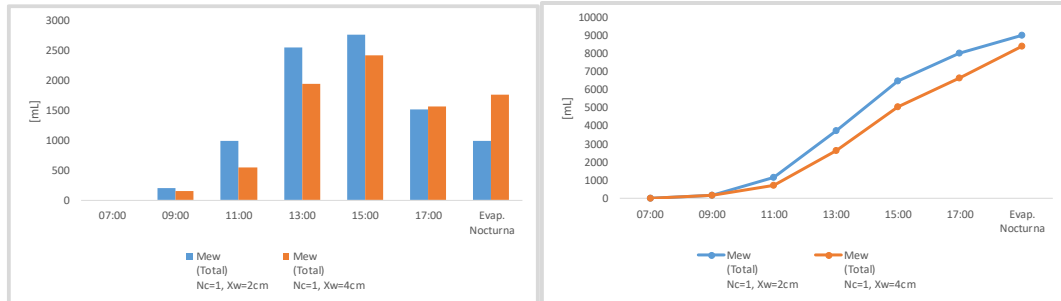
Como se puede apreciar en la gráfica anterior la Producción de Agua Destilada a una profundidad de 4 cm es menor en comparación a una de 2 cm. A una profundidad de 2 cm se obtuvo 7 840 mL/día como promedio, pero a 4 cm se obtuvo 6 167 mL/día por lo que la producción se redujo 21.34%.

Algo interesante de destacar es que la producción de agua destilada durante la noche (Evaporación nocturna) es mayor a una profundidad de 4 cm que a una de 2 cm. Este fenómeno se debe a la propiedad que tiene el agua de retener el calor, a mayor masa de agua mayor será la cantidad de calor retenido. Esto favorece a la destilación del agua contaminada durante horas de la noche.

En la siguiente gráfica se aprecia la Producción de Agua Destilada para el sistema de destilación con 1 Colector Solar a una profundidad de agua contaminada de 2 y 4 cm.

### Figura 97

Producción de Agua Destilada promedio por lotes (izq.) y acumulada (der.) para  $N_c=1$ ,  $X_w=2\text{cm}$  y  $X_w=4\text{cm}$



Fuente: Propia (2022)

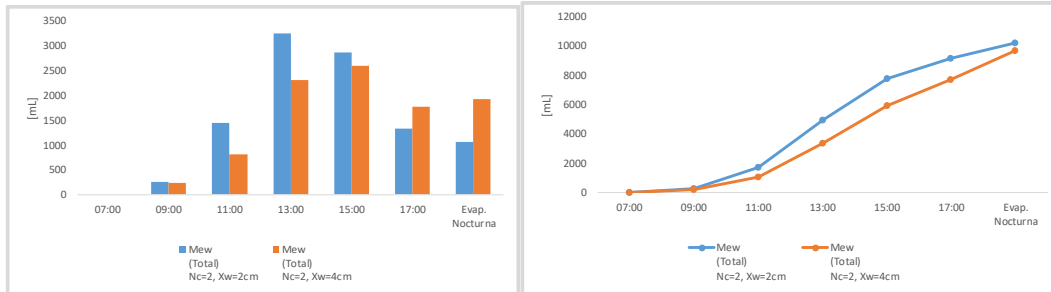
Como se puede apreciar en la gráfica anterior la Producción de Agua Destilada para una profundidad de 4 cm es menor en comparación a una de 2 cm. A una profundidad de 2 cm se obtuvo 9 027 mL/día como promedio, pero a 4 cm se obtuvo 8 423 mL/día por lo que la producción se redujo 6.69%.

De igual forma se aprecia que la producción de agua destilada durante la noche es mayor a una profundidad de 4 cm que a una de 2 cm.

En la siguiente gráfica se aprecia la Producción de Agua Destilada para el sistema de destilación con 2 Colectores Solares a una profundidad de agua contaminada de 2 y 4 cm.

## Figura 98

Producción de Agua Destilada promedio por lotes (izq.) y acumulada (der.) para  $N_c=2$ ,  $X_w=2\text{cm}$  y  $X_w=4\text{cm}$



Fuente: Propia (2022)

Como se puede apreciar en la gráfica anterior la Producción de Agua Destilada para una profundidad de 4 cm es menor en comparación a una de 2 cm. A una profundidad de 2 cm se obtuvo 10 210 mL/día como promedio, pero a 4 cm se obtuvo 9 680 mL/día por lo que la producción se redujo 5.19%.

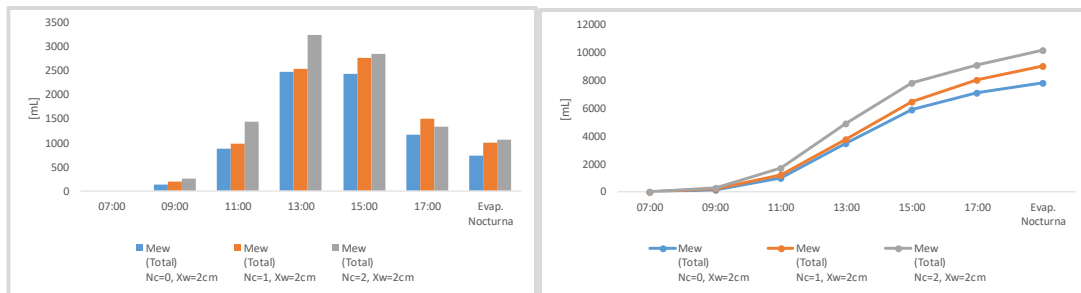
De igual forma se aprecia que la producción de agua destilada durante la noche es mayor a una profundidad de 4 cm que a una de 2 cm.

De los 3 Sistemas Analizados se observa que el sistema con mayor reducción de Producción de Agua Destilada al aumentar la profundidad de agua contaminada de 2 cm a 4 cm es el sistema sin colector solar con una reducción de 21.34%, luego se sigue el sistema con 1 solo colector con 6.69% y por último 5.19% para el sistema con 2 colectores solares. Se podría deducir que si hubiésemos aumentado un colector solar adicional ( $N_c=3$ ) esta reducción sería aún menor.

En la siguiente gráfica se aprecia la Producción de Agua Destilada a una Profundidad de Agua Contaminada de 2 cm para los 3 sistemas de destilación analizados.

### Figura 99

Producción de Agua Destilada promedio por lotes (izq.) y acumulada (der.) para  $X_w=2\text{cm}$ ,  $N_c=0$ ,  $N_c=1$  y  $N_c=2$



Fuente: Propia (2022)

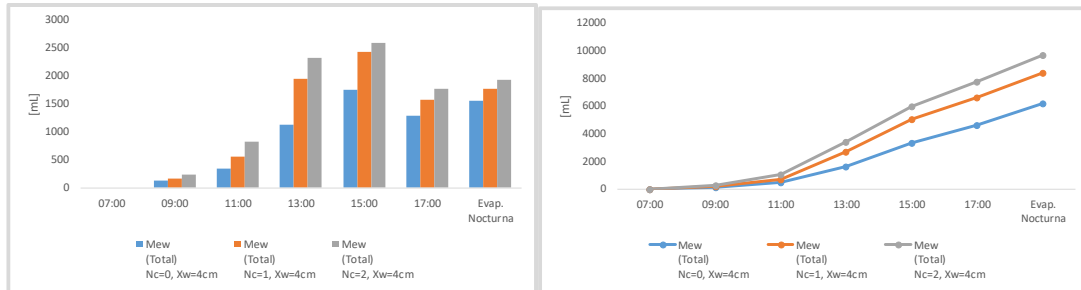
De la gráfica anterior resalta claramente que el uso de 1 Colector Solar mejora la producción de agua destilada con respecto al Sistema de Destilación sin utilizar colector alguno. Numéricamente se obtuvo 7840 mL/día sin colector y 9027mL/día con 1 colector por lo que la producción aumento 15.14%.

Con el uso de 2 colectores se obtuvo una producción de agua destilada de 10210mL/día por lo que la producción aumento 30.23% respecto al sistema de destilación sin utilizar colector alguno y 13.11% respecto al sistema de destilación usando 1 solo colector solar.

En la siguiente gráfica se aprecia la Producción de Agua Destilada a una Profundidad de Agua Contaminada de 4 cm para los 3 sistemas de destilación analizados.

**Figura 100**

*Producción de Agua Destilada promedio por lotes (izq.) y acumulada (der.) para  $X_w=4\text{cm}$ ,  $N_c=0$ ,  $N_c=1$  y  $N_c=2$*



*Fuente: Propia (2022)*

De la gráfica anterior resalta claramente que el uso de 1 colector solar mejora la producción de agua destilada con respecto al Sistema de Destilación sin utilizar colector alguno. Numéricamente se obtuvo 6 167 mL/día sin colector y 8 423mL/día con 1 colector por lo que la producción aumento 36.58%

Con el uso de 2 colectores se obtuvo una producción de agua destilada de 9 680mL/día por lo que la producción aumento 56.96% respecto al sistema de destilación sin utilizar colector alguno y 14.92% respecto al sistema de destilación usando 1 solo colector solar.

De las 2 últimas graficas analizadas se puede notar que el mayor aumento de la Producción de Agua Destilada en porcentajes ocurre para una profundidad del agua contaminada de 4 cm (36.58% de  $N_c=0$  a  $N_c=1$ ; 56.96% de  $N_c=0$  a  $N_c=2$  y 14.92% de  $N_c=1$  a  $N_c=2$ ) que una de 2 cm (15.14% de  $N_c=0$  a  $N_c=1$ ; 30.23% de  $N_c=0$  a  $N_c=2$  y 13.11% de  $N_c=1$  a  $N_c=2$ ).

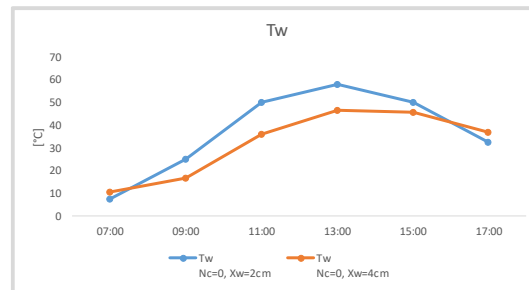
## 4.2.5.2. Temperaturas Alcanzadas

### 4.2.5.2.1. Sobre el Alambique Solar

En la siguiente gráfica se aprecia la Temperatura del Agua en la Fuente del Alambique Solar ( $T_w$ ) para el sistema de destilación sin Colector Solar a una profundidad de agua contaminada de 2 y 4 cm.

#### Figura 101

Temperatura de Agua en la Fuente ( $T_w$ ) promedio para  $N_c=0$ ,  $X_w=2\text{cm}$  y  $X_w=4\text{cm}$



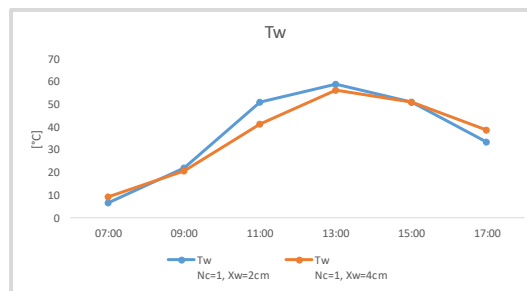
Fuente: Propia (2022)

Como se observa en la gráfica anterior la curva de Temperatura de Agua en la Fuente ( $T_w$ ) disminuye a una profundidad de agua de 4cm respecto a una de 2 cm. Es interesante señalar que a horas finales del día la temperatura  $T_w$  tiende a disminuir en menor intensidad a una profundidad de 4 cm que a una de 2 cm. Este fenómeno favorece a la Evaporación Nocturna. Por cómo se vio en gráficas anteriores la *Evaporación Nocturna* a 4cm de profundidad de agua es mayor.

En la siguiente gráfica se aprecia la Temperatura del Agua en la Fuente del Alambique Solar ( $T_w$ ) para el sistema de destilación utilizando 1 Colector Solar a una profundidad de agua contaminada de 2 y 4 cm.

### Figura 102

Temperatura de Agua en la Fuente ( $T_w$ ) promedio para  $N_c=1$ ,  $X_w=2\text{cm}$  y  $X_w=4\text{cm}$



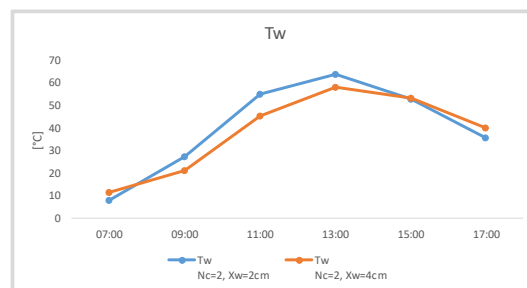
Fuente: Propia (2022)

Como se observa en la gráfica anterior la curva de Temperatura de Agua en la Fuente ( $T_w$ ) disminuye a una profundidad de agua de 4cm respecto a una de 2 cm utilizando 1 Colector Solar, pero en menor grado que un sistema de destilación sin colector solar. También se observa que  $T_w$  a horas finales del día es mayor para 4 cm de profundidad que para 2 cm.

En la siguiente gráfica se aprecia la Temperatura del Agua en la Fuente del Alambique Solar ( $T_w$ ) para el sistema de destilación utilizando 2 Colectores Solares a una profundidad de agua contaminada de 2 y 4 cm.

### Figura 103

Temperatura de Agua en la Fuente ( $T_w$ ) promedio para  $N_c=2$ ,  $X_w=2\text{cm}$  y  $X_w=4\text{cm}$



Fuente: Propia (2022)

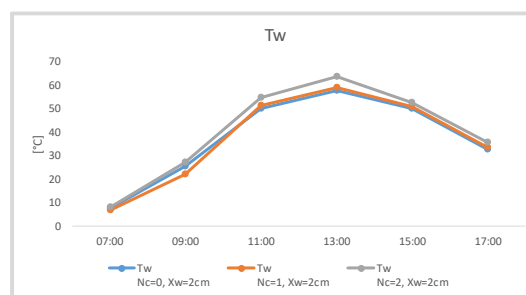
Como se observa en la gráfica anterior la curva de Temperatura de Agua en la Fuente ( $T_w$ ) disminuye a una profundidad de agua de 4cm respecto a una de 2 cm utilizando 2

Colectores Solares, pero en menor grado que un sistema de destilación sin colector solar y semejante al sistema de destilación con 1 solo colector solar. También se observa que  $T_w$  a horas finales del día es mayor para 4 cm de profundidad que para 2 cm. Este fenómeno observado ocurre para los 3 sistemas de destilación solar analizados.

En la siguiente gráfica se aprecia la Temperatura del Agua en la Fuente del Alambique Solar ( $T_w$ ) a una Profundidad de Agua Contaminada de 2 cm para los 3 sistemas de destilación analizados.

#### Figura 104

*Temperatura de Agua en la Fuente ( $T_w$ ) promedio para  $X_w=2\text{cm}$ ,  $N_c=0$ ,  $N_c=1$  y  $N_c=2$*



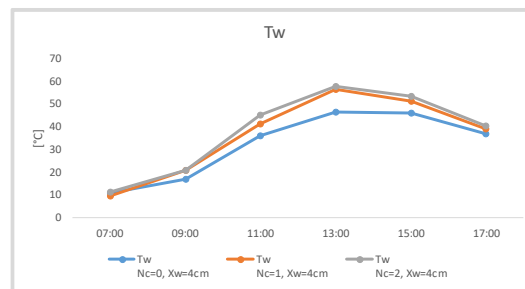
*Fuente: Propia (2022)*

De la gráfica anterior se aprecia que la curva de Temperatura de Agua en la Fuente ( $T_w$ ) tiene un comportamiento similar para los 3 sistemas de destilación analizados y que  $T_w$  para el sistema con 2 Colectores Solares presenta los valores mayores alcanzados.

En la siguiente gráfica se aprecia la Temperatura del Agua en la Fuente del Alambique Solar ( $T_w$ ) a una Profundidad de Agua Contaminada de 4 cm para los 3 sistemas de destilación analizados.

## Figura 105

Temperatura de Agua en la Fuente ( $T_w$ ) promedio para  $X_w=4\text{cm}$ ,  $N_c=0$ ,  $N_c=1$  y  $N_c=2$



Fuente: Propia (2022)

De la gráfica anterior se aprecia que la curva de Temperatura de Agua en la Fuente ( $T_w$ ) tiene un comportamiento similar para los 3 sistemas de destilación analizados, pero a diferencia de la gráfica anterior el Sistema de Destilación sin colector solar  $N_c=0$  (Destilación Pasiva) se distancia notablemente de los sistemas con Colectores Solares  $N_c=1$  y  $N_c=2$  (Destilación Activa).

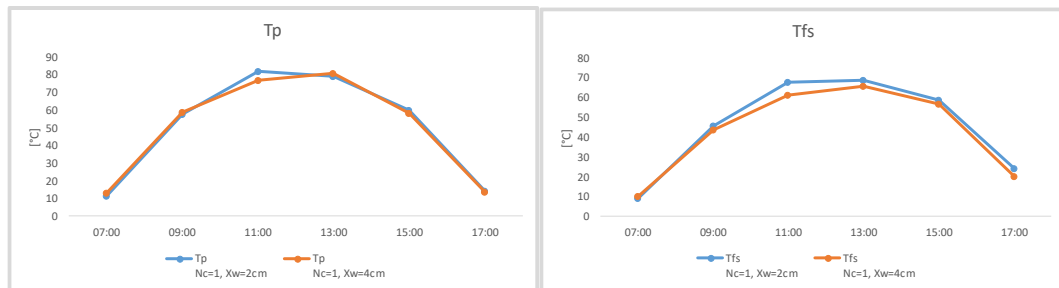
De lo observado anteriormente se puede deducir que a profundidades mayores los Colectores Solares desempeñarían un papel importante en la Destilación de Agua por este método.

### 4.2.5.2.2. Sobre el Colector Solar

En la siguiente gráfica se aprecia la Temperatura de la Placa de Absorción ( $T_p$ ) y la Temperatura del Agua a la Salida del Colector Solar ( $T_{fs}$ ) para el sistema de destilación utilizando 1 Colector Solar a una profundidad de agua contaminada de 2 y 4 cm.

### Figura 106

Temperatura de la Placa de Absorción [ $T_p$ ] (izq.) y Temperatura del Agua a la Salida del Colector Solar [ $T_{fs}$ ] (der.) para  $N_c=1$ ,  $X_w=2\text{cm}$  y  $X_w=4\text{cm}$



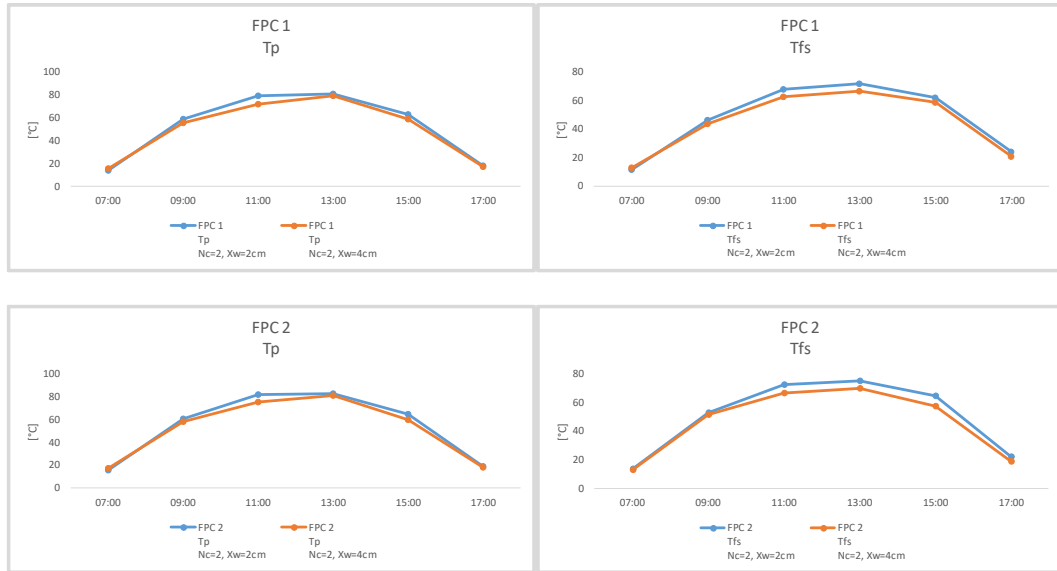
Fuente: Propia (2022)

Como se observa en la gráfica anterior la curva de Temperatura de la Placa de Absorción ( $T_p$ ) a 2 cm y 4 cm tienen comportamientos similares y alcanzan temperaturas elevadas alrededor de 80°C. La curva de Temperatura del Agua a la Salida del Colector ( $T_{fs}$ ) a 2 cm y 4 cm también presentan comportamientos similares, pero como se esperaba alcanzan temperaturas inferiores a los de la placa de absorción. También se puede notar que  $T_{fs}$  a 2 cm de profundidad es ligeramente superior respecto a  $T_{fs}$  a 4 cm.

En las siguientes gráficas se aprecia la Temperatura de la Placa de Absorción ( $T_p$ ) y la Temperatura del Agua a la Salida del Colector ( $T_{fs}$ ) para el Colector Solar 1 y 2 (FPC 1 y FPC 2) en el sistema de destilación utilizando 2 Colectores Solares a una profundidad de agua contaminada de 2 y 4 cm.

### Figura 107

Temperatura de la Placa de Absorción [ $T_p$ ] (izq.) y Temperatura del Agua a la Salida del Colector Solar [ $T_{fs}$ ] (der.) para  $N_c=2$ ,  $X_w=2\text{cm}$  y  $X_w=4\text{cm}$



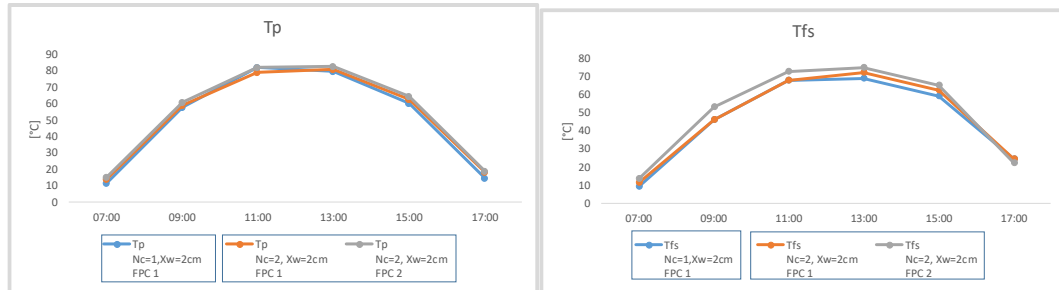
Fuente: Propia (2022)

Como se observa en la gráfica anterior la curva de Temperatura de la Placa de Absorción ( $T_p$ ) a 2 cm y 4 cm para el colector 1 (FPC 1) y el colector 2 (FPC 2) tienen comportamientos similares y alcanzan temperaturas elevadas. Por otra parte la curva de Temperatura del Agua a la Salida del Colector ( $T_{fs}$ ) a 2 cm y 4 cm para FPC 1 y FPC 2 también presentan comportamientos similares, pero como se esperaba alcanzan temperaturas inferiores a las de la placa de absorción. También se observa que la curva  $T_{fs}$  a 2 cm de profundidad para ambos colectores es superior respecto a la curva de  $T_{fs}$  a 4 cm.

En la siguiente gráfica se aprecia la Temperatura de la Placa de Absorción ( $T_p$ ) y la Temperatura del Agua a la Salida del Colector Solar ( $T_{fs}$ ) a una Profundidad de Agua Contaminada de 2 cm para los 2 sistemas de destilación analizados con Colector Solar.

**Figura 108**

*Temperatura de la Placa de Absorción [Tp] (izq.) y Temperatura del Agua a la Salida del Colector Solar [Tfs] (der.) para  $X_w=2\text{cm}$ ,  $N_c=1$  y  $N_c=2$*



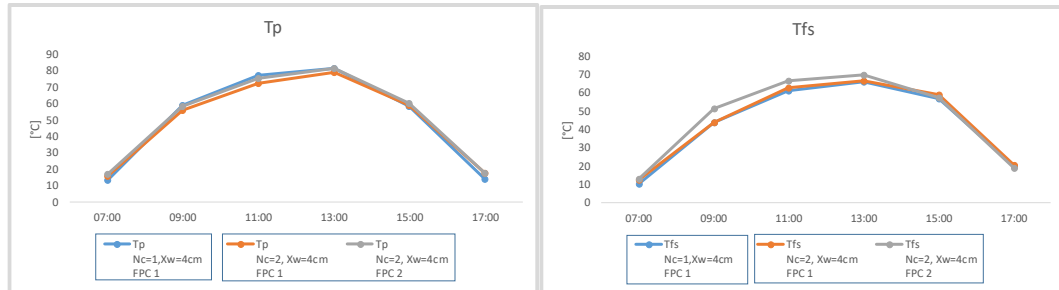
*Fuente: Propia (2022)*

Como se aprecia en la gráfica anterior las curvas de Temperatura de la Placa de Absorción (Tp) presentan comportamientos similares, es decir que alcanzan valores muy parecidos a una misma profundidad sin importar cuantos colectores solares se usen. Por otra parte las curvas de Temperatura del Agua a la Salida del Colector (Tfs) para un sistema con 2 colectores presenta valores ligeramente superiores respecto al sistema con 1 solo Colector Solar.

En la siguiente gráfica se aprecia la Temperatura de la Placa de Absorción (Tp) y la Temperatura del Agua a la Salida del Colector Solar (Tfs) a una Profundidad de Agua Contaminada de 4 cm para los 2 sistemas de destilación analizados con Colector Solar.

**Figura 109**

*Temperatura de la Placa de Absorción [Tp] (izq.) y Temperatura del Agua a la Salida del Colector Solar [Tfs] (der.) para  $X_w=4\text{cm}$ ,  $N_c=1$  y  $N_c=2$*



*Fuente: Propia (2022)*

Como se observa en la gráfica anterior las curvas de Temperatura de la Placa de Absorción ( $T_p$ ) presentan comportamientos similares, es decir que alcanzan valores muy parecidos a una misma profundidad sin importar cuantos Colectores Solares se usen. Por otra parte las curvas de Temperatura del Agua a la Salida del Colector ( $T_{fs}$ ) para un sistema con 2 colectores presenta valores ligeramente superiores respecto al sistema con 1 solo Colector Solar. A diferencia de la gráfica anterior a esta profundidad de 4 cm las temperaturas  $T_p$  y  $T_{fs}$  son ligeramente inferiores respecto a una profundidad de 2 cm.

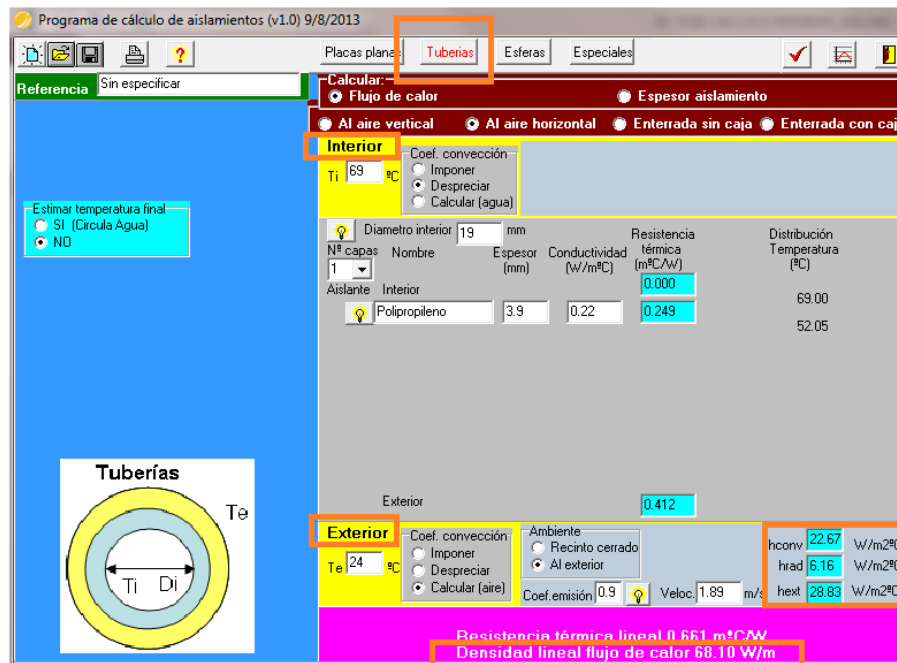
#### **4.2.6. EVALUACIÓN DE PERDIDAS DE CALOR UTILIZANDO EL PROGRAMA AISLAM**

Mediante el programa AISLAM estimaremos las pérdidas de calor que ocurren en algunos componentes del sistema de destilación solar utilizando 1 colector solar.

Este programa es desarrollado por la Universidad Politécnica de Valencia es reconocido y utilizado ampliamente como una herramienta confiable para el cálculo de espesores de aislamiento térmico y flujos de calor sobre equipos y elemento de edificios e instalaciones industriales.

**Figura 110**

*Interfaz de Programa AISLAM*



*Fuente: Tomada de AISLAM*

Para las siguientes estimaciones de pérdidas de calor utilizaremos los datos promedio de la Tabla 31 “Resultados obtenidos utilizando 1 colector solar ( $N_c=1$ ) a una profundidad de 2 cm ( $X_w=2\text{cm}$ )”

#### 4.2.6.1. PERDIDAS DE CALOR EN TUBERÍAS

La tubería utilizada en este proyecto tanto para la línea de agua caliente como para la de agua fría (colector solar) presenta las siguientes características

- Material : Polipropileno
- Conductividad : 0.22 W/mK
- Diámetro interno : 19.1 mm
- Diámetro externo : 26.9 mm
- Espesor : 3.9 mm

#### 4.2.6.1.1. Tubería de agua caliente

A modo de comprobar la validez de las relaciones de las cuales se sustenta este programa, es que realizaremos un cálculo manual de ejemplo con los datos descritos anteriormente y valores promedio de Tabla 31 a horas 13:00 ( $T_{fs}=69^{\circ}\text{C}$ ,  $T_a=24^{\circ}\text{C}$ )

Para este caso particular de una tubería que conduce agua caliente consideramos una resistencia térmica interior despreciable. El flujo de calor proveniente del agua caliente atraviesa la capa de la tubería de polipropileno, esta capa ofrece una resistencia térmica por conducción. Luego de atravesar esta capa el flujo de calor se disipa en el ambiente exterior por medio de convección y radiación. Dicho esto, podemos trabajar este problema de la siguiente manera.

$$\frac{q}{H} = \frac{T_{\text{int}} - T_{\text{ext}}}{\frac{\ln\left(\frac{r_{\text{ext}}}{r_{\text{int}}}\right)}{2 \cdot \pi \cdot k} + \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot r_{\text{ext}} \cdot h_{\text{conv\_rad,ext}}}} \quad \text{Ec. (a)}$$

Para aplicar la Ec.(a) es necesario calcular  $h_{\text{conv\_rad,ext}}$ . Para determinar  $h_{\text{conv}}$  es necesario calcular el producto  $v \cdot D$  donde “D” es el diámetro exterior de la tubería en [m] y “v” es la velocidad del viento en [m/s]

$$v \cdot D = 1.89 \cdot 0.0269 = 0.05084$$

Este valor corresponde a régimen turbulento. Por lo que  $h_{\text{conv}}$  se calcula como:

$$h_{\text{conv}} = 8.9 \cdot \frac{v^{0.9}}{D^{0.1}} \quad \text{Ec. (b)}$$
$$h_{\text{conv}} = 8.9 \cdot \frac{1.89^{0.9}}{0.0269^{0.1}} = 22.66 \left[ \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}} \right]$$

Para determinar  $h_{\text{rad}}$  será necesario asumir un valor para  $T_{\text{sup}}$  y aplicar la siguiente expresión:

$$h_{\text{rad}} = \varepsilon * \sigma * (T_{\text{sup}} + T_{\text{amb}}) * (T_{\text{sup}}^2 + T_{\text{amb}}^2) \quad \text{Ec.(c)}$$

$$h_{\text{rad}} = 0.9 * 5.67 \times 10^{-8} * (50 + 273.15 + 24 + 273.15) * ((50 + 273.15)^2 + (24 + 273.15)^2)$$

$$h_{\text{rad}} = 6.1 \left[ \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{°C}} \right]$$

Luego

$$h_{\text{conv\_rad,ext}} = 22.66 + 6.1 = 28.76 \left[ \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{°C}} \right]$$

Aplicando la Ec. (a) tenemos que:

$$\frac{q}{H} = \frac{69 - 24}{\frac{\text{Ln} \left( \frac{0.01345}{0.00955} \right)}{2 * \pi * 0.22} + \frac{1}{2 * \pi * 0.01345 * 28.76}}$$

$$\frac{q}{H} = 68.27 \text{ [W/m]}$$

Para determinar si el valor asumido  $T_{\text{sup}} = 50^\circ\text{C}$  es el correcto se deberá comprobar.

Para ello podemos utilizar la siguiente expresión:

$$\frac{q}{H} = \frac{T_{\text{sup}} - T_{\text{amb}}}{\frac{1}{2 * \pi * r_{\text{ext}} * h_{\text{conv\_rad,ext}}}} \quad \text{Ec. (d)}$$

$$68.27 = \frac{T_{\text{sup}} - 24}{\frac{1}{2 * \pi * 0.01345 * 28.76}}$$

$$T_{\text{sup}} = 52.09 \text{ °C}$$

Como el valor asumido difiere del calculado se deberá volver a calcular hasta que estos dos valores converjan a uno solo, de tal forma que el procedimiento se vuelve iterativo. Este valor de convergencia se logra con un  $T_{\text{sup}} = 52.05 \text{ °C}$ . Luego el flujo de calor correcto será  $\frac{q}{H} = 68.10 \text{ [W/m]}$ . Estos valores pueden comprobarse haciendo uso del programa directamente.

En la siguiente tabla se aprecia los resultados obtenidos a las diversas horas del día utilizando el programa AISLAM.

**Tabla 35**

*Flujos de calor perdido con Tubería de Polipropileno (Tubería agua caliente)*

Hora del día	Temperatura agua caliente Tfs [°C]	Temperatura exterior Ta [°C]	Longitud de tubería [m]	Flujo de Calor Perdido [W/m]	Resistencia Térmica lineal [m°C/W]	Flujo de Calor Perdido total [W]
07:00	9	12	1.2	4.39	0.683	5.18
09:00	46	18	1.2	41.77	0.670	49.29
11:00	68	23	1.2	68.01	0.662	80.25
13:00	69	24	1.2	68.10	0.661	80.36
15:00	59	22	1.2	55.67	0.665	65.69
17:00	24	15	1.2	13.28	0.678	15.67

*Fuente: Propia (2022)*

Para la siguiente tabla supondremos una Tubería de Acero de 3/4 pulg (DN=20, diámetro exterior 26.7 mm, diámetro interior 20.96 mm, espesor 2.87 mm) aislada térmicamente mediante lana de vidrio de 1 pulg de espesor. Tomando las mismas temperaturas internas y externas tenemos los siguientes resultados.

**Tabla 36**

*Flujos de calor perdido con Tubería de Acero y Aislamiento Lana de vidrio (Tubería agua caliente)*

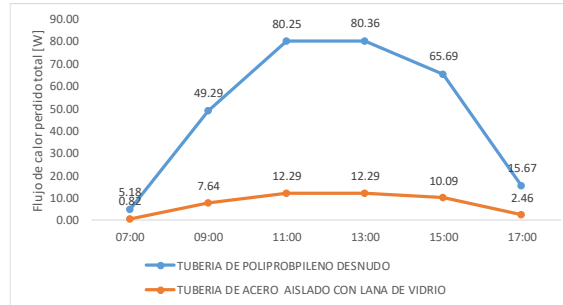
Hora del día	Temperatura agua caliente Tfs [°C]	Temperatura exterior Ta [°C]	Longitud de tubería [m]	Flujo de Calor Perdido [W/m]	Resistencia Térmica lineal [m°C/W]	Flujo de Calor Perdido total [W]
07:00	9	12	1.2	0.68	4.400	0.82
09:00	46	18	1.2	6.37	4.398	7.64
11:00	68	23	1.2	10.24	4.397	12.29
13:00	69	24	1.2	10.24	4.396	12.29
15:00	59	22	1.2	8.41	4.397	10.09
17:00	24	15	1.2	2.05	4.399	2.46

*Fuente: Propia (2022)*

En la siguiente gráfica se aprecia claramente la disminución del flujo de calor perdido al utilizar tubería de acero aislada térmicamente en lugar de tubería de polipropileno desnudo.

**Figura 111**

*Flujos de calor perdido para Tubería de Polipropileno y Tubería de Acero con aislamiento de Lana de Vidrio (Tubería agua caliente)*



*Fuente: Propia (2022)*

#### 4.2.6.1.2. Tubería de agua fría

En la siguiente tabla se aprecia los flujos de calor perdido para una tubería de polipropileno desnudo y en la siguiente para una tubería de acero con aislamiento de lana de vidrio de 1 pulgada de espesor.

**Tabla 37**

*Flujos de calor perdido con Tubería de Polipropileno (Tubería agua fría)*

Hora del día	Temperatura agua fría Tfe [°C]	Temperatura exterior Ta [°C]	Longitud de tubería [m]	Flujo de Calor Perdido [W/m]	Resistencia Térmica lineal [m°C/W]	Flujo de Calor Perdido total [W]
07:00	7	12	2.7	7.31	0.684	19.59
09:00	23	18	2.7	7.39	0.676	19.81
11:00	47	23	2.7	35.97	0.667	96.40
13:00	53	24	2.7	43.60	0.665	116.85
15:00	45	22	2.7	34.41	0.668	92.22
17:00	19	15	2.7	5.89	0.679	15.79

*Fuente: Propia (2022)*

**Tabla 38**

*Flujos de calor perdido con Tubería de Acero y Aislamiento Lana de Vidrio (Tubería agua fría)*

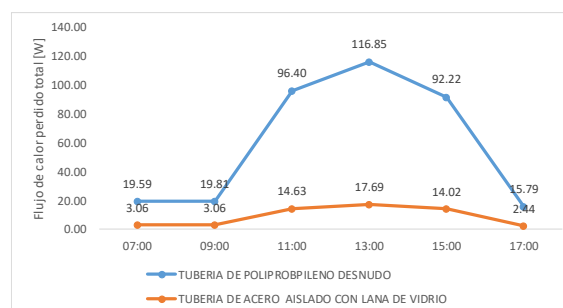
Hora del día	Temperatura agua fría T <sub>fe</sub> [°C]	Temperatura exterior T <sub>a</sub> [°C]	Longitud de tubería [m]	Flujo de Calor Perdido [W/m]	Resistencia Térmica lineal [m°C/W]	Flujo de Calor Perdido total [W]
07:00	7	12	2.7	1.14	4.400	3.06
09:00	23	18	2.7	1.14	4.398	3.06
11:00	47	23	2.7	5.46	4.397	14.63
13:00	53	24	2.7	6.60	4.396	17.69
15:00	45	22	2.7	5.23	4.397	14.02
17:00	19	15	2.7	0.91	4.399	2.44

*Fuente: Propia (2022)*

En la siguiente gráfica se aprecia claramente la disminución del flujo de calor perdido al utilizar tubería de acero aislada térmicamente en lugar de tubería de polipropileno.

**Figura 112**

*Flujos de calor perdido para Tubería de Polipropileno y Tubería de Acero con aislamiento de Lana de Vidrio (Tubería agua fría)*



*Fuente: Propia (2022)*

#### 4.2.6.2. PERDIDAS DE CALOR EN EL ALAMBIQUE SOLAR

##### 4.2.6.2.1. Perdida de calor por la parte inferior

En la siguiente tabla se aprecia los flujos de calor perdido por la parte inferior de la bandeja del evaporador. La bandeja es de acero inoxidable de 1mm y presenta aislamiento de lana de vidrio de 50 mm de espesor.

**Tabla 39**

*Flujos de calor perdido por la parte inferior del Alambique Solar utilizando Lana de Vidrio de 50 mm*

Hora del día	Temperatura Bandeja Tb [°C]	Temperatura exterior Ta [°C]	Área inferior [m <sup>2</sup> ]	Flujo de Calor Perdido [W/m <sup>2</sup> ]	Coefficiente Global [W/m <sup>2</sup> °C]	Flujo de Calor Perdido total [W]
07:00	10	12	2.48	1.46	0.730	3.62
09:00	21	18	2.48	2.20	0.732	5.46
11:00	50	23	2.48	19.83	0.734	49.18
13:00	57	24	2.48	24.25	0.735	60.14
15:00	49	22	2.48	19.82	0.734	49.15
17:00	34	15	2.48	13.89	0.731	34.45

*Fuente: Propia (2022)*

En la siguiente tabla se muestra los flujos de calor perdido suponiendo cambiar el aislamiento térmico por poliuretano.

**Tabla 40**

*Flujos de calor perdido por la parte inferior del Alambique Solar utilizando Poliuretano 50 mm de espesor*

Hora del día	Temperatura Bandeja Tb [°C]	Temperatura exterior Ta [°C]	Área inferior [m <sup>2</sup> ]	Flujo de Calor Perdido [W/m <sup>2</sup> ]	Coefficiente Global [W/m <sup>2</sup> °C]	Flujo de Calor Perdido total [W]
07:00	10	12	2.48	1.08	0.542	2.68
09:00	21	18	2.48	1.63	0.543	4.04
11:00	50	23	2.48	14.71	0.545	36.48
13:00	57	24	2.48	17.98	0.545	44.59
15:00	49	22	2.48	14.70	0.544	36.46
17:00	34	15	2.48	10.32	0.543	25.59

*Fuente: Propia (2022)*

En la siguiente tabla se muestra los flujos de calor perdido suponiendo cambiar la bandeja de acero por geomembrana (polietileno) de 1 mm colocada sobre una cubierta de madera de 2 pulgadas de espesor.

**Tabla 41**

*Flujos de calor perdido por la parte inferior del Alambique Solar utilizando Geomembrana y Madera de 1 y 50 mm de espesor respetivamente*

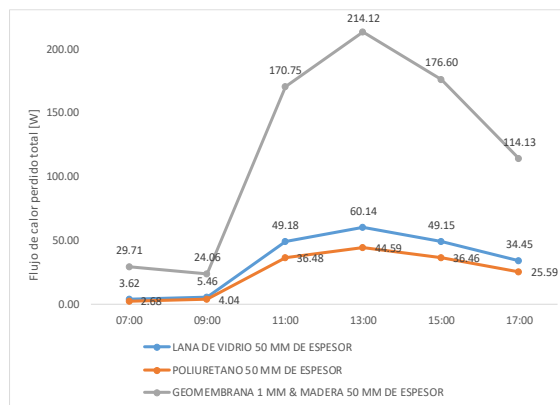
Hora del día	Temperatura Agua Tw [°C]	Temperatura exterior Ta [°C]	Área inferior [m <sup>2</sup> ]	Flujo de Calor Perdido [W/m <sup>2</sup> ]	Coefficiente Global [W/m <sup>2</sup> °C]	Flujo de Calor Perdido total [W]
07:00	7	12	2.48	11.98	2.396	29.71
09:00	22	18	2.48	9.70	2.426	24.06
11:00	51	23	2.48	68.85	2.549	170.75
13:00	59	24	2.48	86.34	2.467	214.12
15:00	51	22	2.48	71.21	2.456	176.60
17:00	34	15	2.48	46.02	2.422	114.13

*Fuente: Propia (2022)*

En la siguiente gráfica podemos apreciar que la mejor opción de aislamiento para la bandeja es con poliuretano seguido de la lana de vidrio y por último madera. Aunque este último es menos costoso presenta pérdidas de calores mayores.

**Figura 113**

*Flujos de calor perdido por la parte inferior del Alambique Solar utilizando Lana de Vidrio, Poliuretano y Madera*



*Fuente: Propia (2022)*

#### **4.2.6.2.2. Pérdida de calor por la parte frontal y lateral**

La parte frontal y lateral del condensador del alambique solar no presenta aislamiento térmico alguno, por lo que por estas zonas existen pérdidas de calor que merecen ser calculadas.

Para las siguientes tablas asumo que la temperatura interior está cercana a la temperatura del agua en la bandeja, con este supuesto podríamos aproximar los flujos de calores perdidos.

**Tabla 42**

*Flujos de calor perdido por la parte frontal del Alambique Solar*

Hora del día	Temperatura interior [°C]	Temperatura exterior Ta [°C]	Área frontal [m <sup>2</sup> ]	Flujo de Calor Perdido [W/m <sup>2</sup> ]	Coefficiente Global [W/m <sup>2</sup> °C]	Flujo de Calor Perdido total [W]
07:00	7	12	0.43	19.72	3.944	8.44
09:00	22	18	0.43	16.67	4.168	7.14
11:00	51	23	0.43	141.24	5.044	60.46
13:00	59	24	0.43	183.05	5.230	78.36
15:00	51	22	0.43	146.09	5.037	62.54
17:00	34	15	0.43	87.47	4.604	37.45

*Fuente: Propia (2022)*

**Tabla 43**

*Flujos de calor perdido por la parte lateral del Alambique Solar*

Hora del día	Temperatura interior [°C]	Temperatura exterior Ta [°C]	Área lateral [m <sup>2</sup> ]	Flujo de Calor Perdido [W/m <sup>2</sup> ]	Coefficiente Global [W/m <sup>2</sup> °C]	Flujo de Calor Perdido total [W]
07:00	7	12	0.44	20.10	4.019	8.84
09:00	22	18	0.44	17.03	4.256	7.49
11:00	51	23	0.44	144.20	5.150	63.45
13:00	59	24	0.44	186.96	5.342	82.26
15:00	51	22	0.44	149.18	5.144	65.64
17:00	34	15	0.44	89.33	4.701	39.31

*Fuente: Propia (2022)*

## CAPÍTULO V

### 5. ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO

#### 5.1. ANÁLISIS TÉCNICO

##### 5.1.1. Distrito de Majes

El Distrito de Majes es uno de los veinte distritos que conforman la provincia de Caylloma en el departamento de Arequipa. Según el censo nacional del año 2017 la población de este distrito era de 60 108 habitantes, actualmente se estimada que la población está cerca de los 100 000 habitantes, con una tasa de crecimiento anual de 10.7%, y según las proyecciones realizadas se estima que dentro de los próximos años llegaría a los 120 000 habitantes.

**Tabla 44**

*Población Total del Distrito de Majes por Área Urbana, Rural y Género*

Área	Hombre	Mujer	Total	Porcentaje
Urbano	24838	25494	50332	83.7%
Rural	5112	4664	9776	16.3%
<b>Total</b>	<b>29950</b>	<b>30158</b>	<b>60108</b>	<b>100%</b>

*Fuente: INEI (2017)*

La ciudad Majes está conformada por las habilitaciones denominadas: Ciudad Majes integrada por los módulos A, B, C, D, E, F, G y H. El centro poblado El Pedregal conformado por sus ampliaciones Pedregal Norte, Pedregal Sur y Pedregal Centro. Las habilitaciones industriales Vivienda Taller y Espíritu Santo además de las ocupaciones informales como Ciudad Perdida ubicada en Cerro Sutton. (Municipalidad Distrital de Majes, 2021). Es importante señalar que el Distrito de Majes presenta 5 Municipalidades Menores que son: Santa María de la Colina, Bello Horizonte, San Juan el Alto, Juan Velasco Alvarado y El Pedregal tal como se muestra en el Anexo 4.

### 5.1.1.1. Estructura y Expansión Urbana

El crecimiento del Distrito de Majes tiene sus inicios desde el año 1999 y está ligados al desarrollo del Proyecto de Irrigación Majes (1983). Se identifican diez Sectores Urbanos, estos a su vez se integran de Asentamientos Humanos, Asociaciones de Vivienda o Centros Poblados. Estos Sectores Urbanos se visualizan en la siguiente tabla y sus ubicaciones en el distrito se aprecian en el Anexo 5.

**Tabla 45**

*Sectores Urbanos del Distrito de Majes*

<b>Sectores urbanos</b>	<b>Nombre</b>	<b>Superficie (ha)</b>
Sector 01	C.P. Pedregal Norte	54.83
Sector 02	C.P. Pedregal Centro	66.18
Sector 03	C.P. Pedregal Sur	80.31
Sector 04	Ciudad Majes módulos A, B	335.96
Sector 05	Ciudad Majes módulos C	162.89
Sector 06	Ciudad Majes módulo D, G	236.86
Sector 07	Ciudad Majes módulo E	141.10
Sector 08	Ciudad Majes módulo F	21.41
Sector 09	Zona Industrial y Vivienta Taller	165.25
Sector 10	Ocupaciones Informales	no det.

*Fuente: Municipalidad Distrital de Majes (2021)*

El crecimiento y expansión urbana se desarrolla de las siguientes formas:

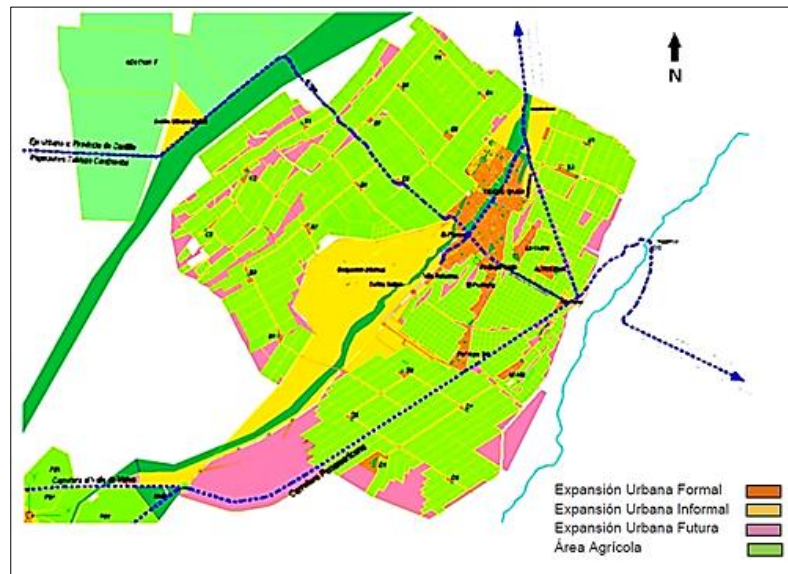
*Expansión formal* a través de convocatorias de sorteos para venta de lotes y subastas públicas, por parte de las dos entidades: AUTODEMA y la Municipalidad Distrital de Majes (Municipalidad Distrital de Majes, 2021).

*Expansión informal* a través de ocupaciones informales por parte de asociaciones de vivienda, lotizaciones, asentamientos humanos informales, etc., que al ubicarse en áreas eriazas pertenecientes a la Municipalidad Distrital de Majes ocasionan un proceso desordenado de posesión del suelo majeño (Municipalidad Distrital de Majes, 2021).

En la siguiente figura podemos apreciar la expansión urbana formal, informal, así como la expansión urbana futura que se proyecta para los próximos años. En el Anexo 6 se aprecia el Mapa de Propuesta de Crecimiento Urbano para el Distrito de Majes.

### Figura 114

#### *Expansión Urbana del Distrito de Majes*



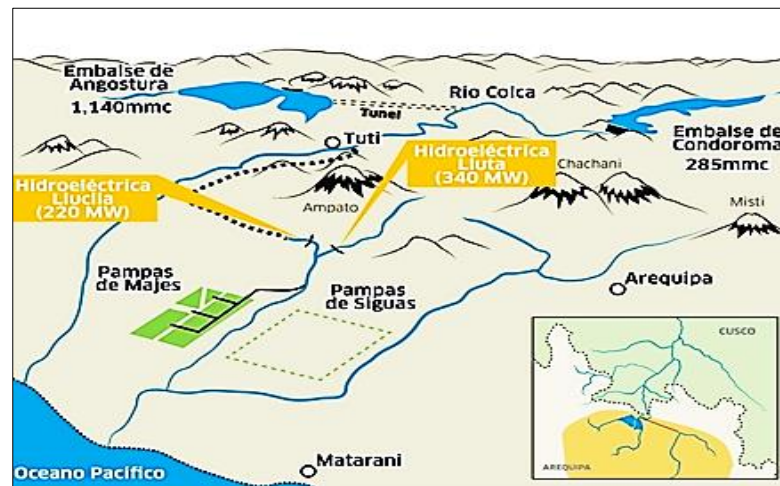
*Fuente: Municipalidad Distrital de Majes (2021)*

#### **5.1.1.2. Suministro de Agua Cruda al Distrito de Majes**

Actualmente el Distrito de Majes toma su fuente de agua de la represa de Condoroma, las aguas pasan por la presa de captación y trasvase Tuti, luego pasando por una secuencia de túneles y canales las aguas discurren al río Sigwas hasta la localidad de Pitay, donde nuevamente son captadas por una bocatoma, luego estas se derivan hacia las Pampas de Majes por medio de canales y tuberías de presión. De estos se distribuye para el uso poblacional y para el uso agrícola.

**Figura 115**

*Esquema Hidráulico Proyecto Majes Siguas*



Fuente: <https://sites.google.com/site/sistemadeirrigacion3126/home/perimetro-de-riego-en-zonas-deserticas>

### 5.1.1.3. Sistema de Agua Potable

El Distrito de Majes en la actualidad cuenta con 2 Plantas de Potabilización de Agua:

La *Planta de Tratamiento de Agua Potable de El Pedregal* que utiliza agua cruda del canal lateral denominado 3R, línea divisora entre el módulo A y B de Ciudad Majes. La captación es conducida por tubería F°F en 70 m aproximadamente con 8" de diámetro nominal. La planta de Agua Potable consta de dos unidades: la de tipo convencional filtrado lento y la de filtrado rápido. (Municipalidad Distrital de Majes, 2021). Cuyas características comunes son:

- Sistema convencional de dosificación de insumos químicos.
- 2 decantadores.
- Sistema convencional de desinfección.
- Capacidad de tratamiento 15 l/s (filtrado lento) y 20 l/s (filtrado rápido) se cuenta con macromedidor de 8".

- 2 floculadores (filtrado lento) y 1 floculador horizontal (filtrado rápido).
- 4 filtros lentos (filtrado lento) y 4 filtros rápidos (filtrado rápido).

### **Figura 116**

*Planta de Tratamiento de Agua Potable El Pedregal*



*Fuente: Google Earth (2022)*

La *Planta de Tratamiento de Agua Potable para la Ciudad Majes* se ubica más al norte de la primera, cerca al asentamiento E1. Esta se abastece de agua cruda del canal 1R. Es una planta de filtros rápidos y una de las más modernas del país que inicio su operación en el año 2017. Esta planta de tratamiento abastecerá de Agua Potable a los módulos A, B, C, D, E, F y G además de Villa Industrial en su primera y segunda etapa.

## **Figura 117**

### *Planta de Tratamiento de Agua Potable Ciudad Majes*



*Fuente: Google Earth (2022)*

Con respecto a la percepción sobre la calidad de Agua Potable se señala que la causa de la baja calidad se debe a procesos inadecuados de tratamientos, la falta de limpieza de la infraestructura mayor y a la no desinfección periódica y continua de las infraestructuras de almacenamiento.

#### **5.1.1.4. Sistema de Agua de Regadío**

Las aguas que llegan a la pampa de Majes provienen de la represa de Condoroma de la cuenca del río Camaná-Majes-Colca. Según estudios realizados estas aguas son consideradas como buenas para el uso doméstico previamente tratada, y para el uso agrario En la siguiente tabla se aprecia el resultado del análisis fisicoquímico que se realizó a una muestra de agua para riego en el año 2020.

**Tabla 46**

*Análisis Fisicoquímico realizado al Agua de Regadío Pampa de Majes*

Agua de Riego		
Parámetro	Valor	Unidad
pH	8.2	-
Conductividad Eléctrica	748	uS
Cl-	120	mg/L
Na+	100	ppm
(NO3)-	<3	mg/L

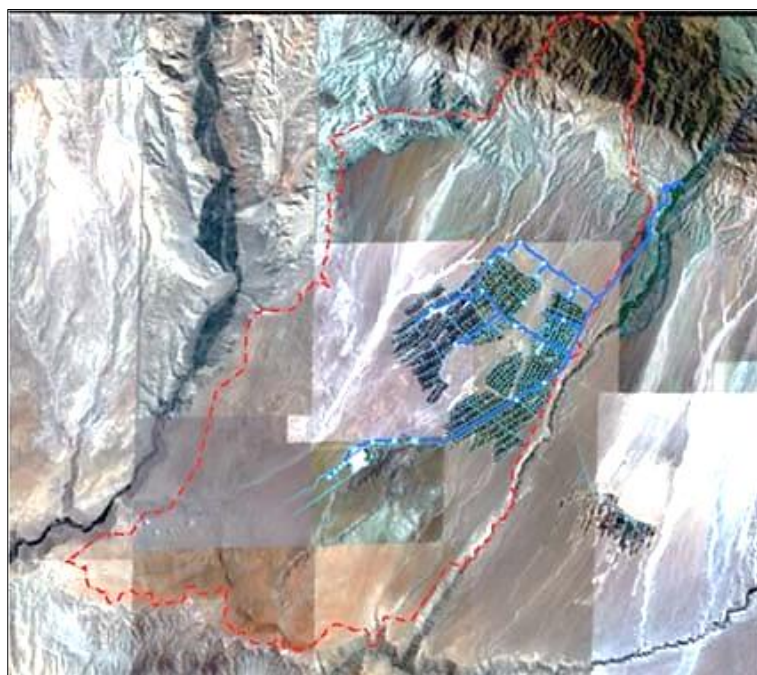
*Nota: Prueba: Potenciómetro-pH, Conductividad, Nitrato y Na+ Titulación Cl-  
Fecha 17/06/2020*

*Fuente: Proporcionado por Junta de Usuarios Pampa de Majes (2022)*

El sistema hidrológico artificial del distrito está conformado por las obras de infraestructura de riego que comprende: el Canal de derivación (134 Km), los canales troncales (169 Km), los vasos reguladores (23), las tuberías troncales (222 Km) y las tuberías menores (267 Km). Esta infraestructura riega casi 18 000 ha de cultivo. (Municipalidad Distrital de Majes, 2021)

**Figura 118**

*Distribución del Agua de Regadío hacia el Distrito de Majes*



*Fuente: Municipalidad Distrital de Majes (2021)*

Según los estudios disponibles, el caudal transportado por el canal de derivación es de 10 m<sup>3</sup>/s, aunque su capacidad es de 30 m<sup>3</sup>/s, caudal que se distribuye de la siguiente manera (Municipalidad Distrital de Majes, 2021).

- Pampa Alta (A, B, C, D y E) : 0,70 l/s/ha en invierno y 0,75 l/s/ha.
- Pampa Baja : 0,33 l/s/ha.
- Uso poblacional e industrial : 0,30 m<sup>3</sup>/s.

#### 5.1.1.5. Población Rural y Ocupaciones Informales

La población de rural del Distrito de Majes se estimó en 9 776 habitantes y ocupa el 16.3% del total según el censo del 2017. En la siguiente tabla se destaca que el número de viviendas en la zona rural es de 5 055 aproximadamente ocupando el 15% del total. La mayor cantidad de estas viviendas son casas independientes con 4 958, el resto chozas o cabañas con 95 y solo 2 viviendas que no son destinados para ser habitadas.

**Tabla 47**

*Viviendas Particulares, por Área Urbana y Rural, y Tipo de Vivienda*

<b>Tipo de vivienda</b>	<b>Urbana</b>	<b>Rural</b>	<b>Total</b>
Casa independiente	23865	4958	28823
Departamento en edificio	106	0	106
Vivienda en quinta	237	0	237
Vivienda en casa de vecindad	551	0	551
Choza o cabaña	0	95	95
Vivienda improvisada	3767	0	3767
Local no destinado para habitación humana	49	2	51
<b>Total</b>	<b>28575</b>	<b>5055</b>	<b>33630</b>
<b>Porcentaje</b>	<b>85%</b>	<b>15%</b>	<b>100%</b>

*Fuente: INEI (2017)*

Las Ocupaciones Informales del Distrito de Majes son de 2 tipos: en la zona rural y en la zona urbana. Los procesos de ocupación informal en zonas rurales se han incrementado en los últimos años a causa de falta de áreas asignadas para vivienda de asalariados que laboran en

este distrito. Estos grupos ocupan terrenos eriazos cercanos a los centros poblados o cercanos a los principales ejes de transporte público y en las zonas de protección de los canales troncales de la irrigación. (Municipalidad Distrital de Majes, 2021). Son estas ocupaciones informales las que carecen en gran parte de los servicios esenciales como luz y desagüe, pero sobre todo de Agua Potable.

**Figura 119**

*Ocupación Informal, Asociación Hijo de Colonos*



*Fuente: Investigación propia (2019)*

La ocupación informal de mayor proporción es la ubicada en la zona denominada Ciudad Perdida, dicho planteamiento urbano fue desechado al inicio porque el suelo era de consistencia calichosa, sin embargo, aquí no existen lotes vacíos o en abandono y actualmente se viene consolidando como área urbana.

### Figura 120

#### Ocupación Informal, Ciudad Perdida

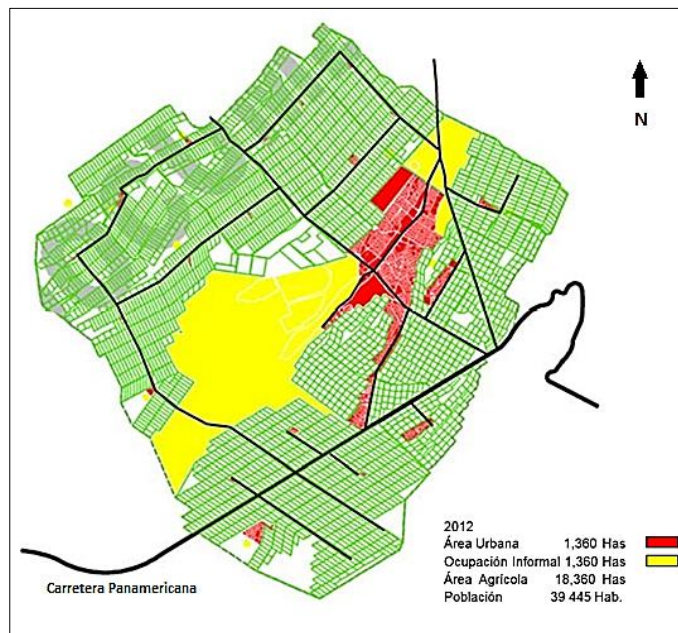


Fuente: Investigación propia (2022)

Otra ocupación informal de importancia es la ocurrida cercana a los módulos más recientes E, F y G de Ciudad Majes. En la siguiente figura se puede apreciar las ocupaciones informales en el Distrito de Majes en color amarillo y la ocupación urbana en color rojo:

### Figura 121

#### Distrito de Majes, Ocupaciones Informales



Fuente: Municipalidad Distrital de Majes (2021)

### 5.1.2. Problemática del Agua Potable y Crecimiento Poblacional

El Distrito de Majes actualmente presenta problemas en su gestión de tratamiento, abastecimiento y distribución de Agua Potable hacia una buena parte de su población urbana debido a falta de capacidad y operatividad de su infraestructura técnica, aunque se han ejecutado varios proyectos en relación, existen otros factores adversos, uno de ellos es la turbidez del agua, este es más notorio en temporadas de avenidas o lluvias, adicionalmente a esto está el crecimiento acelerado y desordenado de su población.

**Figura 122**

*Grifo domiciliario, Agua No Potable (Agua Turbia), Asociación COPRAA*



*Fuente: Investigación propia izq. (2019), der. (2022)*

Es común encontrar en la zona rural del Distrito de Majes conexiones domiciliarias de agua cruda por medio de mangueras delgadas o abastecimiento de agua (cruda o potable) mediante tanques de almacenamiento a través de camiones cisternas que distribuyen esta agua hacia algunas partes de la población rural en crecimiento.

## Figura 123

*Abastecimiento de Agua por Manguera (izq.) y Tanques de Almacenamiento (der.)*



*Fuente: Investigación propia (2022)*

En la siguiente tabla podemos apreciar el tipo de procedencia de agua para las viviendas del Distrito de Majes tanto en la zona urbana como la zona rural. Los porcentajes más altos son para las viviendas con red de agua pública tanto dentro o fuera de esta, este es un indicador muy favorable ya que años atrás los porcentajes más altos los ocupaban viviendas abastecidas por ríos y acequias (Censo del 2007).

## Tabla 48

*Viviendas Particulares con Ocupantes Presentes, por disponibilidad de Alumbrado Eléctrico por Red Pública, según Área Urbana y Rural, y Tipo de Procedencia de Agua*

Área y tipo de procedencia del agua	Dispone de alumbrado eléctrico por red pública			
	Sí	No	Total	Porcentaje
<b>Urbana</b>	<b>11602</b>	<b>3916</b>	<b>15518</b>	<b>84.37%</b>
Red pública dentro de la vivienda	7956	820	8776	47.72%
Red pública fuera de la vivienda, pero dentro de la edificación	882	158	1040	5.65%
Pilón o pileta de uso público	377	250	627	3.41%
Camión cisterna u otro similar	2082	2335	4417	24.02%
Pozo	149	221	370	2.01%
Río, acequia, lago, laguna	76	85	161	0.88%
Otro	80	47	127	0.69%
<b>Rural</b>	<b>2574</b>	<b>300</b>	<b>2874</b>	<b>15.63%</b>
Red pública dentro de la vivienda	1269	133	1402	7.62%
Red pública fuera de la vivienda, pero dentro de la edificación	1056	38	1094	5.95%
Pilón o pileta de uso público	94	7	101	0.55%
Camión cisterna u otro similar	57	48	105	0.57%
Pozo	5	3	8	0.04%
Río, acequia, lago, laguna	33	54	87	0.47%
Otro	60	17	77	0.42%
<b>Total</b>	<b>14176</b>	<b>4216</b>	<b>18392</b>	<b>100%</b>

*Fuente: INEI (2017)*

Pero a pesar de esto sigue habiendo un gran número de viviendas que el día de hoy carecen del servicio del Agua Potable la mayor parte pertenece a la zona rural y otro pequeño porcentaje pertenece a la zona urbana específicamente los módulos más recientes de Ciudad Majes. En la siguiente figura podemos apreciar el abastecimiento de agua a la población a través de camiones cisterna y camiones de carga.

### **Figura 124**

*Abastecimiento de Agua por Camión Cisterna y Camión de Carga*

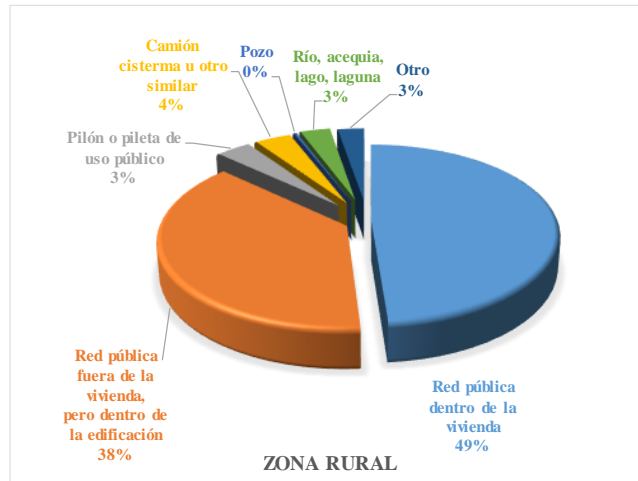


*Fuente: Investigación propia (2021)*

Analizando específicamente a la población rural podemos afirmar que el 49% se abastece de la red pública dentro de la vivienda, el 38% de la red pública fuera de la vivienda, el 4% por medio de camión cisterna, un 3% de una pileta de uso público, otro 3% de un río o acequia, y otro 3 % de otra fuente, tal como se muestra en la siguiente figura.

**Figura 125**

*Abastecimiento de Agua hacia la Zona Rural del Distrito de Majes*



*Fuente: INEI (2017)*

En la siguiente figura se muestra el uso de pozos para almacenar agua cruda ocurrida en algunas viviendas granja ubicadas en la zona rural del Distrito de Majes.

**Figura 126**

*Abastecimiento de Agua por Pozo*



*Fuente: Investigación propia (2021)*

Es preocupante el porcentaje de las viviendas que se abastecen de pozos y canales debido a que estos cuerpos de agua tienen calidad dudosa debido a la contaminación que puede

existir en la zona de donde son extraídas, ya sea por descarga de aguas servidas o también por la disposición de basura y el uso indiscriminado de fertilizantes y plaguicidas.

**Figura 127**

*Abastecimiento de Agua por Canal a un Asentamiento en la “Sección Agraria E”*



*Fuente: Investigación propia (2022)*

SEDAPAR es la empresa prestadora de servicio de Agua Potable en el Distrito de Majes, pero este organismo solo cubre a 6 628 viviendas del área urbana y 0 viviendas del área rural tal como se muestra en la siguiente tabla. Así mismo para el área rural el mayor número de viviendas es abastecida por su organización comunal (asociaciones) y el resto por medio de camiones cisterna.

**Tabla 49**

*Viviendas Particulares con Ocupantes Presentes, por Entidades a la que pagan por el Servicio de Agua, según el Área Urbana y Rural, y Tipo de Vivienda*

Área y tipo de vivienda	Empresa o entidad a la que pagan por el servicio de agua					Total
	Empresa prestadora de servicio	Municipalidad	Organización comunal	Camión cisterna (Pago directo)	Otro	
<b>Urbana</b>	<b>6628</b>	<b>183</b>	<b>369</b>	<b>4417</b>	<b>17</b>	<b>11614</b>
Casa independiente	5710	178	364	4062	16	10330
Departamento en edificio	82	-	-	-	-	82
Vivienda en quinta	211	-	-	-	-	211
Vivienda en casa de vecindad	441	1	-	2	-	444
Vivienda improvisada	157	4	4	340	1	506
Local no destinado para habitación humana	27	-	1	13	-	41
<b>Rural</b>	<b>0</b>	<b>7</b>	<b>1905</b>	<b>105</b>	<b>1</b>	<b>2018</b>
Casa independiente	-	7	1905	102	1	2015
choza o cabaña	-	-	-	2	-	2
Local no destinado para habitación humana	-	-	-	1	-	1
<b>Total</b>	<b>6628</b>	<b>190</b>	<b>2274</b>	<b>4522</b>	<b>18</b>	<b>13632</b>
<b>Porcentaje</b>	<b>48.6%</b>	<b>1.4%</b>	<b>16.7%</b>	<b>33.2%</b>	<b>0.1%</b>	<b>100%</b>

*Fuente: INEI (2017)*

De acuerdo a la investigación desarrollada en este proyecto e informes realizados por el INEI, SEDAPAR y la Municipalidad del Distrito de Majes, podemos mencionar que algunos de los sectores más destacados que carecen de Agua Potable actualmente y muy probable durante años venideros son los siguientes:

- Ciudad Perdida, ubicada sobre Cerro Sutton al lado este del distrito.
- Ciudad Majes módulos D, E; F y G. al lado noreste del distrito.
- Parte de Villa Industrial, en la parte central del distrito.
- Los Asentamientos y las mismas familias de las parcelas que ocupan las secciones agrícolas A, B, C, D y E.
- Las expansiones urbanas ubicada al suroeste de Pedregal Sur.
- Ocupaciones informales frente al Ciudad Perdida, al lado de la Quebrada Hospicio.
- Ocupaciones informales al norte de los módulos E, F y G de Ciudad Majes.

En resumen, afirmamos que es notorio el déficit del agua potable en la zona rural y en las partes más recientes de la zona urbana. Este problema afecta principalmente la salud de los

pobladores, que además de esto no gozan de una adecuada calidad de vida. También se hace evidente que la escasez de agua podría afectar la instalación de industrias y servicios que vienen de la mano de la producción agropecuaria del Distrito de Majes.

La proyección de la población del Distrito de Majes para junio del 2020 según el INEI era de 70 780 habitantes en total, sin embargo, otros indicadores mencionan que la población de este distrito para el año 2021 ya superó los 100 000 habitantes. Los criterios fundamentales para esta estimación son: el crecimiento vegetativo, es decir, la diferencia entre el número de nacimiento y el número de defunciones, y el efecto migratorio que en los últimos años ha sido el más resaltante.

En la siguiente tabla se muestra las proyecciones realizadas por la Municipalidad del Distrito de Majes, se destaca que para el año pasado (2021) la población total sería 97067 pobladores con una tasa de crecimiento promedio de 5.7%.

**Tabla 50**

*Proyecciones de la Población del Distrito de Majes*

<b>Año</b>	<b>Hombres</b>	<b>Mujeres</b>	<b>Total</b>
2012	29993	29041	59034
2013	32168	31299	63467
2014	34501	33732	68233
2015	37003	36354	73357
2016	39687	39180	78867
2017	42135	41799	83934
2018	44277	44137	88414
2019	46048	46125	92173
2020	47390	47700	95090
2021	48258	48809	97067
<b>Tasa de crecimiento promedio</b>	<b>5.4%</b>	<b>5.9%</b>	<b>5.7%</b>

*Fuente: Municipalidad Distrital de Majes (2021)*

Podemos concluir que la población del Distrito de Majes sigue en aumento cada año y queda como labor de las autoridades responsables cumplir con sus funciones para alcanzar el

desarrollo, bienestar y sobre todo la salud de sus pobladores. Los pobladores de las zonas rurales y ocupaciones informales son los que carecen hoy en día del servicio de Agua Potable, y los más propensos a sufrir enfermedades infecciosas, endémicas y diarreicas. Es importante dar a conocer el riesgo a los que están expuestos estos pobladores, así mismo se necesita poner más relevancia en buscar otras alternativas de obtención agua pura sobre todo teniendo especial atención en aprovechar el abundante recurso solar con el que cuenta este distrito.

### **5.1.3. Destilación Solar como Alternativa de obtención de Agua Pura**

La destilación solar es un método muy sencillo de mejorar la calidad del agua de una forma económica y ecoamigable. Esta forma permite purificar diversos tipos de agua como el agua de mar, el agua de río, el agua empozada, etc. A pesar de esto la purificación de agua mediante energía solar es subestimada y casi desconocida por los pobladores del Distrito de Majes, lo que hace reflexionar que hace falta mayor difusión acerca de su utilidad, ventajas y limitaciones. Aunque fue desarrollada inicialmente para ser aplicada hacia regiones áridas localizadas en la costa con el fin obtener agua potable a partir de agua de mar, logró ser útil en otras regiones que carecen del recurso vital. Su campo logró extenderse por lo que ahora es aplicada hacia cualquier grupo de personas aisladas o carentes de agua potable, estas personas pueden ser coincidentemente familias de pocos miembros.

En el Distrito de Majes el promedio de miembros o personas por vivienda en la zona rural es 3 (INEI, 2017) y según los valores recomendados por la OMS (Tabla 3 y 4) se requeriría 9.6 litros/día (3 personas adultas) para mantener el cuerpo hidratado. Con este simple cálculo se afirma que el destilador solar propuesto en este proyecto podría cumplir esta demanda (6 a 10 litros/día para el mes de Junio), aun así, existen mejoras y formas que pueden realizarse para aumentar la producción como, por ejemplo: disminuir aún más la profundidad del agua

contaminada en la bandeja o mejorar el aislamiento en las tuberías de conexión o simplemente usar 2 o más destiladores en lugar de 1 solo.

Podemos afirmar que la Destilación Solar perfectamente puede ser aplicada hacia la zona rural del Distrito de Majes para mejorar la calidad del agua cruda o agua para riego, que es el de mayor presencia y la más accesible en cualquier sector del distrito.

En la siguiente figura puede apreciarse algunos pobladores de la Zona Rural del Distrito de Majes dedicados a la crianza de animales y al cultivo en las parcelas aledañas que tuvieron la oportunidad de conocer este método de purificación de agua. Así como ellos existen alrededor de 2 874 familias (INEI, 2017) que podrían mejorar su calidad de vida al mejorar la calidad del agua que consumen diariamente, con ello conservar su salud evitando enfermedades como la diarrea, el cólera o males intestinales por consumir aguas contaminadas, además de evitar la deshidratación por no consumir la cantidad de agua necesaria.

### **Figura 128**

*Algunos pobladores de la Zona Rural del Distrito de Majes que podrían beneficiarse de la Destilación Solar*



*Fuente: Propia (2022)*

El sistema de destilación propuesto en este proyecto ofrece la ventaja ser fácil de implementar, operar, realizar el mantenimiento, bajo costo de construcción y larga vida útil.

Queda claro que este prototipo de destilación solo es uno de los muchos que se podrían comenzar a utilizarse en la zona rural de este distrito. También queda claro que este sistema propuesto puede utilizarse sin colector solar, o con solo 1 colector solar, así como también podrían utilizarse 2 o más alambiques para aumentar la producción de agua pura diaria utilizando un solo tanque de control de nivel de agua.

Otros destiladores que pueden implementarse perfectamente y a un costo no demasiado elevado son el destilador tipo pirámide o el destilador de efecto múltiple, aunque tendría dificultades en el mantenimiento es una interesante opción. Una alternativa más comercial es el destilador tipo panel que se presenta así mismo de buen desempeño y alta producción de agua pura.

## 5.2. ANÁLISIS ECONÓMICO

### 5.2.1. COSTO DE CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA

Para la elaboración del metrado y costo de fabricación de todos los componentes y partes del sistema propuesto se utilizó los planos finales los cuales muestran los detalles necesarios.

En la siguiente tabla se presenta el costo de fabricación de todos los componentes del sistema propuesto dentro de estos se incluye los materiales, mano de obra y costos indirectos.

**Tabla 51**

*Costo del Sistema de Destilación Solar Propuesto*

Item	Nombre	Cantidad	Costo
1	Alambique solar	1	S/ 1,982.02
2	Tanque de control de nivel de agua contaminada	1	S/ 441.62
3	Colector solar de placa plana (FPC)	1	S/ 927.09
4	Tanque de reserva de agua contaminada	1	S/ 893.55
5	Tuberías, mangueras, accesorios y otros	-	S/ 113.94
<b>Costo total:</b>			<b>S/ 4,358.23</b>

*Fuente: Propia (2022)*

El costo total de este proyecto es S/. 4 358.23, el costo del Alambique Solar es de S/. 1 982,02 que es el componente principal y tiene un costo mayor que un Colector Solar de Placa Plana cuyo valor es S/. 927,09.

Es importante señalar que todos los materiales se adquirieron en la ciudad de Arequipa en los últimos meses del año 2021 con un valor referencial del dólar de S/. 3,99. La mayoría de los materiales para esas fechas tuvieron un alza significativa, se espera que algunos materiales regresen a su precio normal.

### 5.2.1.1. Costo del Alambique Solar

El Alambique Solar es el componente más complejo de todo el sistema y está compuesto de 2 partes principales: el Condensador y el Evaporador. En la siguiente tabla se detalla el costo de fabricación del Alambique Solar como componente y en las siguientes tablas el costo de fabricación de cada una de sus partes que la componen.

**Tabla 52**

*Costo del Alambique Solar*

<b>1.0 Alambique solar</b>		
Item	Nombre	Costo
<b>1.1</b>	<b>Condensador</b>	<b>S/ 856.78</b>
1.1.1	Cubierta superior	S/ 235.71
1.1.2	Canaleta recolectora de agua destilada	S/ 118.97
1.1.3	Bastidor	S/ 152.70
1.1.4	Accesorios	S/ 28.00
1.1.5	Pernos, arandelas, tuercas y otros	S/ 121.40
1.1.6	Mano de obra y otros	S/ 200.00
<b>1.2</b>	<b>Evaporador</b>	<b>S/ 919.14</b>
1.2.1	Bandeja o fuente	S/ 481.34
1.2.2	Aislamiento térmico	S/ 26.18
1.2.3	Bastidor	S/ 131.31
1.2.4	Accesorios	S/ 40.50
1.2.5	Pernos, arandelas, tuercas y otros	S/ 39.80
1.2.6	Mano de obra y otros	S/ 200.00
<b>1.3</b>	<b>Estructura de soporte</b>	<b>S/ 206.11</b>
1.3.1	Estructura de soporte	S/ 106.11
1.3.2	Mano de obra y otros	S/ 100.00
<b>Total:</b>		<b>S/1,982.02</b>

*Fuente: Propia (2022)*

**Tabla 53***Costo del Condensador*

<b>1.1 Condensador</b>						
Item	Nombre	Cantidad	Metrado	Unidad	Costo/ Unidad	Costo
<b>1.1.1</b>	<b>Cubierta superior</b>	-	-	-	-	<b>S/ 235.71</b>
	Vidrio	4	0.79	m2	S/ 66.69	S/ 210.00
	Marco lateral	4	0.04	m2	S/ 82.30	S/ 25.71
<b>1.1.2</b>	<b>Canaleta recolectora de agua destilada</b>	-	-	-	-	<b>S/ 118.97</b>
	Chapa inox	4	0.15	m2	S/ 82.30	S/ 94.97
	Niple inox de Ø1/2"	4	3.0	pulg	S/ 6.00	S/ 24.00
<b>1.1.3</b>	<b>Bastidor</b>	-	-	-	-	<b>S/ 152.70</b>
	Cubierta frontal	2	0.32	m2	S/ 47.30	S/ 39.49
	Cubierta lateral	2	0.41	m2	S/ 47.30	S/ 78.96
	Marco superior	2	0.12	m2	S/ 47.30	S/ 20.07
	Marco central	1	0.11	m2	S/ 47.30	S/ 9.52
	Ángulo o unión	4	0.01	m2	S/ 47.30	S/ 4.67
<b>1.1.4</b>	<b>Accesorios</b>	-	-	-	-	<b>S/ 28.00</b>
	Codo de Ø1/2"	4	1.0	unid.	S/ 1.00	S/ 4.00
	Niple tipo botella de Ø1/2"	4	1.0	unid.	S/ 6.00	S/ 24.00
<b>1.1.5</b>	<b>Pernos, arandelas, tuercas y otros</b>	-	-	-	-	<b>S/ 121.40</b>
	Perno hexagonal de Ø1/4"x1/2"	42	1.0	unid.	S/ 0.20	S/ 8.40
	Arandela plana de Ø1/4"	42	1.0	unid.	S/ 0.10	S/ 4.20
	Tuerca hexagonal de Ø1/4"	42	1.0	unid.	S/ 0.10	S/ 4.20
	Perno hexagonal de Ø5/16"x5/8"	72	1.0	unid.	S/ 0.30	S/ 21.60
	Arandela plana de Ø5/16"	72	1.0	unid.	S/ 0.10	S/ 7.20
	Tuerca hexagonal de Ø5/16"	72	1.0	unid.	S/ 0.10	S/ 7.20
	Empaque de 1/32"	1	0.41	m2	S/ 80.00	S/ 32.60
	Silicona neutra	2	1.0	unid.	S/ 18.00	S/ 36.00
<b>1.1.6</b>	<b>Mano de obra y otros</b>	-	-	-	-	<b>S/ 200.00</b>
					<b>Total:</b>	<b>S/ 856.78</b>

*Nota: El costo del material incluye el costo por el servicio de soldadura y/o plegado requerido según se el caso.*

*Fuente: Propia (2022)*

**Tabla 54***Costo del Evaporador*

1.2		Evaporador				
Item	Nombre	Cantidad	Metrado	Unidad	Costo/ Unidad	Costo
<b>1.2.1</b>	<b>Bandeja o fuente</b>	-	-	-	-	<b>S/ 481.34</b>
	Bandeja	1	2.98	m2	S/ 82.30	S/ 333.00
	Placa de sujeción	8	0.002	m2	S/ 82.30	S/ 1.34
	Niple inox de Ø3/4"	4	4.0	pulg	S/ 8.00	S/ 32.00
	Niple inox de Ø3/4"	3	5.0	pulg	S/ 9.00	S/ 27.00
	Pintura negra termoresistente	2	0.11	gal	S/ 387.30	S/ 88.00
<b>1.2.2</b>	<b>Aislamiento térmico</b>	-	-	-	-	<b>S/ 26.18</b>
	Lana de vidrio	1	3.60	m2	S/ 4.65	S/ 16.74
	Cinta de madera	2	1.18	m	S/ 4.00	S/ 9.44
<b>1.2.3</b>	<b>Bastidor</b>	-	-	-	-	<b>S/ 131.31</b>
	Perfil frontal	2	0.43	m2	S/ 47.30	S/ 49.95
	Perfil lateral	2	0.21	m2	S/ 47.30	S/ 24.59
	Ángulo o unión	4	0.01	m2	S/ 47.30	S/ 5.18
	Sujeciones	1	0.09	m2	S/ 47.30	S/ 7.17
	Cubierta inferior	1	2.80	m2	S/ 15.85	S/ 44.42
<b>1.2.4</b>	<b>Accesorios</b>	-	-	-	-	<b>S/ 40.50</b>
	Llave de paso de Ø3/4"	1	1.0	unid.	S/ 7.00	S/ 7.00
	Niple tipo botella de Ø3/4"	2	1.0	unid.	S/ 7.00	S/ 14.00
	Tapón macho de Ø3/4"	3	1.0	unid.	S/ 1.50	S/ 4.50
	Unión de Ø3/4"	4	1.0	unid.	S/ 2.00	S/ 8.00
	Unión universal de Ø3/4"	2	1.0	unid.	S/ 3.50	S/ 7.00
<b>1.2.5</b>	<b>Pernos, arandelas, tuercas y otros</b>	-	-	-	-	<b>S/ 39.80</b>
	Perno hexagonal de Ø5/16"x5/8"	64	1.0	unid.	S/ 0.30	S/ 19.20
	Arandela plana de Ø5/16"	64	1.0	unid.	S/ 0.10	S/ 6.40
	Tuerca hexagonal de Ø5/16"	64	1.0	unid.	S/ 0.10	S/ 6.40
	Remache de aluminio de Ø1/8"x1/2"	52	1.0	unid.	S/ 0.15	S/ 7.80
<b>1.2.6</b>	<b>Mano de obra y otros</b>	-	-	-	-	<b>S/ 200.00</b>
					<b>Total:</b>	<b>S/ 919.14</b>

*Nota: El costo del material incluye el costo por el servicio de soldadura y/o plegado requerido según se el caso.*

*Fuente: Propia (2022)*

**Tabla 55***Costo de la Estructura de Soporte del Alambique Solar*

1.3		Estructura de soporte				
Item	Nombre	Cantidad	Metrado	Unidad	Costo/ Unidad	Costo
<b>1.3.1</b>	<b>Estructura de soporte</b>	-	-	-	-	<b>S/ 106.11</b>
	Tubo cuadrado 2"x2"x1.5mm	1	3.20	m	S/ 11.33	S/ 36.27
	Tubo rectangular 1"x2"x1.2mm	1	9.54	m	S/ 5.25	S/ 50.06
	Refuerzo (chapa de acero 2mm)	8	0.01	m2	S/ 90.87	S/ 9.78
	Recubrimiento	1	0.25	gal	S/ 40.00	S/ 10.00
<b>1.3.2</b>	<b>Mano de obra y otros</b>	-	-	-	-	<b>S/ 100.00</b>
					<b>Total:</b>	<b>S/ 206.11</b>

*Fuente: Propia (2022)*

### 5.2.1.2. Costo del Tanque de Control de Nivel de Agua Contaminada

El Tanque de Control de Nivel de Agua Contaminada trabaja conjuntamente con el Alambique Solar, por lo que es un componente esencial del sistema propuesto. Su costo total es de S/. 441,62 tal y como se muestra en la siguiente tabla.

**Tabla 56**

*Costo del Tanque de Control de Nivel de Agua Contaminada*

2.0 Tanque de control de nivel de agua contaminada						
Item	Nombre	Cantidad	Metrado	Unidad	Costo/ Unidad	Costo
<b>2.1</b>	<b>Tanque de control de nivel de agua</b>	-	-	-	-	<b>S/ 291.30</b>
2.1.1	Tapa	1	0.19	m2	S/ 82.30	S/ 15.42
2.1.2	Tanque de agua contaminada	1	1.00	m2	S/ 82.30	S/ 229.99
2.1.3	Válvula tipo flotador de 3/4"	1	1.0	kit	S/ 32.90	S/ 32.90
2.1.4	Niple inox de Ø3/4"	1	2.0	pulg	S/ 6.00	S/ 6.00
2.1.5	Niple inox de Ø3/4"	1	3.0	pulg	S/ 7.00	S/ 7.00
<b>2.2</b>	<b>Accesorios</b>	-	-	-	-	<b>S/ 37.00</b>
2.2.1	Llave de paso de Ø3/4"	2	1.0	unid.	S/ 7.00	S/ 14.00
2.2.2	Niple tipo botella de Ø3/4"	3	1.0	unid.	S/ 7.00	S/ 21.00
2.2.3	Unión de Ø3/4"	1	1.0	unid.	S/ 2.00	S/ 2.00
<b>2.3</b>	<b>Estructura de soporte</b>	-	-	-	-	<b>S/ 38.32</b>
2.3.1	Ángulo 38x38x2mm	1	2.70	m	S/ 5.67	S/ 15.30
2.3.2	Tubo redondo Ø1 1/4"x1.0mm	1	0.64	m	S/ 5.24	S/ 3.35
2.3.3	Tubo redondo Ø1"x1.0mm	1	2.80	m	S/ 4.67	S/ 13.07
2.3.4	Perno hexagonal de Ø5/16"x5/8"	4	1.0	unid.	S/ 0.30	S/ 1.20
2.3.5	Tuerca hexagonal de Ø5/16"	4	1.0	unid.	S/ 0.10	S/ 0.40
2.3.6	Recubrimiento	1	0.13	gal	S/ 40.00	S/ 5.00
<b>2.4</b>	<b>Mano de obra y otros</b>	-	-	-	-	<b>S/ 75.00</b>
<b>Total:</b>						<b>S/ 441.62</b>

*Nota: El costo del material incluye el costo por el servicio de soldadura y/o rolado requerido según se el caso.*

*Fuente: Propia (2022)*

### 5.2.1.3. Costo del Colector Solar de Placa Plana (FPC)

El Colector Solar de Placa Plana es un componente que se puede adquirir en una tienda y los podemos encontrar de diversas capacidades, y también se pueden mandar a fabricar a la medida que se desee. En este proyecto se utilizó un Colector Solar para una Terma Solar de 120 litros, el precio de un colector de esta capacidad en el mercado está entre los S/. 1000 y S/. 1100.

En la tabla siguiente se detalla los componentes esenciales del Colector Solar de Placa Plana utilizado en este proyecto, su costo de fabricación es S/. 927,09.

**Tabla 57**

*Costo del Colector Solar de Placa Plana (FPC)*

<b>3.0 Colector solar de placa plana (FPC)</b>						
Item	Nombre	Cantidad	Metrado	Unidad	Costo/ Unidad	Costo
<b>3.1</b>	<b>Colector solar de placa plana (FPC)</b>	-	-	-	-	<b>S/ 518.09</b>
3.1.1	Marco superior	1	4.82	m	S/ 2.17	S/ 10.43
3.1.2	Cubierta superior (vidrio)	1	1.43	m2	S/ 66.69	S/ 95.37
3.1.3	Placa absorbedora	1	1.57	m2	S/ 41.67	S/ 65.57
3.1.4	Banco de tubos	-	-	-	-	S/ 203.40
	Tubo de cobre Ø3/4"	1	2.38	m	S/ 30.00	S/ 71.40
	Tubo de cobre Ø1/4"	1	14.40	m	S/ 9.17	S/ 132.00
3.1.5	Aislamiento térmico	1	1.31	m2	S/ 4.65	S/ 6.10
3.1.6	Bastidor o carcasa	-	-	-	-	S/ 77.42
	Bastidor	1	4.80	m	S/ 10.00	S/ 48.00
	Cubierta inferior	1	1.41	m2	S/ 15.85	S/ 22.29
	Soporte superior	2	0.54	m	S/ 4.17	S/ 4.53
	Soporte inferior	2	0.25	m	S/ 4.17	S/ 2.11
	Sujetador	4	0.003	m2	S/ 41.08	S/ 0.49
3.1.7	Pernos, tuercas y remaches	-	-	-	-	S/ 13.30
	Perno hexagonal de Ø5/16"x5/8"	4	1.0	unid.	S/ 0.30	S/ 1.20
	Tuerca hexagonal de Ø5/16"	4	1.0	unid.	S/ 0.10	S/ 0.40
	Remache de aluminio de Ø1/8"x1/2"	78	1.0	unid.	S/ 0.15	S/ 11.70
3.1.8	Recubrimientos	-	-	-	-	S/ 46.50
	Pintura negra termoresistente	1	0.11	gal	S/ 387.30	S/ 44.00
	Base antivibratoria	1	0.06	gal	S/ 40.00	S/ 2.50
<b>3.2</b>	<b>Accesorios</b>	-	-	-	-	<b>S/ 59.00</b>
3.2.1	Bushing reductor de Ø3/4" a Ø1/2"	1	1.0	unid.	S/ 1.00	S/ 1.00
3.2.2	Codo de Ø1/2"	1	1.0	unid.	S/ 1.00	S/ 1.00
3.2.3	Codo de Ø3/4"	1	1.0	unid.	S/ 1.50	S/ 1.50
3.2.4	Llave de paso de Ø3/4"	2	1.0	unid.	S/ 7.00	S/ 14.00
3.2.5	Niple de Ø1/2"	1	2.0	pulg	S/ 1.00	S/ 1.00
3.2.6	Niple de Ø3/4"	4	2.0	pulg	S/ 1.50	S/ 6.00
3.2.7	Tapón macho de Ø1/2"	1	1.0	unid.	S/ 1.00	S/ 1.00
3.2.8	Tapón macho de Ø3/4"	1	1.0	unid.	S/ 1.50	S/ 1.50
3.2.9	Unión de Ø1/2"	1	1.0	unid.	S/ 1.00	S/ 1.00
3.2.10	Unión de Ø3/4"	1	1.0	unid.	S/ 2.00	S/ 2.00
3.2.11	Unión universal de Ø3/4"	2	1.0	unid.	S/ 3.50	S/ 7.00
3.2.12	Válvula unidireccional de Ø3/4"	1	1.0	unid.	S/ 22.00	S/ 22.00
<b>3.3</b>	<b>Mano de obra y otros</b>	-	-	-	-	<b>S/ 350.00</b>
<b>Total:</b>						<b>S/ 927.09</b>

*Fuente: Propia (2022)*

#### **5.2.1.4. Costo del Tanque de Reserva de Agua Contaminada**

El Tanque de Reserva es un componente del sistema que puede ser de la capacidad que se desee. En este proyecto se propone usar un tanque de 600 litros para que el proceso de destilación solar sea más continuo, esto quiere decir que se quiere evitar estar reponiendo agua contaminada frecuentemente dentro del sistema.

En la siguiente tabla se muestra precio de un tanque de 600 litros y el costo de fabricación de su estructura de soporte cuya suma nos da un valor de S/. 893,55.

**Tabla 58**

*Costo del Tanque de Reserva de Agua Contaminada*

4.0 Tanque de reserva de agua contaminada						
Item	Nombre	Cantidad	Metrado	Unidad	Costo/ Unidad	Costo
<b>4.1</b>	<b>Tanque de reserva de agua contaminada</b>	-	-	-	-	<b>S/ 560.00</b>
<b>4.2</b>	<b>Estructura de soporte</b>	-	-	-	-	<b>S/ 169.55</b>
4.2.1	Tubo cuadrado 1 1/2"x1.2mm	1	16.92	m	S/ 8.25	S/ 139.62
4.2.2	Tubo redondo Ø7/8"x1.2mm	1	2.18	m	S/ 4.17	S/ 9.08
4.2.3	Platina 1"x1/8"	1	3.74	m	S/ 2.91	S/ 10.85
4.2.4	Recubrimiento	1	0.25	gal	S/ 40.00	S/ 10.00
<b>4.3</b>	<b>Accesorios</b>	-	-	-	-	<b>S/ 14.00</b>
4.3.1	Llave de paso de Ø3/4"	1	1.0	unid.	S/ 7.00	S/ 7.00
4.3.2	Multiconector	1	1.0	unid.	S/ -	S/ -
4.3.3	Niple tipo botella de Ø3/4"	1	1.0	unid.	S/ 7.00	S/ 7.00
<b>4.4</b>	<b>Mano de obra y otros</b>	-	-	-	-	<b>S/ 150.00</b>
<b>Total:</b>						<b>S/ 893.55</b>

*Fuente: Propia (2022)*

#### 5.2.1.5. Tuberías, mangueras, accesorios y otros

Para hacer la conexión entre componentes se utilizó tuberías, mangueras, accesorios de conexión y otros (cinta teflón, formador de empaquetadura, etc.) Para la recepción del agua destilada se propone usar 2 bidones de 20 litros cada uno, esta capacidad no es estrictamente necesaria pudiendo ser mayor, menor o como se desee.

El precio de estos elementos mencionados nos da un valor de S/. 113.94 siendo el elemento más elevado los bidones de recepción de agua destilada.

**Tabla 59**

*Precio de Tuberías, Mangueras, Accesorios y otros*

5.0 Tuberías, mangueras, accesorios y otros						
Item	Nombre	Cantidad	Metrado	Unidad	Costo/ Unidad	Costo
<b>5.1</b>	<b>Tuberías, mangueras, accesorios y otros</b>	-	-	-	-	<b>S/ 113.94</b>
5.1.1	Tubería de PVC de Ø3/4"	1	3.55	m	S/ 9.17	S/ 32.54
5.1.2	Manguera de PVC de Ø3/4"	1	2.00	m	S/ 2.00	S/ 4.00
5.1.3	Manguera de PVC de Ø1/2"	1	3.60	m	S/ 1.50	S/ 5.40
5.1.4	Bidón de 20L	2	1.0	unid.	S/ 30.00	S/ 60.00
5.1.5	Codo de Ø3/4"	4	1.0	unid.	S/ 1.50	S/ 6.00
5.1.6	Cinta teflón	6	1.0	unid.	S/ 1.00	S/ 6.00

Fuente: Propia (2022)

## 5.2.2. COSTO DEL AGUA POTABLE

La estructura de costos del Agua Potable para el Distrito de Majes está dada por SEDAPAR, esta entidad varía el costo del agua según la clase y categoría tal y como se muestra en la siguiente tabla.

**Tabla 60**

*Estructura de Tarifas de Agua Potable para Distrito de Majes*

Clase	Categoría	Rango de consumo (m3)	Tarifas (Soles/m3)	Tarifas (Soles/litro)
			Agua Potable	Agua Potable
<b>Residencial</b>	Social	0 a más	0.462	0.000462
		0 a 10	0.462	0.000462
	Doméstico	10 a 30	0.974	0.000974
		30 a más	1.770	0.001770
<b>No residencial</b>	Comercial y otros	0 a más	2.927	0.002927
	Industrial	0 a más	2.927	0.002927
	Estatad	0 a más	1.612	0.001612

Fuente: SEDAPAR (2021)

La categoría que tomaremos como referencia para nuestro interés será la de “Domestica” entre el rango de 0 a 10 m3, cuyo costo es de 0.000462 soles por un litro de agua potable.

Si tomamos una producción promedio de agua pura (considerada como agua potable) de 12 litros por día a manera de ejemplo tendríamos que su costo sería de S/. 0.005544 tal como se muestra en el siguiente calculo:

$$\text{Costo} = 12 \text{ litros} * 0.000462 \frac{\text{soles}}{\text{litro}}$$

$$\text{Costo} = 0.005544 \text{ soles}$$

En otras palabras, si hubiéramos consumido 12 litros de agua potable (en una vivienda, por ejemplo) SEDAPAR nos hubiera cobrado S/. 0.005544. Este es un caso supuesto porque en realidad no consumimos 12 litros sino más bien lo podríamos producir mediante Destilación Solar.

Por otro lado, esta cantidad de agua (12 litros de agua tratada por destilación) no es del todo gratis, sino que provendría del agua de regadío (agua cruda) la misma que SEDAPAR toma del canal 3R para ser tratada en su Planta de Potabilización. Por lo que debemos conocer cuánto es el costo de este tipo de agua.

### **5.2.3. COSTO DEL AGUA DE REGADÍO**

La captación y distribución del agua de regadío está a cargo de la Junta de Usuarios de la Pampa de Majes, la cual se encarga a su vez el cobro por el uso del agua para riego de las parcelas en el Distrito de Majes.

En la siguiente tabla podemos apreciar el costo en soles por metro cúbico y por litro de Agua para Riego.

**Tabla 61***Tarifa del Agua para Riego de la Pampa de Majes*

Descripción	Valor Soles/m <sup>3</sup>	Valor Soles/litro
Retribución económica	0.00100	0.000001
Utilización infraestructura menor	0.01307	0.000013
Utilización infraestructura mayor	0.00334	0.000003
<b>Total</b>	<b>0.01741</b>	<b>0.000017</b>

*Fuente: Junta de Usuarios Pampa de Majes (2022)*

El valor de nuestro interés es el Valor Total que es *0.000017 soles por un litro de Agua de Regadío*. Este valor es referencial para el año 2022, pudiendo variar para el próximo año.

Tomando los *12 litros de agua de regadío* que requerimos para ser destilada tendríamos que su costo será de *S/. 0,000204* tal como se muestra en el siguiente calculo:

$$\text{Costo} = 12 \text{ litros} * 0.000017 \frac{\text{soles}}{\text{litro}}$$

$$\text{Costo} = 0.000204 \text{ soles}$$

En resumen, podemos afirmar que sí hubiésemos consumido 12 litros de Agua Potable de SEDAPAR hubiésemos pagado *S/. 0.005544*, pero destilando agua de regadío por medio de un Destilador Solar solo pagaríamos el costo del Agua de Regadío que es *S/. 0,000204* ya que el costo del proceso de destilación solar es cero. La diferencia de estos dos valores es de *S/. 0.00534* que es un valor muy insignificante y representan de cierto modo un ahorro monetario que nos brinda la destilación solar.

#### **5.2.4. COSTO DEL AGUA DESTILADA**

De manera práctica podríamos afirmar que el *costo del proceso de destilación solar es cero porque la energía solar es libre*, por lo que el costo del agua destilada es el mismo que el

costo del agua cruda cuyo valor es *0.01741 soles por metro cúbico* o de *0.000017 soles por litro* tal como se muestra a continuación.

**Agua destilada:** 0.01741 Soles/m<sup>3</sup> ó 0.000017 Soles/litro

La diferencia entre el *Agua Potable* y el *Agua de Regadío* es de *S/. 0.4446* por m<sup>3</sup> o *S/. 0.000445* por litro, tal como se aprecia en la siguiente tabla:

**Tabla 62**

*Diferencia del Costo entre el Agua Potable y Agua para Riego*

<b>Costo</b>	<b>Soles/Metro cúbico</b>	<b>Soles/Litro</b>
Costo del agua potable	0.4620	0.000462
Costo del agua de regadío	0.0174	0.000017
<b>Diferencia</b>	<b>0.4446</b>	<b>0.000445</b>

*Fuente: Propia (2022)*

Podemos afirmar que se tiene una mayor diferencia (ahorro) cuando se llega a producir por ejemplo 1 m<sup>3</sup> en vez de solo 1 litro de agua destilada. Ciertamente un Destilador Solar como unidad no llega a producir 1 m<sup>3</sup> de agua. Por lo que la poca producción de agua al día que se consigue por este método es una de las mayores desventajas de la Destilación Solar.

### **5.2.5. RENTABILIDAD DEL SISTEMA PROPUESTO**

La siguiente tabla muestra el *Costo total diario de producción de agua destilada* utilizando el sistema de destilación solar propuesto en este proyecto.

**Tabla 63***Costo total diario de producción de Agua Destilada*

Costo del Sistema de Destilación Solar propuesto [soles]	Vida útil aproximada [años]	Depreciación diaria (Línea recta) [soles] *	Agua Destilada promedio producida [litros] **	Costo Agua Cruda [soles/litro]	Costo Agua Cruda utilizada [soles]	Costo total diario de producción de Agua Destilada [soles] ***
4358.23	15	0.81	9.03	0.000017	0.00015	0.81

**Nota:**\* *La depreciación diaria representa el "Costo diario por el uso del activo" (Sistema de Destilación)*\*\* *Agua destilada promedio producida para el mes de Junio para la configuración  $N_c=1$  &  $X_w=2cm$* \*\*\* *Costo total diario de producción (agua destilada) = Costo por el uso del activo (depreciación diaria) + Costo por el agua**Fuente: Propia (2022)*

El costo total diario de producción de agua destilada por litro será entonces 0.090 soles/litro (0.81soles/9.03litros). Para analizar la rentabilidad del sistema propuesto tenemos dos casos particulares:

El primero sería comparar el *Costo total diario de producción de agua destilada* con el *Gasto diario de Agua Embotellada* (agua de mesa o agua mineral) que tendríamos al comprar este tipo de agua para la misma cantidad de *agua destilada promedio producida (9.03 Litros)*.

El segundo caso sería comparar el *Costo total diario de producción de agua destilada* con el *Costo diario de Agua Potable* para la misma cantidad de *agua destilada promedio producida*. En la siguiente tabla se muestra lo descrito anteriormente.

**Tabla 64***Análisis de Rentabilidad del Sistema Propuesto*

Agua Destilada promedio producida [litros]	Valor del Agua Embotellada [soles/litro]	Gasto diario de Agua Embotellada [soles]	Costo del Agua Potable [soles/litro]	Costo diario de Agua Potable [soles]	Costo total diario de producción de Agua Destilada [soles]
9.03	1.20	<b>10.84</b>	0.000462	<b>0.00417</b>	<b>0.81</b>

*Fuente: Propia (2022)*

Como se aprecia en la tabla anterior el sistema de destilación solar propuesto (sistema utilizando un solo colector solar), *es rentable para el primer caso* porque el *Costo total diario*

*de producción de agua destilada es menor que el Gasto diario de agua embotellada (S/. 0.81 < S/. 10.84). Teniendo un ahorro diario de 10.03 soles, con este valor el sistema de destilación propuesto se pagaría en 1.2 años ((S/.4358.23/S.10.03)/365días).*

Sin embargo, para el segundo caso el sistema de destilación solar propuesto *no parece ser rentable* porque el *Costo total diario de producción de agua destilada* es mayor que el *Costo diario de agua potable (S/. 0.81 > S/. 0.00417).*

Aun así, podemos concluir afirmando que invertir en un destilador solar es una decisión correcta para cubrir la demanda de al menos los litros de agua pura necesarios que se requiere diariamente para mantener el cuerpo hidratado o evitar enfermarse por consumir aguas contaminadas. Visto de otra forma ¿Cuánto cuesta la salud?

## CONCLUSIONES

Se diseñó y construyó un prototipo de Destilador Solar de Doble Vertiente que puede ser acoplado a uno o dos Colectores Solares de Placa Plana (FPC) para ser aplicado a la población rural del Distrito de Majes que carece del servicio de agua potable y cuyos resultados promedios obtenidos para el mes de Junio del presente año fueron:

- 7.84 L/día (3.16 L/m<sup>2</sup> por día), 9.03 L/día (3.64 L/m<sup>2</sup> por día) y 10.21 L/día (4.12 L/m<sup>2</sup> por día) para las configuraciones Nc=0, Nc=1 y Nc=2 respectivamente, a una profundidad de agua de 2cm.
- 6.17 L/día (2.49 L/m<sup>2</sup> por día), 8.42 L/día (3.40 L/m<sup>2</sup> por día) y 9.68 L/día (3.90 L/m<sup>2</sup> por día) para las configuraciones Nc=0, Nc=1 y Nc=2 respectivamente, a una profundidad de agua de 4cm.

Se presentó a la destilación solar y a los diversos tipos de destiladores solares como una alternativa en la obtención de agua pura a pequeña escala (L/día).

Se presentó el modelo térmico que describe el comportamiento del destilador solar, el cual está basado en los principios termodinámicos y de transferencia de calor. Así como también se presentó las ecuaciones para estimar la radiación solar incidente sobre el colector y alambique solar el cual tiene un valor promedio de 770 W/m<sup>2</sup>.

Se utilizó el programa EES para resolver las ecuaciones que sustentan el comportamiento teórico del colector y destilador solar. Así también se utilizó este programa para realizar el análisis teórico respectivo.

Se realizó el análisis de resultados experimentales para las siguientes configuraciones: Sistema de destilación solar sin colector solar, con 1colector solar y con 2 colectores solares,

obteniéndose una máxima producción de 10. 21 L/día (4.12 L/m<sup>2</sup> por día) con 2 colectores solares a una profundidad del agua de 2cm, para el mes de Junio.

Se realizó un breve análisis técnico que describe el estado y situación actual de la población rural del Distrito de Majes. Así también se realizó un breve análisis económico el cual describe el costo del sistema de destilación propuesto con un valor de S/. 4 358.23, además del costo del agua potable, agua de regadío (agua cruda) y agua destilada en soles/litro.

Se presentó los planos necesarios para realizar la construcción de un destilador solar de doble vertiente, así como las indicaciones y sugerencias respectivas basadas en la experiencia vivida en este proyecto.

## RECOMENDACIONES

Para aumentar la producción de agua destilada diaria se recomienda realizar los siguientes ajustes y mejoras al sistema propuesto: disminuir la profundidad del agua en la fuente para las estaciones de otoño e invierno y aumentarla en primavera y verano, evitar cualquier fuga de vapor, cubrir el aislamiento térmico del evaporador, aislar las tuberías de conexión hacia los colectores solares.

Se recomienda realizar un mantenimiento al sistema (evaporador y tanque de control) cada cierto periodo de tiempo (1 a 2 meses). También se recomienda mantener libre de polvo las cubiertas (vidrios) del alambique y colector solar.

Se recomienda utilizar pernos y tuercas de acero inoxidable para las uniones interiores del alambique solar. Así también se recomienda utilizar accesorios de acero inoxidable.

Se recomienda tener precaución en la manipulación de algunos componentes que pueden estar muy calientes y otros que son frágiles. Así mismo se recomienda utilizar elementos de protección personal para la manipulación de la lana de vidrio.

## REFERENCIAS

- Abdessemed, A. (2018). Effects of tray shape of a multi-stage solar still coupled to a parabolic concentrating solar collector in Algeria. *Renewable Energy*. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.08.074>
- ACNUR Comité Español. (2019). *Escasez de agua en el mundo: Causas y consecuencias*. Retrieved 2022, from [https://eacnur.org/blog/escasez-agua-en-el-mundo-tc\\_alt45664n\\_o\\_pstn\\_o\\_pst/](https://eacnur.org/blog/escasez-agua-en-el-mundo-tc_alt45664n_o_pstn_o_pst/)
- Arunkumar. (2018). A review of efficient high productivity solar stills. *Renewable and sustainable energy reviews*. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.11.013>
- Badran, O. (2005). The effect of coupling a flat plate collector on the solar still productivity. *Desalination*. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.desal.2005.02.046>
- Cengel, Y., & Ghajar, A. (2011). *Transferencia de calor y masa* (4ta ed.). México: McGrawHill.
- Congreso de la República. (2017). *Ley de reforma constitucional que reconoce el derecho de acceso al agua como derecho constitucional*. Perú: Diario Oficial El Peruano. Retrieved from <https://busquedas.elperuano.pe/normaslegales/ley-de-reforma-constitucional-que-reconoce-el-derecho-de-acc-ley-n-30588-1536004-1/>
- De la Cuesta Corado, J. R. (s.f.). Diseño de instalaciones solares térmicas para la producción de agua caliente sanitaria, aplicación a un edificio de viviendas. (*Proyecto fin de carrera*). Universidad de Sevilla.
- Duffie, J., & Beckman, W. (2013). *Solar Engineering of Thermal Processes* (4th ed.).

- Dwivedi, V. (2009). Experimental validation of thermal model of a double slope active solar still under natural circulation mode. *Desalination*. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.desal.2009.06.060>
- Fauroux, & Jagër. (2013). *Diseño y análisis de colectores solares planos*. Universidad Nacional de La Matanza, Departamento de Ingeniería e Investigaciones Tecnológicas. Retrieved from [http://www.edutecne.utn.edu.ar/coini\\_2013/trabajos/COA05\\_TC.pdf](http://www.edutecne.utn.edu.ar/coini_2013/trabajos/COA05_TC.pdf)
- Guevara Vásquez, S. (2003). *Teoría para el diseño de calentadores solares de agua*. Lima, Perú. Retrieved from <http://www.ingenieroambiental.com/4014/xx.pdf>
- Hermosillo, J. (1989). Destilación Solar. *Huella*. Retrieved from <http://hdl.handle.net/11117/207>
- Huezo, F., & Morán, J. (2012). Diseño, construcción y validación de un destilador solar para el uso en los laboratorios de la planta piloto de la Escuela de Ingeniería Química. (*Proyecto de Grado*). Universidad de el Salvador, San Salvador.
- INEI. (2017). *Censo Nacional 2017*. Arequipa.
- Kumar, A. (2018). Energy matrices and efficiency analyses of solar distiller units: A review. *Solar Energy*. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.solener.2018.07.020>
- Kumar, A. (2019). Performance analysis of specially designed single basin passive solar distillers incorporated with novel solar desalting stills: A review. *Solar Energy*. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.solener.2019.04.040>
- Luque, F., & Romero, M. (2017). Diseño y construcción de un destilador de agua salada alimentado por medio de energías renovable. (*Proyecto de Grado*). Universidad Piloto de Colombia, Bogotá.

- MiSISTEMASOLAR. (2018). *Radiación solar, características, tipos. causas y efectos*. Retrieved 2022, from <https://misistemasolar.com/radiacion-solar/>
- Montoya, L., Palo, J., Cabana, W., & Soria, L. (2011). *Evaluación de un calentador solar de agua de acuerdo a Norma Técnica Peruana*. Universidad Nacional de San Agustín, Escuela Profesional de Física, Arequipa.
- Morad, M. (2015). Improving the double slope solar still performance by using flat plate solar collector and cooling glass cover. *Desalination*. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.desal.2015.06.017>
- Municipalidad Distrital de Majes. (2021). *Plan de Desarrollo Urbano de Ciudad Majes Villa Pedregal 2012-2021* (Vols. Volumen A, Diagnostico Urbano).
- NTP 399.400 (2001) Colectores Solares. Método de ensayo para determinar la eficiencia de los coletores solares. (2001). Lima, Perú.
- OMS. (2006). *Guías para la calidad del agua potable*. Retrieved from [https://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/dwq/gdwq3\\_es\\_full\\_lowres.pdf](https://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq3_es_full_lowres.pdf)
- OMS. (2019). *Agua*. Retrieved 2022, from <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>
- OMS. (2020). *Cantidad de agua doméstica, nivel de servicio y salud*. Retrieved from <https://www.who.int/publications/i/item/9789240015241>
- Pallante Rojas, C. (2015). *Implementación de destiladores solares para la recuperación de agua desde piscinas de evaporación de ENAEX Planta Río Loa*. Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Chile.

- Palomino, R. (2018). Design and implementation of a robotic active solar distiller based on a Fresnel concentrator and a photovoltaic system. *Energy Conversion and management*. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2018.04.069>
- Sampathkumar, K. (2010). Active solar distillation - A detailed review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.rser.2010.01.023>
- SENAMHI. (2003). *Atlas de Energía Solar del Perú*. Lima.
- Siddharaj, & Kumbhar. (2018). Double slope solar still distillate output data set for conventional still with or without reflectors and PCM using high TDS water. *Data in brief*. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.dib.2019.103852>
- SUNASS. (2004). *La calidad del agua potable en el Perú*. Lima. Retrieved from <http://www.sunass.gob.pe>
- Tiwari. (2008). Parametric study of an active and passive solar distillation system: Energy and exergy analysis. *Desalination*. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.desal.2008.03.027>
- Travezaño, D. (2002). *Diseño, construcción y evaluación de una terma solar de 50 litros para uso doméstico [Segunda especialización profesional en Energía Solar]*. Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.
- Wikipedia. (2022). *AGUA*. Retrieved 2022, from <https://es.wikipedia.org/wiki/Agua>
- Wikipedia. (2022). *AGUA DESTILADA*. Retrieved 2022, from [https://es.wikipedia.org/wiki/Agua\\_destilada](https://es.wikipedia.org/wiki/Agua_destilada)

Wikipedia. (2022). *Energía solar*. Retrieved 2022, from  
[https://es.wikipedia.org/wiki/Energ%C3%ADa\\_solar](https://es.wikipedia.org/wiki/Energ%C3%ADa_solar)

Wikipedia. (2022). *Radiación solar*. Retrieved 2022, from  
[https://es.wikipedia.org/wiki/Radiaci%C3%B3n\\_solar](https://es.wikipedia.org/wiki/Radiaci%C3%B3n_solar)

# **ANEXOS**

# ANEXO 1: PROGRAMACIÓN UTILIZADA

## (ENGINEERING EQUATION SOLVER)

### ANEXO 1.1: PROGRAMACIÓN - COLECTOR SOLAR

```
FUNCTION Rayleigh(T_avg,X,DELTA,T,L_c)
g:=9.81 "Aceleración de la gravedad"
beta:=VolExpCoef(Water,T=T_avg,x=X) "Coef. de expansión volumétrica del agua"
mu:=Viscosity(Water,T=T_avg,x=X) "Viscosidad absoluta del agua"
rho:=Density(Water,T=T_avg,x=X) "Densidad del agua"
nu:=mu/rho "Viscosidad cinemática del agua"
Gr:=(g*beta*DELTA*T*L_c^3)/nu^2 "Número de Grashof"
Pr:=Prandtl(Water,T=T_avg,x=X) "Número de Prandtl"
Ra:=Gr*Pr "Número de Rayleigh"
Rayleigh:=Ra
END

"EVALUACIÓN TÉRMICA SOBRE EL COLECTOR SOLAR DE PLACA PLANA"
"-----"

"Restricciones: T_p > T_fe; T_fs > T_fe"

"Valores comunes:"

g=9.81 "Aceleración de la gravedad"
v=1.89 "Velocidad del viento" {Promedio anual}
T_a=18.2+273 "Temperatura ambiente" {Promedio anual}
sigma=5.67*(10^(-8)) "Constante de Boltzmann"

"Variables y constantes:"

T_p=45+273 "Temperatura promedio de la placa de absorción" {Valor asumido}
T_fe=25+273 "Temperatura del fluido a la entrada del colector" {Valor asumido}
DELTA_T_t~f=11 "Diferencia de temperatura entre tubo-fluido" {Valor asumido}
L_T16=7158[W-h/m^2-day] "Radiación solar total sobre una superficie inclinada a 16 grados" {Promedio anual}
L_TC=L_T16/N_h "Radiación solar total sobre la superficie inclinada del colector solar" {Promedio anual}
N_h=9.3 "Número de horas sol efectivas por día" {Promedio anual}

"Parámetros de diseño:"

k_a=0.036 "Conductividad del aislante térmico"
k_a_lat=k_a "Conductividad del aislante térmico en los lados"
e_a=0.025 "Espesor del aislante térmico"
e_a_lat=e_a "Espesor del aislante térmico en los lados"
D=0.0095 "Diámetro exterior de los tubos del colector solar"
D_i=0.0083 "Diámetro interno de los tubos del colector solar"
L_tub=1.20 "Longitud de los tubos del colector solar"
n_tub=12 "Número de tubos en el colector solar"
W=0.09 "Separación entre tubos"
h=0.06 "Altura del colector solar"
epsilon_p=0.98 "Emisividad de la placa de absorción"
epsilon_v=0.90 "Emisividad de la cubierta de vidrio"
iota=4.0 "Espaciado entre placa de absorción - vidrio"
tau=0.88 "Transmisividad de la cubierta del colector solar"
alpha=0.98 "Absortividad de la placa de absorción del colector solar"
rho_d=0.16 "Reflexividad difusa de la cubierta del colector solar"
k_p=237 "Conductividad térmica de la placa de absorción"
e_p=0.0003 "Espesor de la placa de absorción"

"FLUJO DE CALOR ÚTIL"
```

"-----"	
$Q_{dot\_util}=I_{TC}A_c\alpha\tau_{c-U_{LC}}A_c(T_p-T_a)$	"Ec. (21)"
$\alpha\tau_{c-U_{LC}}=(\tau\alpha)/(1-(1-\alpha)\rho_d)$	"Ec. (20)"
$A_c=(L_{tub})(n_{tub})(W)$	"Ec. (18)"
<b>"FLUJO DE CALOR PERDIDO"</b>	
"-----"	
$Q_{dot\_pe}=U_{LC}A_c(T_p-T_a)$	"Ec. (24)"
<b>"COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE CALOR TOTAL"</b>	
"-----"	
$U_{LC}=U_{inf}+U_{sup}+U_{lat}$	"Ec. (25)"
<b>"COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE CALOR POR LA PARTE INFERIOR DEL COLECTOR SOLAR:"</b>	
$U_{inf}=k_a/e_a$	"Ec. (29)"
<b>"COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE CALOR POR LA PARTE SUPERIOR DEL COLECTOR SOLAR:"</b>	
<b>"Coeficiente de transferencia de calor por radiación entre placa de absorción - cubierta de vidrio"</b>	
$h_{r\_p\sim v}=(\sigma(T_p+T_v)(T_p^2+T_v^2))/((1/\epsilon_p)+(1/\epsilon_v)-1)$	"Ec. (32)"
<b>"Coeficiente de transferencia de calor por convección entre placa de absorción-cubierta de vidrio"</b>	
$h_{c\_p\sim v}=(1-0.0018((T_p-273)-10))^*1.14*(\Delta T_{p\sim v}^{0.310}/\iota^{0.070})$	"Ec. (33)"
$\Delta T_{p\sim v}=T_p-T_v$	"Ec. (34)"
<b>"Coeficiente de transferencia de calor por radiación entre cubierta de vidrio-ambiente"</b>	
$h_{r\_v\sim a}=\sigma\epsilon_v(T_v+T_a)(T_v^2+T_a^2)$	"Ec. (36)"
<b>"Coeficiente de transferencia de calor por convección entre cubierta de vidrio-ambiente"</b>	
$h_{c\_v\sim a}=5.7+3.8v$	"Ec. (37)"
<b>"Luego:"</b>	
$U_{sup}=1/((1/(h_{r\_p\sim v}+h_{c\_p\sim v}))+1/(h_{r\_v\sim a}+h_{c\_v\sim a}))$	"Ec. (38)"
$T_v=T_p-(U_{sup}(T_p-T_a))/(h_{r\_p\sim v}+h_{c\_p\sim v})$	"Ec. (39)"
<b>"COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE CALOR POR LA PARTE LATERAL DEL COLECTOR SOLAR:"</b>	
$U_{lat}=(k_a_{lat}h^*P)/(e_a_{lat}A_c)$	"Ec. (40)"
$P=2*((L_{tub})+(n_{tub})(W))$	"Ec. (41)"
<b>"EFICIENCIA TÉRMICA DEL COLECTOR SOLAR"</b>	
"-----"	
$\eta_c=Q_{dot\_util}/(I_{TC}A_c)*100$	"Ec. (42)"
<b>"EFICIENCIA DE LA PLACA DE ABSORCIÓN"</b>	
"-----"	
$F=\tanh(c*(W-D)/2)/(c*(W-D)/2)$	"Ec. (45)"
$c^2=U_{LC}/(k_p e_p)$	"Ec. (46)"
<b>"FACTOR DE EFICIENCIA DEL COLECTOR"</b>	
"-----"	
$F_{apos}=(1/U_{LC})/(W*((1/(U_{LC}(D+(W-D)*F)))+(1/(PI*D_i h_{c\_t\sim f}))))$	"Ec. (47)"
$h_{c\_t\sim f}=(Nusselt_f*k_f)/D_i$	"Ec. (48)"
$Nusselt_f=0.54*(Ra_f)^{0.25}$	"Ec. (49)"
$k_f=\text{Conductivity}(\text{Water}, T=T_f, x=\text{Quality}_f)$ <i>"Conductividad térmica del agua"</i>	

```

beta_f=VolExpCoef(Water,T=T_f,x=Quality_f) "Coef. de expansión volumetrica del agua"
mu_f=Viscosity(Water,T=T_f,x=Quality_f) "Viscosidad absoluta del agua"
rho_f=Density(Water,T=T_f,x=Quality_f) "Densidad del agua"
c_f=Cp(Water,T=T_f,x=Quality_f) "Calor especifico del agua"
nu_f=mu_f/rho_f "Viscosidad cinemática del agua"
alpha_f=k_f/(rho_f*c_f) "Difusividad térmica del agua"

Gr_f=(g*beta_f*DELTAT_t~f*D_j^3)/nu_f^2 "Ec. (50)"
Pr_f=nu_f/alpha_f "Ec. (51)"

Ra_f=Rayleigh(T_f,Quality_f,DELTAT_t~f,D_j) "Número de Rayleigh"
Quality_f=0 "Calidad del agua"

"FACTOR DE REMOCIÓN DE CALOR"
"-----"
F_R=(m_dot_c*c_f)/(A_c*U_LC)*(1-exp(-(A_c*U_LC*F_apos)/(m_dot_c*c_f))) "Ec. (54)"
S=l_TC*alphatau_c "Ec. (53)"
m_dot_c=abs((F_apos*A_c*U_LC)/(c_f*ln(1-(U_LC*DELTAT_t~f)/(S-(U_LC*(T_fe-T_a)))))) "Ec. (55)"

"TEMPERATURA DEL FLUIDO"
"-----"
T_fs=T_fe +(1-(F_R/F_apos))*Q_dot_util/(A_c*U_LC*F_R) "Ec. (56)"
T_f=(T_fe+T_fs)/2 "Ec. (57)"
DELTAT_f=T_fs-T_fe "Ec. (58)"
T_est=T_a+(S/U_LC) "Ec. (59)"

"-----"
"FIN"

```

## ANEXO 1.2: PROGRAMACIÓN - ALAMBIQUE SOLAR

FUNCTION Rayleigh(T\_avg,X,DELTAT,L\_c)

g:=9.81

beta:=VolExpCoef(Water,T=T\_avg,x=X)

mu:=Viscosity(Water,T=T\_avg,x=X)

rho:=Density(Water,T=T\_avg,x=X)

nu:=mu/rho

Gr:=(g\*beta\*DELTAT\*L\_c^3)/nu^2

Pr:=Prandtl(Water,T=T\_avg,x=X)

Ra:=Gr\*Pr

Rayleigh:=Ra

END

FUNCTION Efficiency(Num\_colect,mass\_dot\_ew,CalLat,Irrad\_TS,Area\_still,Irrad\_TC,Area\_colect)

IF(Num\_colect=0) THEN

"Destilador solar pasivo:"

eta\_still:=(mass\_dot\_ew\*CalLat)/(Irrad\_TS\*Area\_still\*3600[s/h])\*100

"Ec. (119)"

ELSE

"Destilador solar activo:"

eta\_still:=(mass\_dot\_ew\*CalLat)/(Irrad\_TS\*Area\_still\*3600[s/h]+Irrad\_TC\*Area\_colect\*3600[s/h])\*100

"Ec. (120)"

ENDIF

Efficiency:=eta\_still

END

"EVALUACIÓN TÉRMICA SOBRE EL ALAMBIQUE SOLAR"

"-----"

"Restricciones:  $T_b > T_w > T_{gi} > T_{go} > T_a$ "

"Valores comunes:"

g=9.81 "Aceleración de la gravedad"

v=1.89 "Velocidad del viento" {Promedio anual}

T\_a=18.2+273 "Temperatura ambiente" {Promedio anual}

sigma=5.67\*(10<sup>-8</sup>) "Constante de Boltzmann"

"Variables y constantes:"

T\_w0=60+273 "Temperatura del agua en la fuente en el instante t inicial" {Valor asumido}

DELTAT\_w=10 "Diferencia de temperatura entre fuente - agua" {Valor asumido}

I\_T20=7175[W-h/m<sup>2</sup>-day] "Radiación solar total sobre una superficie inclinada a 20 grados" {Promedio anual}

I\_TS=I\_T20/N\_h "Radiación solar total sobre la superficie inclinada del alambique solar" {Promedio anual}

N\_h=9.3 "Número de horas sol efectivas por día" {Promedio anual}

"Parámetros de diseño"

N\_c=0 "Número de colectores solares"

x\_w=0.030 "Profundidad del agua en la fuente"

A\_s=2.48 "Área inferior del alambique solar"

A\_ss=0.47 "Área lateral del alambique solar"

epsilon\_w=0.95 "Emisividad del agua"

epsilon\_g=0.90 "Emisividad del vidrio"

k\_g=0.78 "Conductividad térmica del vidrio"

k\_i=0.036 "Conductividad térmica del aislamiento"

L\_g=0.003 "Espesor de la cubierta de vidrio"

L\_i= 0.050 "Espesor del aislamiento térmico"

alpha\_b=0.98 "Absortividad de la fuente"  
 alpha\_w=0.60 "Absortividad del agua"  
 alpha\_g=0.05 "Absortividad del vidrio"

"Valores y resultados del colector solar:"

A\_c=1.30 "Área efectiva del colector solar"  
 U\_LC=7.44 " Coeficiente de transferencia de calor total para el colector solar" {Calculado}  
 F\_R=0.86 "Factor de remoción de calor" {Calculado}  
 alphatau\_c=0.87 "Factor por pérdidas ópticas y por absorción" {Calculado}  
 I\_TC=L\_T16/ N\_h "Radiación solar total sobre la superficie inclinada del colector solar" {Promedio anual}  
 I\_T16=7158[W-h/m^2-day] "Radiación solar total sobre una superficie inclinada a 16 grados" {Promedio anual}

"TRANSFERENCIA DE CALOR INTERNO:"

"-----"

$q_{\dot{t}w} = q_{\dot{r}w} + q_{\dot{c}w} + q_{\dot{e}w}$  "Ec. (60)"

$h_{tw} = h_{rw} + h_{cw} + h_{ew}$  "Ec. (62)"

"Transferencia de calor por radiación:"

$q_{\dot{r}w} = h_{rw} (T_w - T_{gi})$  "Ec. (63)"

$h_{rw} = \epsilon_{\text{eff}} \sigma (T_w^4 + T_{gi}^4) / (T_w + T_{gi})$  "Ec. (64)"

$\epsilon_{\text{eff}} = 1 / ((1/\epsilon_w) + (1/\epsilon_g) - 1)$  "Ec. (65)"

"Transferencia de calor por convección:"

"Entre agua - vidrio:"

$q_{\dot{c}w} = h_{cw} (T_w - T_{gi})$  "Ec. (66)"

$h_{cw} = 0.884 \Delta T^{1/3}$  "Ec. (67)"

$\Delta T = T_w - T_{gi} + ((P_w - P_{gi}) T_w) / ((268.9 \cdot 10^3) - P_w)$  "Ec. (68)"

$P_w = \exp(25.317 - (5144/T_w))$  "Ec. (69)"

$P_{gi} = \exp(25.317 - (5144/T_{gi}))$  "Ec. (70)"

"Entre fuente - agua:"

$q_{\dot{w}} = h_w (T_b - T_w)$  "Ec. (71)"

$h_w = (k_w/x_w) \cdot 0.54 \cdot Ra_w^{0.25}$  "Ec. (72)"

$k_w = \text{Conductivity}(\text{Water}, T=T_w, x=\text{Quality}_w)$  "Conductividad térmica del agua"  
 $\beta_w = \text{VolExpCoef}(\text{Water}, T=T_w, x=\text{Quality}_w)$  "Coef. de expansión volumétrica del agua"  
 $\mu_w = \text{Viscosity}(\text{Water}, T=T_w, x=\text{Quality}_w)$  "Viscosidad absoluta del agua"  
 $\rho_w = \text{Density}(\text{Water}, T=T_w, x=\text{Quality}_w)$  "Densidad del agua"  
 $C_w = \text{Cp}(\text{Water}, T=T_w, x=0)$  "Calor específico del agua"  
 $\nu_w = \mu_w / \rho_w$  "Viscosidad cinemática del agua"

$Gr_w = (g \cdot \beta_w \cdot \Delta T_w \cdot x_w^3) / \nu_w^2$  "Ec. (73)"

$Pr_w = (\mu_w \cdot C_w) / k_w$  "Ec. (74)"

$Ra_w = \text{Rayleigh}(T_w, \text{Quality}_w, \Delta T_w, x_w)$  "Número de Rayleigh"

$\text{Quality}_w = 0$  "Calidad del agua"

"Transferencia de calor por evaporación"

$q_{\dot{e}w} = h_{ew} (T_w - T_{gi})$  "Ec. (75)"

$h_{ew} = 16.273 \cdot (10^{(-3)}) \cdot h_{cw} \cdot ((P_w - P_{gi}) / (T_w - T_{gi}))$  "Ec. (76)"

"TRANSFERENCIA DE CALOR EXTERNO"

"-----"

"TRANSFERENCIA DE CALOR POR LA CUBIERTA SUPERIOR:"

$$q_{\dot{t}g\sim a} = q_{\dot{t}rg\sim a} + q_{\dot{t}cg\sim a} \quad \text{"Ec. (77)"} \\ h_{tg\sim a} = h_{rg\sim a} + h_{cg\sim a} \quad \text{"Ec. (79)"} \\ h_{tg\sim a} v = 5.7 + 3.8 v \quad \text{"Ec. (80)"}$$

"Transferencia de calor por radiación"

$$q_{\dot{t}rg\sim a} = h_{rg\sim a} (T_{go} - T_a) \quad \text{"Ec. (81)"} \\ h_{rg\sim a} = \epsilon \sigma (T_{go}^4 - T_{sky}^4) / (T_{go} - T_a) \quad \text{"Ec. (82)"} \\ T_{sky} = T_a - 6 [K] \quad \text{"Ec. (83)"}$$

"Transferencia de calor por convección"

$$q_{\dot{t}cg\sim a} = h_{cg\sim a} (T_{go} - T_a) \quad \text{"Ec. (84)"} \\ h_{cg\sim a} = 2.8 + 3.0 v \quad \text{"Ec. (85)"}$$

"Transferencia de calor por conducción"

$$q_{\dot{t}g} = (k_g / L_g) (T_{gi} - T_{go}) \quad \text{"Ec. (86)"}$$

"TRANSFERENCIA DE CALOR POR LOS LADOS Y PARTE INFERIOR.:"

"Transferencia de calor por conducción, convección y radiación"

$$q_{\dot{t}b} = h_b (T_b - T_a) \quad \text{"Ec. (87)"} \\ h_b = 1 / ((L_i / k_i) + (1 / (h_{tb\sim a}))) \quad \text{"Ec. (88)"} \\ h_{tb\sim a} = 5.7 \quad \text{"Ec. (90)"}$$

"COEFICIENTES DE TRANSFERENCIA DE CALORES TOTALES"

"-----"

"Desde la superficie del agua hasta la superficie exterior de la cubierta de vidrio"

$$U_{wo} = ((h_{tw\sim g}) (k_g / L_g)) / ((h_{tw\sim g}) + (k_g / L_g)) \quad \text{"Ec. (91)"}$$

"Desde la superficie del agua hasta el ambiente exterior, a través de la cubierta de vidrio"

$$U_t = (h_{tw\sim g} h_{tg\sim a}) / (h_{tg\sim a} + U_{wo}) \quad \text{"Ec. (92)"}$$

"Desde la masa de agua hasta el ambiente exterior, a través de la parte inferior"

$$U_b = (h_w h_b) / (h_w + h_b) \quad \text{"Ec. (93)"}$$

"Desde la masa de agua hasta el ambiente exterior, a través de los lados"

$$U_s = (A_{ss} / A_s) U_b \quad \text{"Ec. (94)"}$$

"Desde la masa de agua hasta el ambiente exterior, a través de la parte superior, inferior y lados"

$$U_{LS} = U_t + U_b + U_s \quad \text{"Ec. (95)"}$$

"BALANCE DE ENERGÍA EN EL ALAMBIQUE SOLAR"

"-----"

"SOBRE LA CUBIERTA DE VIDRIO.:"

"Sobre la superficie interna:"

$$T_{gi} = (\alpha_g i_{TS} + h_{tw\sim g} T_w + (k_g / L_g) T_{go}) / (h_{tw\sim g} + (k_g / L_g)) \quad \text{"Ec. (98)"}$$

"Sobre la superficie externa:"

$$T_{go} = (\alpha_g \cdot I_{TS} \cdot h_k + U_{wo} \cdot T_w + h_{tg} \cdot a \cdot T_a) / (h_{tg} \cdot a + U_{wo}) \quad \text{"Ec. (101)"}$$

$$h_k = (k_g / L_g) / (h_{tw} + g + (k_g / L_g)) \quad \text{"Ec. (102)"}$$

"SOBRE LA FUENTE:"

$$T_b = (\alpha_w \cdot I_{TS} + h_w \cdot T_w + h_b \cdot T_a) / (h_w + h_b) \quad \text{"Ec. (105)"}$$

$$\alpha_w = \alpha_b \cdot (1 - \alpha_g) \cdot (1 - \alpha_w) \quad \text{"Ec. (106)"}$$

"SOBRE LA MASA DE AGUA:"

$M_w = \rho_w \cdot x_w \cdot A_s$  "Masa de agua en la fuente"

$t = 10$  "Restricción"

$$a = U_{eff} / (M_w \cdot C_w) \quad \text{"Ec. (111)"}$$

$$f_{bar_t} = (I_{eff} + U_{eff} \cdot T_a) / (M_w \cdot C_w) \quad \text{"Ec. (112)"}$$

$$U_{eff} = U_{LS} + N_c \cdot F_R \cdot U_{LC} \quad \text{"Ec. (113)"}$$

$$I_{eff} = N_c \cdot F_R \cdot \alpha_{tau_c} \cdot I_{TC} + \alpha_{tau_{eff}} \cdot I_{TS} \quad \text{"Ec. (114)"}$$

$$\alpha_{tau_{eff}} = \alpha_b \cdot (h_w / (h_w + h_b)) + \alpha_w + \alpha_g \cdot (h_{tw} - g) / (h_{tg} \cdot a + U_{wo}) \quad \text{"Ec. (115)"}$$

$$T_w = (f_{bar_t} / a) \cdot (1 - \exp(-a \cdot t)) + T_{w0} \cdot \exp(-a \cdot t) \quad \text{"Ec. (116)"}$$

"PRODUCCIÓN DE AGUA PURA:"

"-----"

"Producción por hora:"

$$m_{dot_{ew}} = ((A_s \cdot h_{ew} - g \cdot (T_w - T_{gi})) / (L)) \cdot 3600 \text{ [s/h]} \quad \text{"Ec. (117)"}$$

$L = \text{Enthalpy}(\text{Water}, T=T_w, x=1) - \text{Enthalpy}(\text{Water}, T=T_w, x=0)$  "Calor latente de vaporización del agua"

"Producción por día:"

$$M_{ew\_day} = m_{dot_{ew}} \cdot N_h \quad \text{"Ec. (118)"}$$

"EFICIENCIA TÉRMICA DEL DESTILADOR SOLAR:"

"-----"

$$\eta_s = \text{Efficiency}(N_c, m_{dot_{ew}}, L, I_{TS}, A_s, I_{TC}, A_c)$$

"-----"

"FIN"

## ANEXO 2: ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO



Laboratorio de  
Investigación y Servicios  
LABINVSERV

### INFORME DE ENSAYOS

**N° DE REPORTE:** 23250-22  
**CLIENTE:** HAROLD MATEO CUTIPA COAQUIRA.  
**DIRECCIÓN:** AREQUIPA.  
**ENSAYO SOLICITADO:** ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO  
**PRODUCTO** AGUA DESTILADA  
**CANTIDAD DE MUESTRA** 01  
**FECHA DE RECEPCION:** Lunes, 02 de agosto de 2022  
**CARACTERÍSTICAS Y CONDICIONES:** BOTELLA DE PLÁSTICO  
**FECHA DE ENTREGA DE RESULTADOS:** Jueves, 04 de agosto de 2022  
**REFERENCIA** MUESTRA PROPORCIONADA POR EL CLIENTE  
**PROCEDENCIA** PEDREGAL.  
**CÓDIGO DE MUESTRA** 29491

LOS RESULTADOS OBTENIDOS CORRESPONDEN AL ANÁLISIS SOLICITADO EN LA MUESTRA RECIBIDA.  
ESTE FORMATO NO SERÁ REPRODUCIDO SIN AUTORIZACIÓN DEL LABORATORIO LABINVSERV

Página 1 de 2

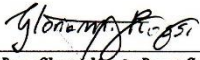
## INFORME DE ENSAYOS

REPORTE N°: 23250-22

ANÁLISIS DE:	UNIDAD	RESULTADOS	METODO DE ENSAYO APLICADO NORMA/REFERENCIA/NOMBRE
pH		6.38	Método AOAC
Conductividad	µS/cm	2.8	Método AOAC
Sólidos Disueltos	mg/L	1.0	Método Gravimétrico
<b>OBSERVACIONES:</b>	Cloruros 0,24 mg / litro		

Página 2 de 2

Emitido en Arequipa, el 04 de agosto de 2022.

  
Dra. Gloria María Rossi Salinas  
Administradora del Laboratorio  
RCQP - 438



  
Anal. Quím. Ruth Elisa Bezares Guillén  
Químico Responsable

## ANEXO 3: FICHAS TÉCNICAS DE MATERIALES

### ANEXO 3.1: PLANCHA GALVANIZADA

## PLANCHAS GALVANIZADAS

#### Descripción:

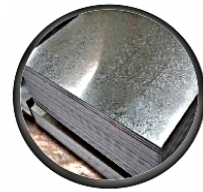
Producto fabricado a partir de bobinas de acero laminadas en frío (LAF) revestida por inmersión en caliente en un baño de Zinc (galvanizadas) en ambos lados. Con este recubrimiento el acero base, mantiene su resistencia y soporta la acción corrosiva del medio ambiente, para después pasar a la línea de corte en donde se trabaja en dimensiones standard de 1200 mm Ancho x 2400 mm Largo, las cuales son comercializadas con espesores de 0.45 mm hasta 1.90 mm

#### Usos:

Ductos de ventilación, aire acondicionado, paneles, silos, campanas de cocinas, equipos de avícolas tales como comederos y bebederos y hojalatería en general.

#### Propiedades Mecánicas:

NORMA TÉCNICA		PROPIEDADES MECÁNICAS		
De la plancha	Del Acero	F (Mpa)	T (Mpa)	A (%Min)
ASTM A653/653M	JIS G 3302 SGCC	-	270 min	32 %min



#### Composición Química:

NORMA TÉCNICA		COMPOSICION QUIMICA (Max)			
De la plancha	Del Acero	C %	Mn %	P %	S %
ASTM A653/653M	JIS G 3302 SPCC SD	0.12%	0.50%	0.04%	0.05%

#### Dimensiones y Pesos

DIMENSION, PESOS NOMINALES Y TOLERANCIA					
Espesor		A	L	Peso Nominal	Tolerancia
Pulg.	mm	mm	mm	(Kg/Plancha)	+/- mm
1/57"	0.45	1200	2400	10.69	0.10
1/54"	0.50	1200	2400	11.82	0.10
1/40"	0.60	1200	2400	14.08	0.10
1/34"	0.75	1200	2400	17.47	0.10
1./32"	0.80	1200	2400	18.60	0.10
1/30"	0.85	1200	2400	19.74	0.10
1.27"	0.90	1200	2400	20.86	0.10
-	0.95	1200	2400	22.00	0.10
1/22"	1.15	1200	2400	26.52	0.13
1/20"	1.20	1200	2400	27.65	0.13
-	1.45	1200	2400	33.30	0.13
1/16"	1.50	1200	2400	34.43	0.13
3/40"	1.90	1200	2400	43.47	0.15

#### Revestimiento de Zinc:

G 40, mínimo 120 g/m<sup>2</sup> (total en ambas caras)

G 60, mínimo 180 g/m<sup>2</sup> (total en ambas caras)

G 90, mínimo 270 g/m<sup>2</sup> (total en ambas caras)

## ANEXO 3.2: PLANCHA INOXIDABLE

### FICHA TÉCNICA DEL ACERO INOXIDABLE

TABLA DE CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL ACERO INOXIDABLE		SERIE 300		
		Acero al Cromo - Níquel	Acero al Cromo - Níquel - Molibdeno	
DESIGNACIÓN	TIPO AISI	<b>304</b>	<b>316</b>	
	COMPOSICIÓN QUÍMICA	<b>C ≤ 0.08%*</b> <b>Si ≤ 1.00%</b> <b>Mn ≤ 2.00%</b> <b>Cr 18% - 20%*</b> <b>Ni 8% - 10,5%*</b>	<b>C ≤ 0.08%*</b> <b>Si ≤ 1.00%</b> <b>Mn ≤ 2.00%</b> <b>Cr 16% - 18%*</b> <b>Ni 10% - 14%*</b> <b>Mo 2% - 2.5%*</b>	
PROPIEDADES FÍSICAS	PESO ESPECÍFICO A 20C (DENSIDAD) (g/cm <sup>3</sup> )	7.9	7.95 - 7.98	
	MÓDULO DE ELASTICIDAD (N/mm <sup>2</sup> )	193,000	193,000	
	ESTRUCTURA	AUSTENÍTICO	AUSTENÍTICO	
	CALOR ESPECÍFICO A 20C (J/Kg K)	500	500	
	CONDUCTIVIDAD TÉRMICA A 20C/100C (W/m K)	15 / 16	15 / 16	
	COEFICIENTE DE DILATACIÓN A 100C (x 10 <sup>6</sup> C <sup>-1</sup> )	16.0 - 17.30	16.02 - 16.5	
	INTERVALO DE FUSIÓN (C)	13981454	13711398	
PROPIEDADES ELÉCTRICAS	PERMEABILIDAD ELÉCTRICA EN ESTADO SOLUBLE RECOCIDO	AMAGNÉTICO 1.008	AMAGNÉTICO 1.008	
	CAPACIDAD DE RESISTENCIA ELÉCTRICA A 20C (μΩm)	0.72 - 0.73	0.73 - 0.74	
PROPIEDADES MECÁNICAS A 20C	DUREZA BRINELL RECOCIDO HRB/CON DEFORMACIÓN EN FRÍO	130150 / 180330	130185 / -	
	DUREZA ROCKWELL RECOCIDO HRB/CON DEFORMACIÓN EN FRÍO	7088 / 1035	7085 / -	
	RESISTENCIA A LA TRACCIÓN RECOCIDO / DEFORMACIÓN EN FRÍO Rm (N/mm <sup>2</sup> )	520 - 720 / 540 - 750	540690 / -	
	ELASTICIDAD RECOCIDO / CON DEFORMACIÓN EN FRÍO Rp (N/mm <sup>2</sup> )	210 / 230	205410 / -	
	ELONGACIÓN (A <sub>5</sub> ) MIN (%)	≥ 45		
	RESILIENCIA KCUL / KVL (J/cm <sup>2</sup> )	160 / 180	160 / 180	
PROPIEDADES MECÁNICAS EN CALIENTE	ELASTICIDAD	RP(0.2) A 300C/400C/500C (N/mm <sup>2</sup> )	125 / 97 / 93	140 / 125 / 105
		RP(1) A 300C/400C/500C (N/mm <sup>2</sup> )	147 / 127 / 107	166 / 147 / 127
	LÍMITE DE FLUENCIA A 500C/600C/700C/800C σ <sub>1</sub> /10 <sup>6</sup> /t (N/mm <sup>2</sup> )	68 / 42 / 14.5 / 4.9	82 / 62 / 20 / 6.5	
TRATAMIENT. TÉRMICOS	RECOCIDO COMPLETO RECOCIDO INDUSTRIAL (OC)	ENFR. RÁPIDO 10081120	ENFR. RÁPIDO 10081120	
	TEMPLADO	NO ES POSIBLE	NO ES POSIBLE	
	INTERVALO DE FORJA INICIAL / FINAL (C)	1200 / 925	1200 / 925	
	FORMACIÓN DE CASCARILLA, SERVICIO CONTINUO / SERVICIO INTERMITENTE	925 / 840	925 / 840	
OTRAS PROPIEDADES	SOLDABILIDAD	MUY BUENA	MUY BUENA	
	MAQUINABILIDAD COMPARADO CON UN ACERO BESSEMER PARA a. B1112	45%	45%	
	EMBUTICIÓN	MUY BUENA	BUENA	

\* Son aceptables tolerancias de un 1%

## ANEXO 3.3: PERFILES ESTRUCTURALES

### Tubo LAF ASTM A513



Dimensiones (pulgadas)		DESIGNACIONES Y PESOS NOMINALES en Kg/m						
		Espesores (mm)						
REDONDO	1/2	0.179	0.207	0.221	0.235	0.262	0.289	
	5/8	0.226	0.262	0.280	0.298	0.332	0.367	0.434
	3/4	0.273	0.317	0.338	0.360	0.403	0.445	0.528
	7/8		0.372	0.397	0.423	0.473	0.523	0.622
	1			0.456	0.485	0.544	0.602	0.716
	1 1/4			0.573	0.611	0.685	0.758	0.904
	1 1/2			0.691	0.736	0.826	0.915	1.092
	1 3/4			0.808	0.861	0.967	1.072	1.280
	2			0.926	0.986	1.108	1.228	1.468
	3							2.220
CUAD.	5/8		0.319	0.341	0.363	0.406	0.449	0.533
	3/4	0.342		0.425	0.452	0.507	0.560	0.666
	7/8	0.429		0.515	0.548	0.614	0.680	0.810
	1	0.459		0.572	0.609	0.683	0.756	0.901
	1 1/4			0.718	0.765	0.858	0.951	1.136
RECT.	1 1/2			0.920	1.035	1.148	1.371	1.703
	1/2 x 1 1/2			0.573	0.615	0.689	0.763	0.910
	1 x 2			0.865	0.928	1.042	1.155	1.381

#### NORMA TÉCNICA DE FABRICACIÓN:

Las dimensiones y espesores se fabrican según la Norma ASTM A513 Tipo 2.

#### DESCRIPCIÓN:

Tubo fabricado con acero al carbono laminado en frío (LAF), utilizando el sistema de soldadura por resistencia eléctrica por inducción de alta frecuencia longitudinal (ERW).

Las secciones de fabricación son redondas, cuadradas y rectangulares.

#### PRESENTACIÓN:

Longitud : 6 m. Otras longitudes a pedido.  
Acabado de extremos : Refrentado (plano), limpio de rebordes.  
Recubrimiento : Aceitado.

#### USOS:

Tubo para estructuras ligeras, muebles, cerrajería en general y usos ornamentales.

#### TOLERANCIAS DIMENSIONALES:

Espesor : Según Norma ASTM A513  
Longitud : + 20 mm, - 5 mm

#### Rectitud

- Redondo : Variación máxima 0.76 mm/m  
- Cuadrado y Rectangular : Variación máxima 1.70 mm/m

### Ángulos Estructurales de Calidad Dual



DIMENSIONES		
Sistema Inglés (pulgadas)		
1 1/2 x 1 1/2 x 3/32	2 1/2 x 2 1/2 x 3/16	4 x 4 x 1/4
1 1/2 x 1 1/2 x 1/8	2 1/2 x 2 1/2 x 1/4	4 x 4 x 5/16
1 1/2 x 1 1/2 x 3/16	2 1/2 x 2 1/2 x 3/8	4 x 4 x 3/8
1 1/2 x 1 1/2 x 1/4	3 x 3 x 1/4	4 x 4 x 1/2
2 x 2 x 1/8	3 x 3 x 5/16	
2 x 2 x 3/16	3 x 3 x 3/8	
2 x 2 x 1/4	3 x 3 x 1/2	
2 x 2 x 3/8		

#### USOS:

En la fabricación de estructuras de acero en plantas industriales, almacenes, techados de grandes luces, industria naval, carrocerías, torres de transmisión.

También se pueden utilizar para la fabricación de puertas, ventanas, rejas, etc.

#### PROPIEDADES MECÁNICAS:

Límite de Fluencia mínimo = 3,520 kg/cm<sup>2</sup>  
Resistencia a la Tracción = 4,590-5,620 kg/cm<sup>2</sup>  
Alargamiento en 200 mm:  
3/32", 1/8" y 3/16" = 15.0% mínimo  
1/4" = 17.5% mínimo  
5/16" = 20.0% mínimo  
3/8" y 1/2" = 20.0% mínimo  
Soldabilidad = Buena

#### NORMAS TÉCNICAS:

ASTM A36/ ASTM 572 - G50.  
Tolerancias Dimensionales: ASTM A6 / A6M.

#### PRESENTACIÓN:

Se producen en barras de 6 metros de longitud. Se suministran en varillas y en paquetones de 2 TM, los cuales están formados por 2 paquetos de 1 TM c/u.

### Platinas



DIMENSIONES		
Sistema Inglés (pulgadas)		
1/8 x 1/2	3/16 x 1 1/2	1/4 x 4
1/8 x 5/8	3/16 x 2	3/8 x 1
1/8 x 3/4	3/16 x 2 1/2	3/8 x 1 1/2
1/8 x 1	3/16 x 3	3/8 x 2
1/8 x 1 1/4	1/4 x 3/4	3/8 x 2 1/2
1/8 x 1 1/2	1/4 x 1	3/8 x 3
1/8 x 2	1/4 x 1 1/4	3/8 x 4
3/16 x 1/2	1/4 x 1 1/2	1/2 x 1 1/2
3/16 x 5/8	1/4 x 2	1/2 x 2
3/16 x 3/4	1/4 x 2 1/2	1/2 x 2 1/2
3/16 x 1	1/4 x 3	
3/16 x 1 1/4		

#### USOS:

Estructuras metálicas de todo tipo: construcción de puertas, portones, cercos, marcos de ventanas, rejas de protección y decorativas, barandas, carpintería metálica artística, muebles, mesas, sillas, adornos.

#### PROPIEDADES MECÁNICAS:

Límite de Fluencia mínimo = 2,530 kg/cm<sup>2</sup>  
Resistencia a la Tracción = 4,080 - 5,620 kg/cm<sup>2</sup>  
Alargamiento en 200 mm:  
1/8" y 3/16" = 15.0% mínimo  
1/4" = 17.5% mínimo  
5/16, 3/8", 5/8", 3/4" y 1" = 20.0% mínimo  
Doblado a 180° = Bueno  
Soldabilidad = Buena

#### NORMAS TÉCNICAS:

Composición Química y Propiedades Mecánicas: ASTM A36 / A36M  
Tolerancias Dimensionales: ISO 1035/4

#### PRESENTACIÓN:

Se producen en barras de 6 metros de longitud. Se suministran en varillas y en paquetones de 2 TM, los cuales están formados por 2 paquetos de 1 TM c/u.

## ANEXO 3.4: PINTURA ANTICORROSIVA

### HOJA TÉCNICA



F- 39  
Ver. 05  
Fecha: 05/09/2020



# ANTICORROSIVO STANDARD / ALTA PROTECCIÓN

## 1. DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO

### PRODUCTO

Producto a base de resina alquídica, pigmentos anticorrosivos, libre de plomo.

### TIPO

Alquídico.

### USOS Y RECOMENDACIONES

Como capa base, sobre superficies de metal que se deseen recubrir para protección anticorrosiva.

### COLORES

Según carta de colores.

### ACABADO

Mate.

## 2. PARÁMETROS DE MEDICIÓN

### SÓLIDOS POR PESO %

Colores, incluido blanco : 59 - 68  
Color Aluminio : 31 - 35

### DENSIDAD (Kg/Gl)

Colores, incluido blanco : 4.50 - 4.90  
Colores Aluminio : 3.30 - 3.50

### VISCOSIDAD

Colores, incluido blanco: 2800 - 3400 Cps a 25 °C, al momento de envasado.

Color Aluminio: 1.20 - 1.40 minutos copa Ford N° 4 a 25 °C, al momento de envasado.

## 3. CARACTERÍSTICAS ESPECIALES

### GENERAL

Anticorrosivo Standard / Alta Protección, proporciona buena protección contra la corrosión, de fácil secado dejando una base con buena adherencia.

## 4. DATOS DE APLICACIÓN

### PREPARACIÓN DE LA SUPERFICIE

La superficie por pintar debe estar seca, libre de polvo, grasa, óxido, pintura mal adherida y todo tipo de contaminantes.

Desaparecer cualquier rastro de óxido mediante el uso de X1 Oxiron Acondicionador Para Metales, y un eficiente lijado.

Para Superficies de Acero expuestas a humedad, ambientes urbanos es conveniente arenar la superficie.

Se recomienda como acabados Esmalte Sintético Alto Brillo o Esmalte Sintético Maestro, Óleo Premium Baños & Cocinas u Óleo Mate Sintético Maestro.

Nota: En cualquier caso, se deberá usar de acuerdo a las instrucciones dadas para cada caso.

### MÉTODO DE APLICACIÓN

Se puede aplicar con brocha y soplete.

### DILUCIÓN

Para aplicación con soplete: Diluir 20 - 25 % Maestrazo Thinner ACrílico automotriz Reforzado AC - 350

Para aplicación con brocha: Diluir 5 - 10 % Maestrazo Thinner ACrílico automotriz Reforzado AC - 350

Nota: Homogenizar completamente la mezcla del producto y solvente antes de aplicar.

### PRECAUCIONES AL APLICAR

No aplique en condiciones de alta humedad o de lluvia inminente en exteriores.

No mezcle este producto con pinturas de otro tipo o marca.

### TIEMPO DE SECADO

Tacto (horas) : 2 - 4  
Duro (horas) : 24  
Repintado (horas) : 12

Nota: Depende de las condiciones ambientales de temperatura y humedad.

### Espesor recomendado de película húmeda por capa

3 - 4 mils

### Espesor recomendado de película seca por capa

1.5 - 2 mils

### RENDIMIENTO TEÓRICO

40 m<sup>2</sup>/Gl.

Los cálculos de rendimiento no incluyen pérdidas por variación del espesor, mezclados inadecuados, aplicación inadecuada, irregularidades de la superficie o porosidad.

**ANYPSA CORPORATION S.A.**  
R.U.C. N° 20600346149

Car. Chillón Trapiche Mza. S/N Lote. 69 Urb. Los Huertos de Tungasuca Lima - Lima - Carabaylo  
www.anypsa.com.pe venta@anypsa.com.pe Telf.: (51-1)613-9090 Fax: (51-1)613-9091

## ANEXO 3.5: PINTURA DE ALTA TEMPERATURA

<p>• TRUSTED QUALITY SINCE 1921 •</p> <p><b>RUST-OLEUM</b> SPECIALTY</p>	<p><b>FICHA TÉCNICA</b> <span style="float: right;"><b>SPC-09</b></span></p> <p><b>RUST-OLEUM HIGH HEAT PINTURA PARA ALTA TEMPERATURA</b></p>
--	---

### PROPIEDADES FÍSICAS

Tipo de Resina		Silicona modificada
Tipo de Pigmentos		Ferrita de manganeso negro, negro cromita
Solventes		Acetona, hidrocarburos aromáticos
Peso	Por Galón	N/C
	Por Litro	N/C
Sólidos	Por Peso	N/C
	Por Volumen	N/C
Compuestos Orgánicos Volátiles		N/C
Espesor de la película seca (DFT) recomendado por capa		1,0-2,0 mil (25-50 µ)
Película húmeda para alcanzar el DFT (material sin diluir)		N/C
Cobertura teórica a 1 mil DFT (25 µ)		N/C
Cobertura práctica al DFT recomendado (asume un 15 % de pérdida de material)		7-8 pies <sup>2</sup> /lata (0,63-0,72 m <sup>2</sup> /lata)
Tiempos de secado a 70-80 °F (21-27 °C) y 50 % de humedad relativa	Al Tacto	30 minutos
	Manipular	1 a 2 horas
	Capa nueva	Dentro de la hora o luego de 48 horas
	Curado completo	Deje secar la pintura durante 1 hora antes de calentar
Vida Útil		5 años
Resistencia al calor seco		1200 °F (648 °C)
Punto de Inflamabilidad		-156 °F (-104 °C)
Información de Seguridad		Para obtener información adicional, vea la Ficha de Seguridad.

La información técnica y sugerencias para usar el contenido que se detalla en esta ficha son las correctas para lo mejor de nuestro conocimiento y compartida de buena fe. La exposición de este documento no constituye una garantía, expresa o implícita, respecto del rendimiento de este producto. Así como las condiciones y uso de nuestros materiales están fuera de nuestro control, podemos garantizar estos productos sólo para ajustarse a nuestros estándares de calidad, y nuestra responsabilidad si la hay, se limitará a la reposición del producto defectuoso. Toda información técnica es materia de cambio sin previo aviso.



Rust-Oleum Corporation  
11 Hawthorn Parkway  
Vernon Hills, Illinois 60061

Phone: 800-481-4785  
www.rustoleumla.com

Formulario: GDH-856  
Rev.: 051415

## ANEXO 3.6: AISLAMIENTO TÉRMICO



Mayo 2019 - La información contenida en esta impresión es entendida por VOLCÁN PERÚ, a modo de impresión, la fecha de impresión del mismo, fabricados por exclusión por el leuano según las condiciones del proyecto específico en que se aplican los productos o soluciones indicadas. En virtud de lo anterior, VOLCÁN PERÚ, como resultado de su proceso de búsqueda de soluciones cada vez más eficientes, puede modificar la información ent regala por este impreso sin previo aviso.

### LANA DE VIDRIO

Es un producto fabricado a altas temperaturas fundiendo arenas con alto contenido de sílice más otros insumos, el resultado final es un producto fibroso de óptimas propiedades de aislamiento térmico y acústico, de elevada adaptabilidad y estabilidad dimensional. Es posible obtener productos en múltiples formatos tales como rollos, paneles u otros, de variados espesores, densidades y que pueden tener diferentes revestimientos adicionales.

### USOS

Diseñado para uso en el sector habitacional e industrial, de preferencia como material componente de soluciones para tabiques, cielo raso, pisos, muros perimetrales de viviendas y talleres industriales, donde se exija:

- Aislación Térmica
- Aislación Acústica
- Evitar pérdidas o ganancias de temperaturas
- Materiales seguros e incombustibles
- Ambientes más sanos



### PRESENTACIÓN

Espesor	Ancho	Largo	R	Densidad
50mm	1.20m	12m	122	12 kg/m <sup>3</sup>
65mm	1.20m	12m	157	12 kg/m <sup>3</sup>
90mm	1.20m	10m	218	12 kg/m <sup>3</sup>

### BENEFICIOS

- Seguro e incombustible
- Contribuye con el medio ambiente
- No es tóxico ni contamina
- Ayuda al cumplimiento de la Norma EM110

### VENTAJAS COMPARATIVAS DE LOS DIFERENTES MATERIALES AISLANTES

Atributos	Lana de Vidrio AislanGlass® Volcán®	Tecnopor	Fibra de Poliéster	Lana Mineral Aislante Volcán®	Simbología
Facilidad de instalación	✓✓✓	✓	✓✓✓	✓✓	
Resistencia térmica (R100 Aprox. igual espesor 80 mm)	R188	R188	R133	R190	
Comportamiento acústico (absorción)	✓✓✓	✓	✓✓	✓✓✓	
Incombustible	✓✓✓	✓	✓	✓✓✓	
Comportamiento frente a emanación gases tóxicos en incendios	✓✓✓	✓	✓✓	✓✓✓	✓ Regular
Comportamiento frente a existencia de puentes térmicos	✓✓✓	✓	✓✓	✓✓✓	✓ Bueno
Facilidad de transporte	✓✓✓	✓	✓✓	✓✓✓	✓✓ Excelente
Comportamiento frente a ataques de insectos y roedores	✓✓✓	✓	✓✓	✓✓✓	

Costos en base 100 (referencia base Lana de Vidrio AislanGlass® Volcán®)

### CARACTERÍSTICAS Y VENTAJAS



AISLACIÓN ACÚSTICA



BUEN COMPORTAMIENTO TÉRMICO



FÁCIL Y RÁPIDO DE INSTALAR



ESTABILIDAD DIMENSIONAL



RESISTENTE A LAS TERMITAS



INCOMBUSTIBLE



VERSÁTIL



## ANEXO 3.8: SELLADOR

### HOJA DE DATOS DEL PRODUCTO

# Sikasil® C

#### SILICONA NEUTRA PARA APLICACIONES SANITARIAS Y DE CONSTRUCCIÓN

#### DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO

Sikasil® C es un sellador de juntas elástico multipropósito, no corrosivo, de curado neutro, monocomponente, para sellar muchos tipos de uniones y juntas. Se aplica sin imprimación. Tiene buena adhesión a la mayoría de los materiales de construcción. Proporciona un sello impermeable elástico y flexible con resistencia a los rayos UV, hongos y moho. Capacidad de movimiento  $\pm 25\%$ . Uso interno y externo.

#### USOS

Sellado de juntas para:

- Vidrio templado
- Sanitarios
- Uniones y conexiones en general

#### CARACTERÍSTICAS / VENTAJAS

- Sin imprimación para la mayoría de los sustratos y aplicaciones.
- Resistente a la exposición a los rayos UV.
- Resistente a la intemperie y al envejecimiento.
- Buena adhesión a muchos materiales de construcción como: metales, concreto, superficies pintadas, madera, plásticos (PVC, Policarbonato), baldosas de cerámica y vidrio.
- Baja emisión de COV.
- Resistencia a largo plazo de hongos y mohos.
- Alta elasticidad y flexibilidad.
- No corrosivo.

#### INFORMACIÓN AMBIENTAL

- Conformidad con LEED v2009 IEQc 4.1:
- Materiales de baja emisión - Adhesivos y selladores
- Declaración de producto ambiental Clasificación de emisiones de COV GEV-EMICODE EC 1PLUS

#### CERTIFICADOS / NORMAS

- EN ISO 11600: Construcción de edificios. Productos de unión. Clasificación y requisitos para selladores.
- Marcado CE y declaración de rendimiento según EN 15651-1 - Selladores para uso no estructural en juntas. Elementos de fachadas.
- Marcado CE y declaración de rendimiento según EN 15651-2 - Selladores para uso no estructural en juntas en edificios - Selladores para acristalamiento.
- Marcado CE y declaración de rendimiento según EN 15651-3 - Selladores para uso no estructural en juntas en edificios - Selladores para juntas sanitarias.

#### INFORMACIÓN DEL PRODUCTO

<b>Base Química</b>	Silicona alcoxi
<b>Empaques</b>	Cartucho de 300 ml: 12 cartuchos por caja.
<b>Color</b>	Blanco y transparente
<b>Vida Útil</b>	15 meses desde la fecha de producción.

Hoja De Datos Del Producto  
Sikasil® C  
Mayo 2019, Versión 03.01  
02051403000000020

## ANEXO 3.9: TUBERÍAS Y ACCESORIOS

# Hidro3<sup>®</sup>

## Termofusión

Mayor caudal, mayor presión. Siempre



### Máxima resistencia a la presión y temperatura

El proceso de fabricación por coextrusión y el empleo de materias primas de probada confiabilidad, maximizan la capacidad del sistema para conducir agua y otros fluidos de manera ininterrumpida y por más de 50 años. Los ensayos de laboratorio y la evaluación de obras de más de 25 años de antigüedad realizadas con el sistema Hidro 3, así lo demuestran.

Presiones y temperaturas admisibles a 50 años para Tuberías Hidro 3 verde.										
Ø Nominal	1/2"	3/4"	1"	1 1/4"	1 1/2"	2"	2 1/2"	3"	4"	5"
Temperatura	Presión de servicio admisible para tubos Hidro 3 unidos por fusión (bar)									
20°	23.7	21.2	21.3	19.5	18.8	17.8	16.8	16.4	15.6	15.3
40°	19.0	17.0	17.0	15.6	15.0	14.2	13.4	13.1	12.5	12.2
60°	14.0	12.5	12.5	11.5	11	10.5	9.9	9.6	9.2	9.00
80°	6.1	5.4	5.4	5.0	4.8	4.5	4.3	4.2	4	3.90

Presiones y temperaturas admisibles a 50 años para Tuberías Hidro 3 azul.										
Ø Nominal	1/2"	3/4"	1"	1 1/4"	1 1/2"	2"	2 1/2"	3"	4"	5"
Temperatura	Presión de servicio admisible para tubos Hidro 3 unidos por fusión (bar)									
20°	23.7	21.2	16.6	13.4	11.5	10.7	9.8	9.4	8.7	8.3

1 bar = 1 kg/cm<sup>2</sup> = 10 m de columna de agua

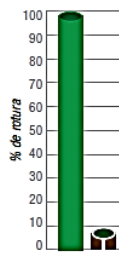
### Mayor resistencia al impacto

El proceso de fabricación por coextrusión (capas) y las materias primas utilizadas en la fabricación de los tubos Hidro 3 verde determina que su resistencia al impacto a baja temperatura sea superior a la de los tubos milimétricos PN20.

#### Hallazgos de laboratorio:

A una fuerza de impacto de 9,81 J (una pesa de 1 kg. arrojada desde un metro de altura) se rompen el 100% de las probetas de tubos de 20mm PN20 impactadas. A esa misma fuerza de impacto se rompen tan sólo el 10% de las probetas Hidro 3 Verde de 1/2". La rotura del 100% de las probetas de Hidro 3 Verde de 1/2" se obtiene con una fuerza de 17.1 J (1 kg./1.75m de altura).

Ensayos de impacto a 0°C



Energía (J)  
x 100  
(kg x 1m)

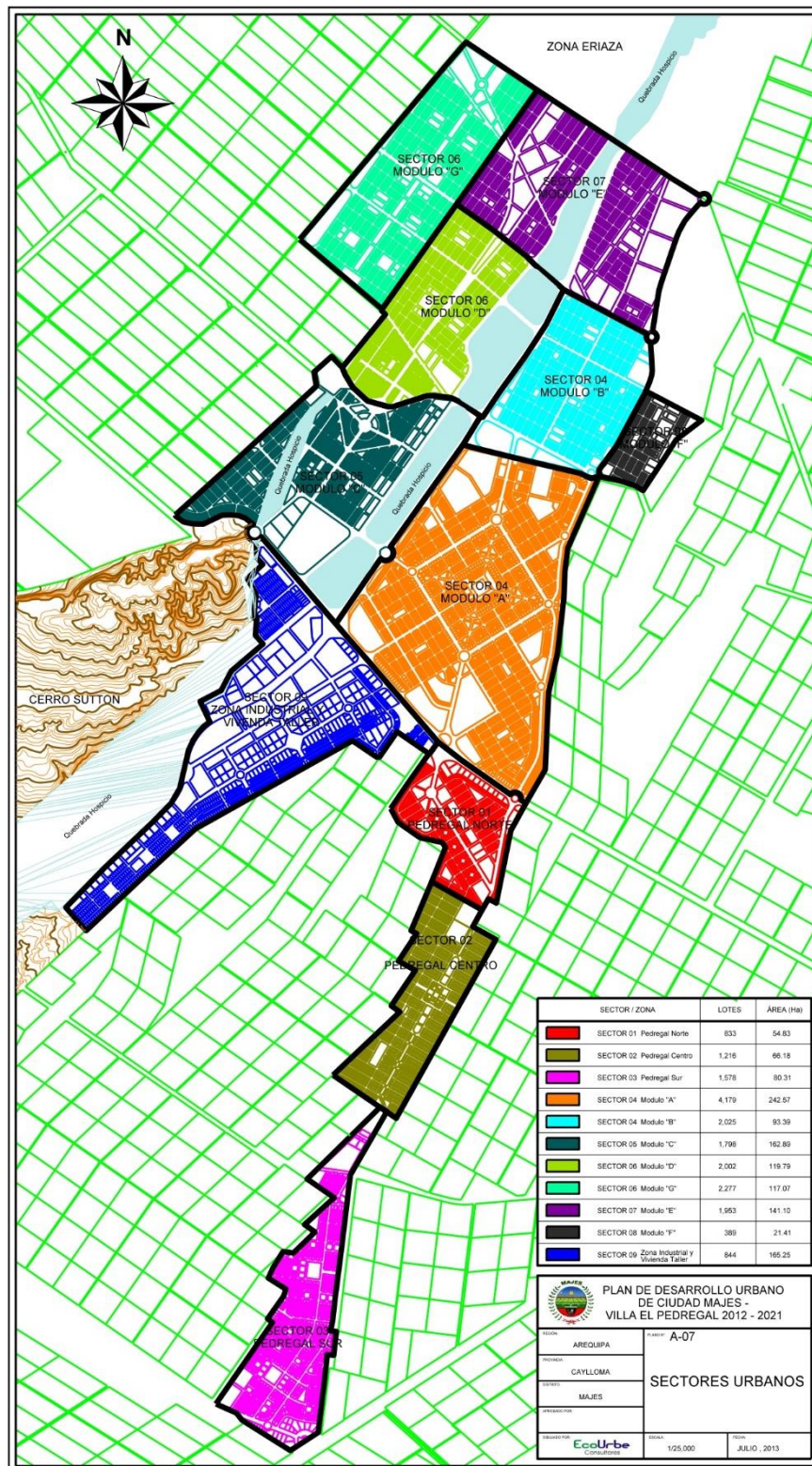
● Tubo 20 mm PN20.  
● Tubo 1/2" H3 Verde.

Hidro 3 verde	Código N°	d mm	dn pulg.	dl mm	s mm	Tuberías para agua caliente		
						Sp cm <sup>2</sup>	P kg/m	Vu l/m
	65	21.30	1/2	14.5	3.4	1.65	0.173	0.165
	66	26.90	3/4	19.1	3.9	2.9	0.256	0.290
	67	33.70	1	23.9	4.9	4.5	0.402	0.450
	68	42.20	1 1/4	30.8	5.7	7.45	0.593	0.745
	69	48.30	1 1/2	35.7	6.3	10.00	0.754	1.000
	70	60.30	2	45.3	7.5	16.10	1.128	1.610
	71	76.10	2 1/2	58.1	9.0	26.50	1.721	2.650
	72	88.90	3	68.3	10.3	36.65	2.307	3.665
	64	114.30	4	88.9	12.7	62.10	3.677	6.210
	63	139.70	5	101.5	19.1	80.91	6.947	8.090

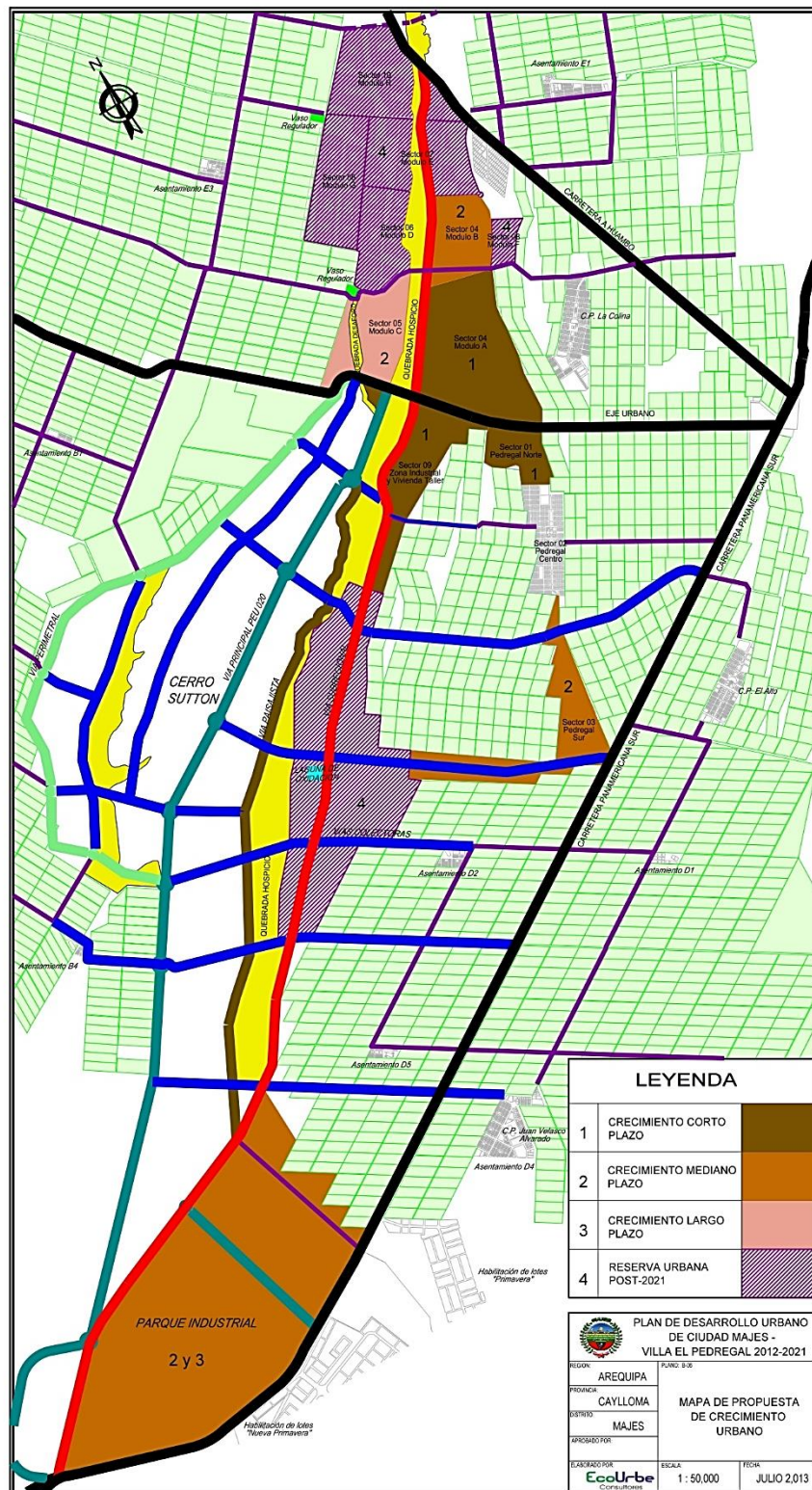
Presentación: Tras por 6 m.



## ANEXO 5: SECTORES URBANOS DEL DISTRITO DE MAJES

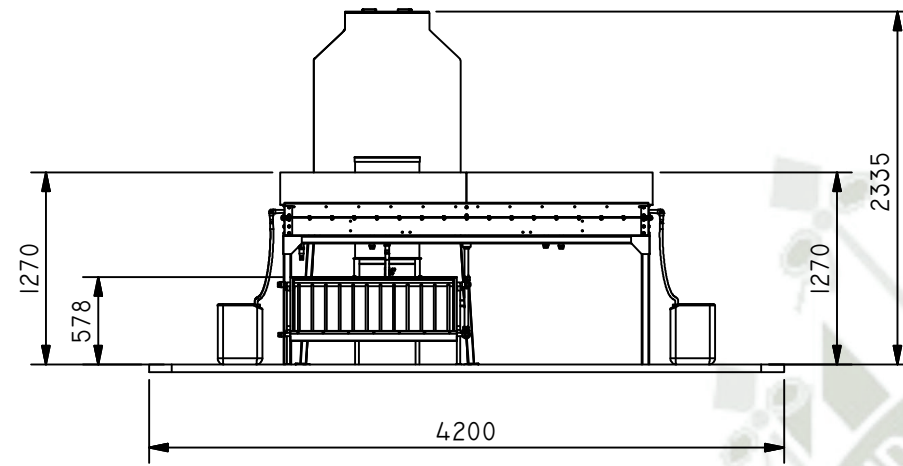


## ANEXO 6: MAPA DE PROPUESTA DE CRECIMIENTO URBANO DEL DISTRITO DE MAJES

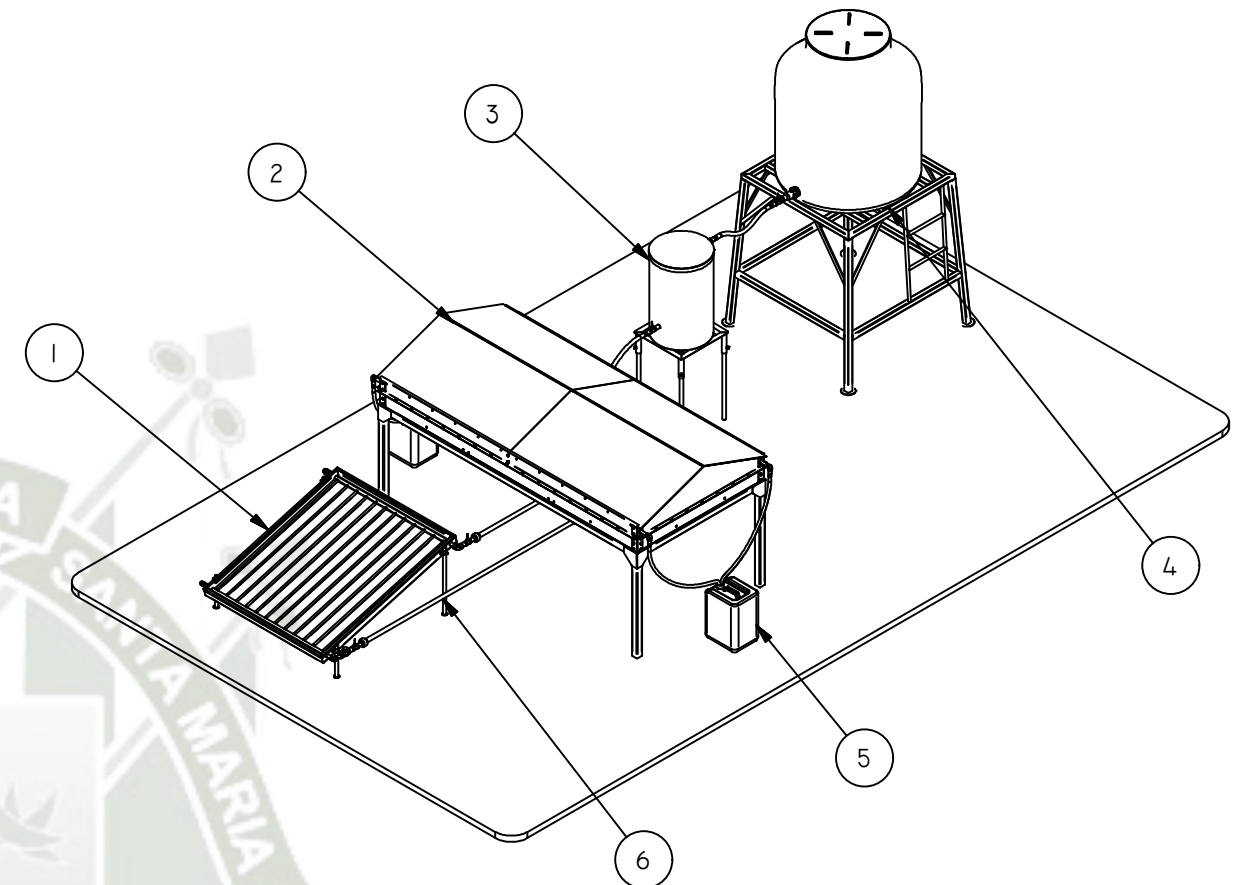


# PLANOS

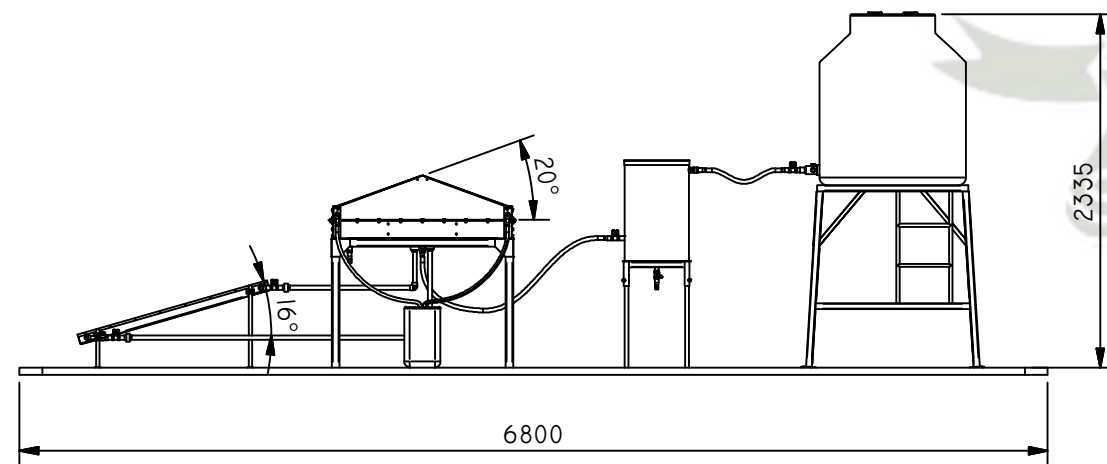
SISTEMA DE DESTILACIÓN SOLAR PROPUESTO  
(ESQUEMA GENERAL)



VISTA FRONTAL  
ESCALA ( 1 : 50 )



VISTA ISOMÉTRICA  
ESCALA ( 1 : 50 )



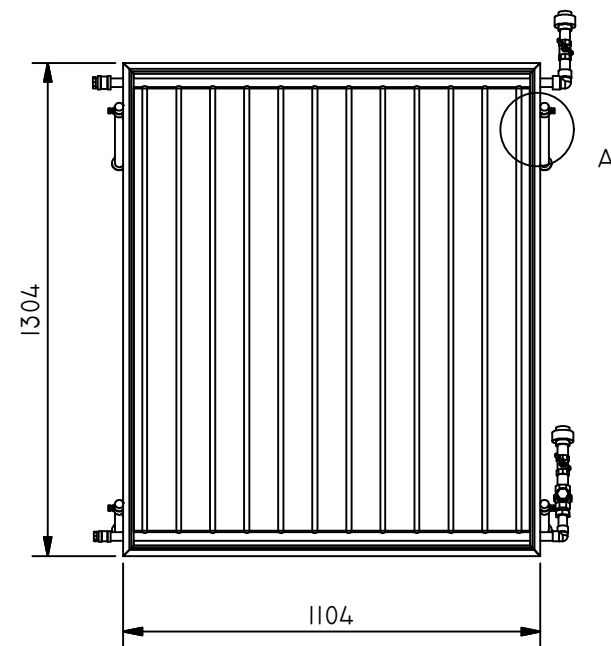
VISTA LATERAL  
ESCALA ( 1 : 50 )

ÍTEM	CANT.	NOMBRE	DESCRIPCIÓN
6	-	TUBERIAS Y MANGUERAS DE INTERCONEXIÓN	TUB. Ø3/4", MANG. Ø3/4" Y Ø5/8"
5	2	DEPOSITO DE RECEPCIÓN DE AGUA PURA	CAPACIDAD MÁX. 20 L.
4	1	TANQUE DE RESERVA DE AGUA CONTAMINADA	CAPACIDAD MÁX. 600 L.
3	1	TANQUE DE CONTROL DE NIVEL DE AGUA CONTAMINADA	CAPACIDAD MÁX. 40 L.
2	1	ALAMBIQUE SOLAR DE DOBLE VERTIENTE	ORIENTACIÓN NORTE
1	1	COLECTOR SOLAR DE PLACA PLANA (FPC)	ORINETACIÓN NORTE

LISTA DE PARTES

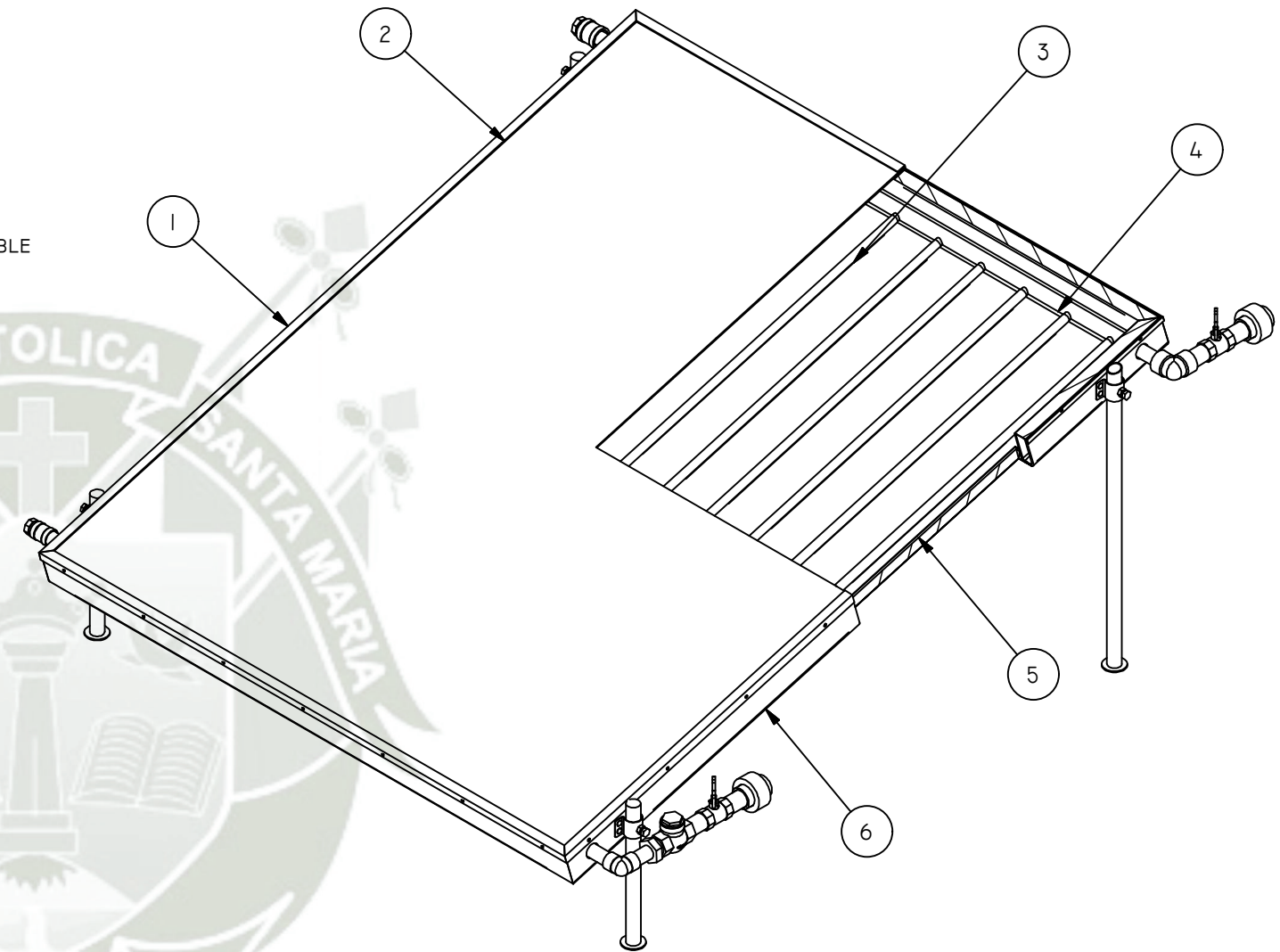
	DISEÑADO POR: H. CUTIPA	FECHA: AGO-2021	PLANO: SISTEMA DE DESTILACIÓN SOLAR PROPUESTO (ESQUEMA GENERAL)			
	DIBUJADO POR: H. CUTIPA	FECHA: AGO-2021	PIEZA:	FORMATO: A3	UNIDAD: MM	Nº DE PLANO: 01
	REVISADO POR: L. HUACASI	FECHA: DIC-2022	LÁMINA: 1/1	ESCALA: 1 : 50	REVISIÓN: 01	
	APROBADO POR: L. HUACASI	FECHA: DIC-2022				

COLECTOR SOLAR DE PLACA PLANA (FPC)  
(PLANO DE CONJUNTO)

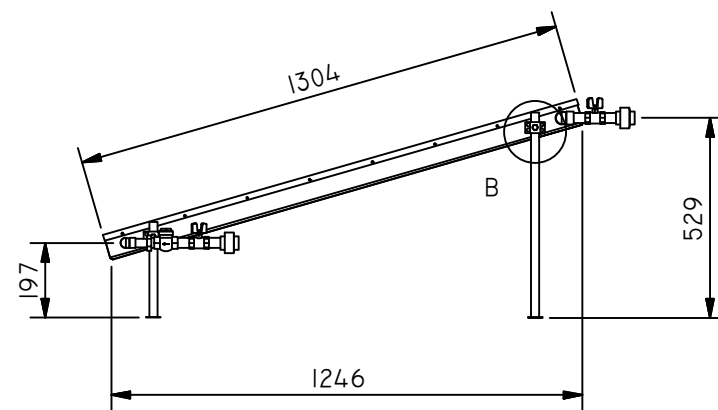


VISTA SUPERIOR  
ESCALA ( 1:20 )

DETALLE A  
ESCALA ( 1 : 10 )



VISTA ISOMÉTRICA  
ESCALA ( 1:10 )



VISTA LATERAL  
ESCALA ( 1:20 )

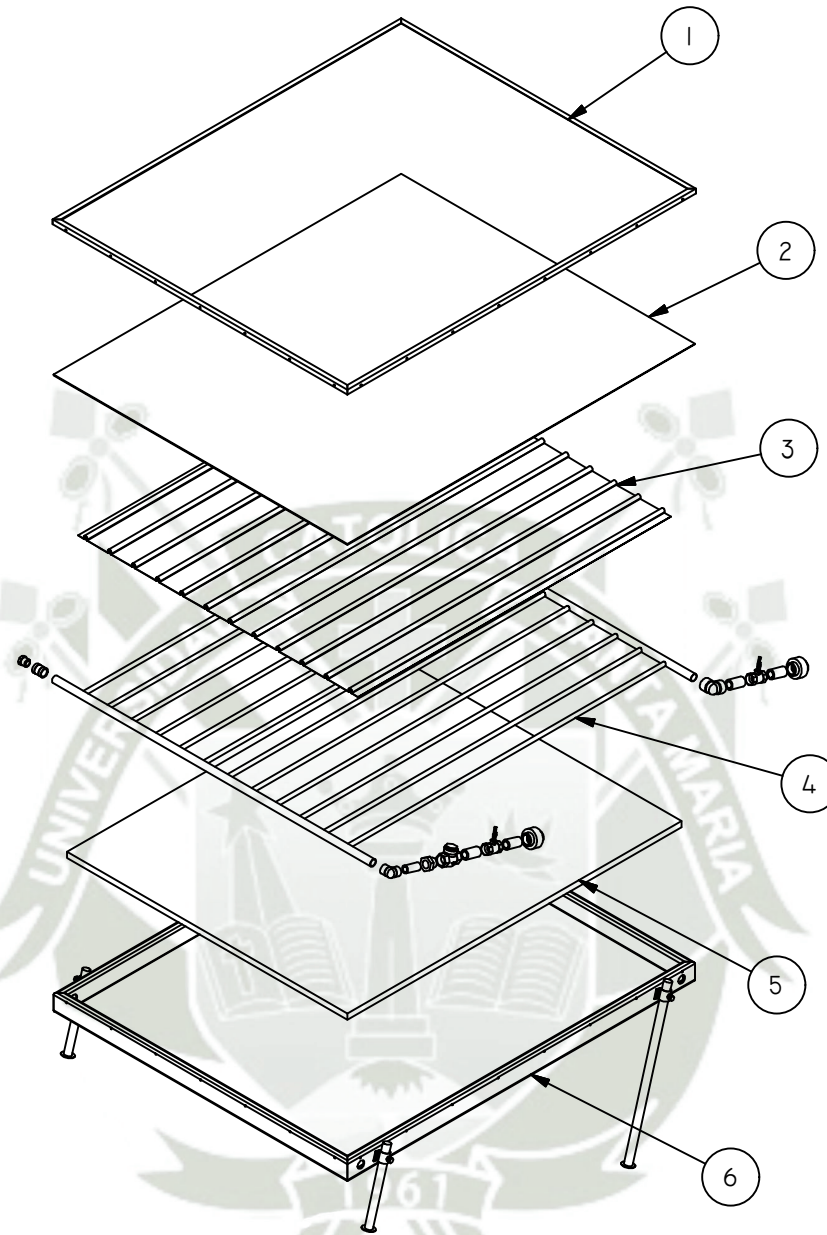
DETALLE B  
ESCALA ( 1 : 10 )



ÍTEM	CANT.	NOMBRE	MATERIAL
6	1	BASTIDOR O CARCASA (SUBCONJUNTO)	PERFIL DE ALUMINIO RECT. 60x25x0.9MM
5	1	AISLAMIENTO TÉRMICO	LANA DE VIDRIO IPULG. ESP.
4	1	BANCO DE TUBOS	COBRE TIPO M
3	1	PLACA ABSORBEDORA	ALUMINIO 0.3MM ESP.
2	1	CUBIERTA SUPERIOR	VIDRIO 3MM ESP.
1	1	MARCO SUPERIOR	PERFIL DE ALUMINIO L 12X12X1.1MM

LISTA DE PARTES



	DISEÑADO POR: H. CUTIPA	FECHA: AGO-2021	PLANO: COLECTOR SOLAR DE PLACA PLANA (FPC) (PLANO DE CONJUNTO)			
	DIBUJADO POR: H. CUTIPA	FECHA: AGO-2021	PIEZA:	FORMATO: A3	UNIDAD: MM	Nº DE PLANO: 02
	REVISADO POR: L. HUACASI	FECHA: DIC-2022	LÁMINA: 1/7	ESCALA: 1:20	REVISIÓN: 01	
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA, MECÁNICA ELÉCTRICA Y MECATRÓNICA	APROBADO POR: L. HUACASI	FECHA: DIC-2022				



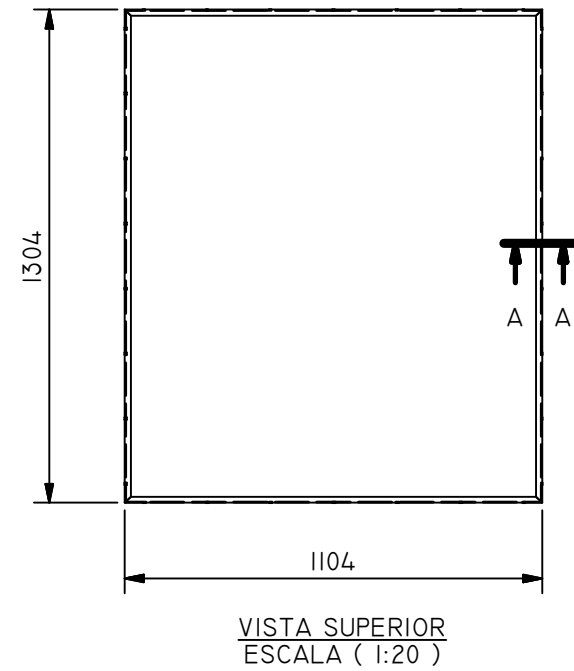
VISTA ISOMÉTRICA  
ESCALA ( 1:20 )

ÍTEM	CANT.	NOMBRE	MATERIAL
6	1	BASTIDOR O CARCASA (SUBCONJUNTO)	PERFIL DE ALUMINIO RECT. 60x25x0.9MM
5	1	AISLAMIENTO TÉRMICO	LANA DE VIDRIO (PULG. ESP.
4	1	BANCO DE TUBOS	COBRE TIPO M
3	1	PLACA ABSORBEDORA	ALUMINIO 0.3MM ESP.
2	1	CUBIERTA SUPERIOR	VIDRIO 3MM ESP.
1	1	MARCO SUPERIOR	PERFIL DE ALUMINIO L 12x12x1.1MM

LISTA DE PARTES

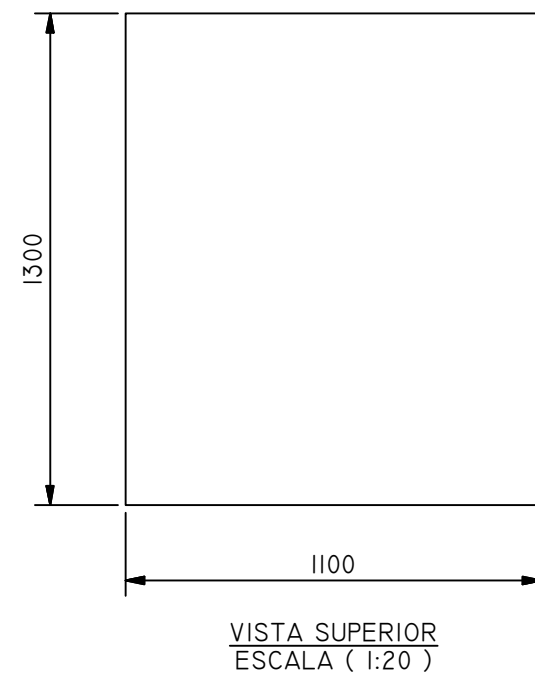
	DISEÑADO POR: H. CUTIPA	FECHA: AGO-2021	PLANO: COLECTOR SOLAR DE PLACA PLANA (FPC) (PLANO DE MONTAJE)			
	DIBUJADO POR: H. CUTIPA	FECHA: AGO-2021	PIEZA:	FORMATO: A4	UNIDAD: MM	Nº DE PLANO: 03
	USADO POR: L. HUACASI	FECHA: DIC-2022	LÁMINA: 2/7	ESCALA: 1:20	REVISIÓN: 01	
	APROBADO POR: L. HUACASI	FECHA: DIC-2022				

PIEZA 1: MARCO SUPERIOR

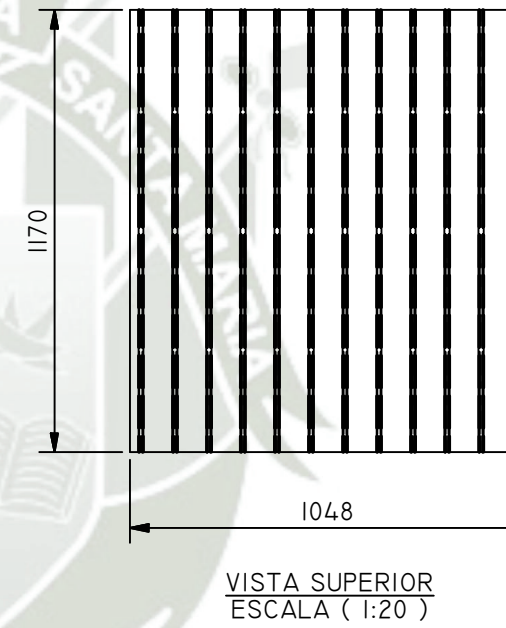
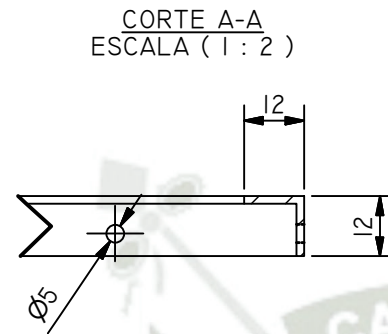


NOTA:  
- UNIÓN REMACHADA: REMACHE DE ALUMINIO Ø1/8"x1/2"

PIEZA 2: CUBIERTA SUPERIOR

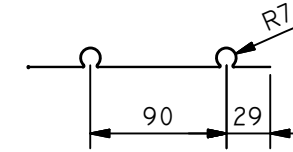


PIEZA 3: PLACA ABSORBEDORA



NOTA:  
- RECUBRIMIENTO: PINTURA TERMORESISTENTE COLOR NEGRO MATE

DETALLE A  
ESCALA ( 1:5 )



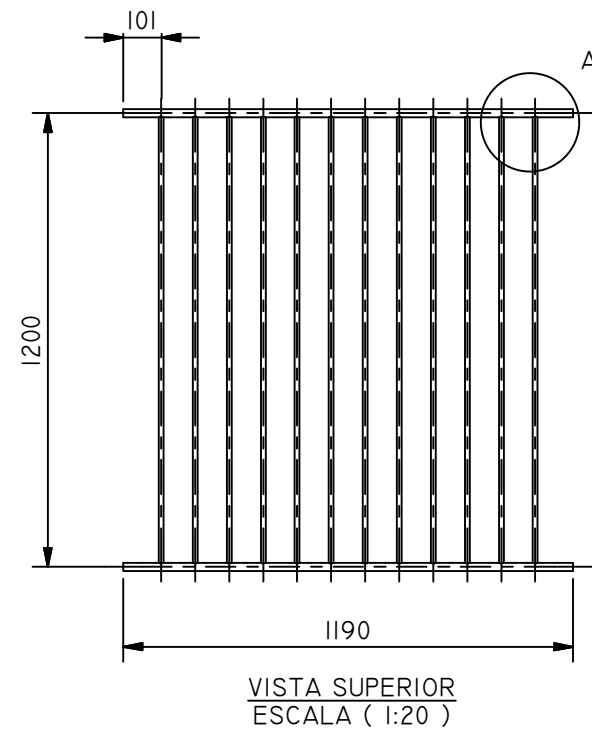
ÍTEM	CANT.	NOMBRE	MATERIAL
3	1	PLACA ABSORBEDORA	ALUMINIO 0.3MM ESP.
2	1	CUBIERTA SUPERIOR	VIDRIO 3MM ESP.
1	1	MARCO SUPERIOR	PERFIL DE ALUMINIO L 12x12x1.1MM

LISTA DE PIEZAS

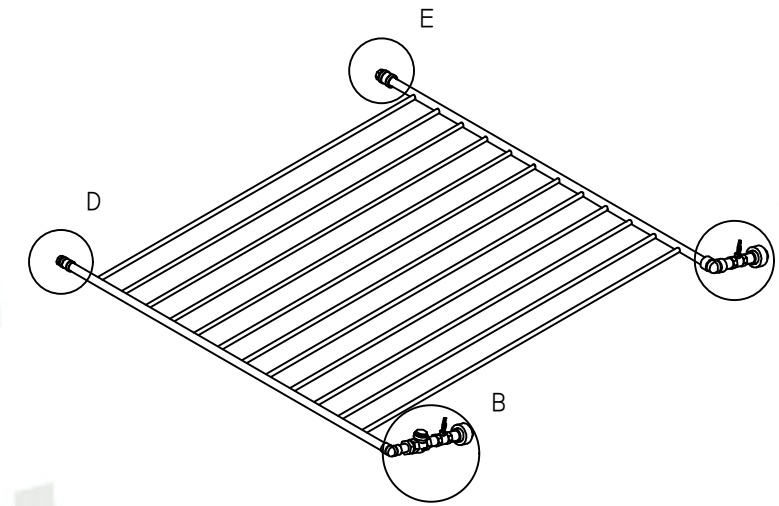
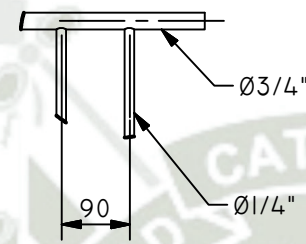
	DISEÑADO POR: H. CUTIPA	FECHA: AGO-2021	PLANO: COLECTOR SOLAR DE PLACA PLANA (FPC) (PLANO DE DESPIECE)			
	DIBUJADO POR: H. CUTIPA	FECHA: AGO-2021	PIEZA: 1, 2 y 3	FORMATO: A3	UNIDAD: MM	Nº DE PLANO: 04
	REVISADO POR: L. HUACASI	FECHA: DIC-2022	LÁMINA: 3/7	ESCALA: 1:20	REVISIÓN: 01	
	APROBADO POR: L. HUACASI	FECHA: DIC-2022				

COLECTOR SOLAR DE PLACA PLANA (FPC)  
(PLANO DE DESPIECE)

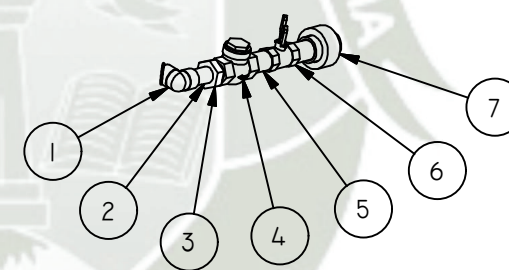
PIEZA 4: BANCO DE TUBOS



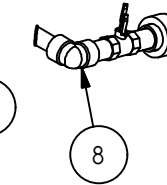
DETALLE A  
ESCALA ( 1 : 10 )



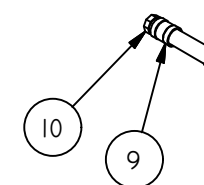
DETALLE B  
ESCALA ( 1 : 10 )



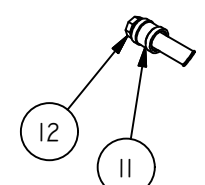
DETALLE C  
ESCALA ( 1 : 10 )



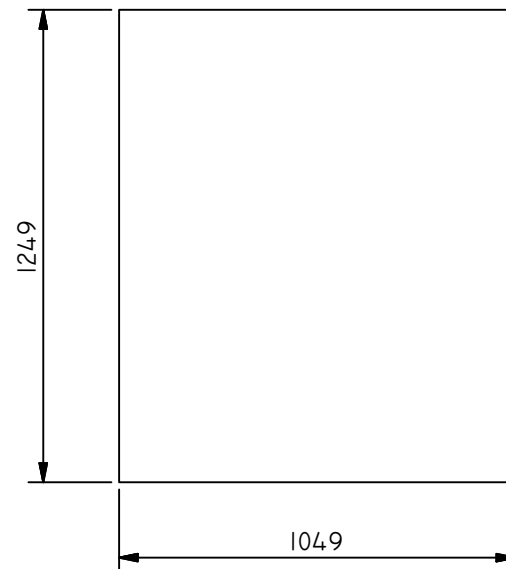
DETALLE D  
ESCALA ( 1 : 10 )



DETALLE E  
ESCALA ( 1 : 10 )



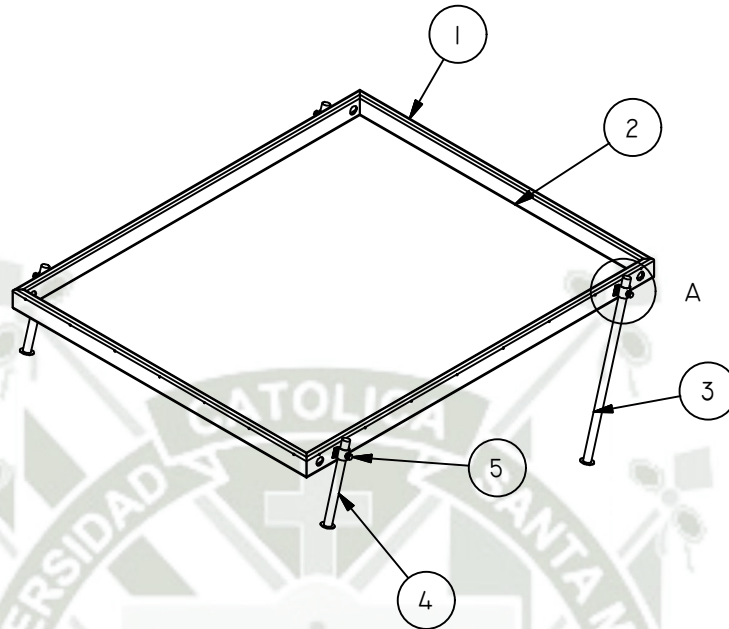
PIEZA 5: AISLAMIENTO TÉRMICO



12	1	TAPÓN MACHO Ø3/4"	POLIPROPILENO
11	1	UNIÓN Ø3/4"	POLIPROPILENO
10	1	TAPÓN MACHO Ø1/2"	POLIPROPILENO
9	1	UNIÓN Ø1/2"	POLIPROPILENO
8	1	CODO Ø3/4"	POLIPROPILENO
7	2	UNIÓN UNIVERSAL Ø3/4"	POLIPROPILENO
6	2	LLAVE DE PASO Ø3/4"	POLIPROPILENO
5	4	NIPLE Ø3/4"x2"	POLIPROPILENO
4	1	VÁLVULA UNIDIRECCIONAL Ø3/4"	BRONCE
3	1	BUSHING REDUCTOR Ø3/4" A Ø1/2"	POLIPROPILENO
2	1	NIPLE Ø1/2"x2"	POLIPROPILENO.
1	1	CODO Ø1/2"	POLIPROPILENO
ÍTEM	CANT.	NOMBRE	MATERIAL

LISTA DE ACCESORIOS - PIEZA 4

	DISEÑADO POR: H. CUTIPA	FECHA: AGO-2021	PLANO: COLECTOR SOLAR DE PLACA PLANA (FPC) (PLANO DE DESPIECE)			
	DIBUJADO POR: H. CUTIPA	FECHA: AGO-2021	PIEZA: 4 Y 5	FORMATO: A3	UNIDAD: MM	Nº DE PLANO: 05
	REVISADO POR: L. HUACASI	FECHA: DIC-2022	LÁMINA: 4/7	ESCALA: 1:20	REVISIÓN: 01	
	APROBADO POR: L. HUACASI	FECHA: DIC-2022				



VISTA ISOMÉTRICA  
ESCALA ( 1:20 )



DETALLE A  
ESCALA ( 1 : 10 )

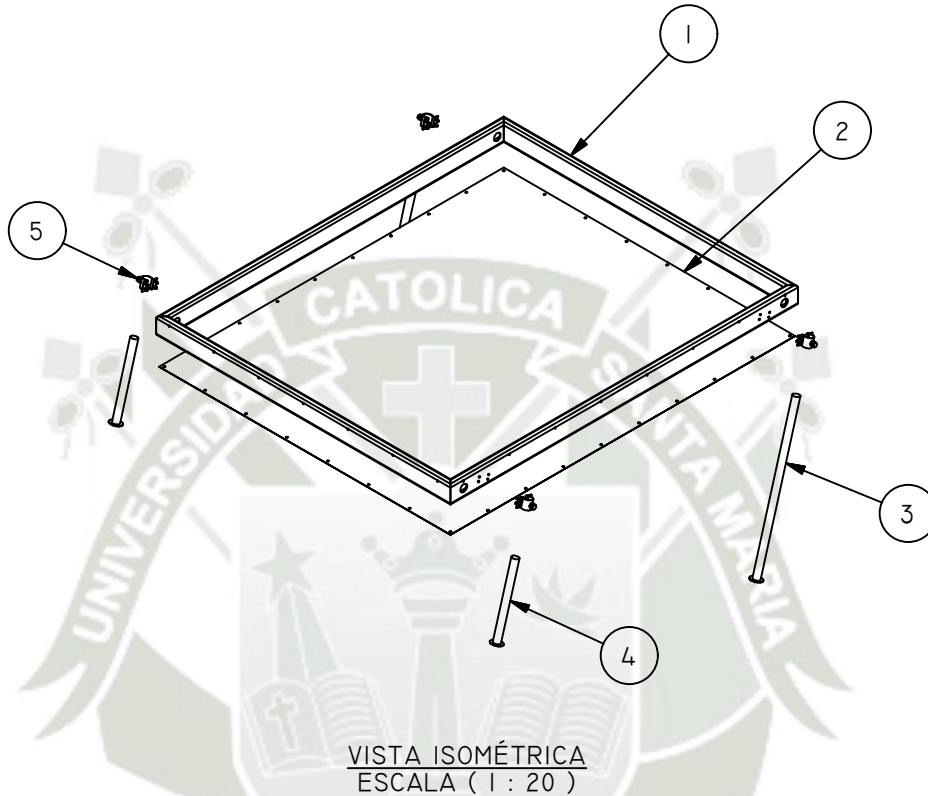


ALTURA REGULABLE  
PERNO HEX Ø5/16"x5/8"

ÍTEM	CANT.	NOMBRE	MATERIAL
5	4	SUJETADOR	ACERO AL CARBONO 1.0MM ESP.
4	2	SOPORTE INFERIOR	ACERO AL CARBONO 1.2MM ESP.
3	2	SOPORTE SUPERIOR	ACERO AL CARBONO 1.2MM ESP.
2	1	CUBIERTA INFERIOR	ACERO GALVANIZADO 0.3MM ESP.
1	1	BASTIDOR	PERFIL DE ALUMINIO RECT. 60X25X0.9MM



LISTA DE PARTES

	DISEÑADO POR: H. CUTIPA	FECHA: AGO-2021	PLANO: COLECTOR SOLAR DE PLACA PLANA (FPC) BASTIDOR O CARCASA (SUBCONJUNTO) (PLANO DE CONJUNTO)			
	DIBUJADO POR: H. CUTIPA	FECHA: AGO-2021	PIEZA: 6 (SUBCONJ.)	FORMATO: A4	UNIDAD: MM	N° DE PLANO: 06
	USADO POR: L. HUACASI	FECHA: DIC-2022	LÁMINA: 5/7	ESCALA: 1:20	REVISIÓN: 01	
	APROBADO POR: L. HUACASI	FECHA: DIC-2022				

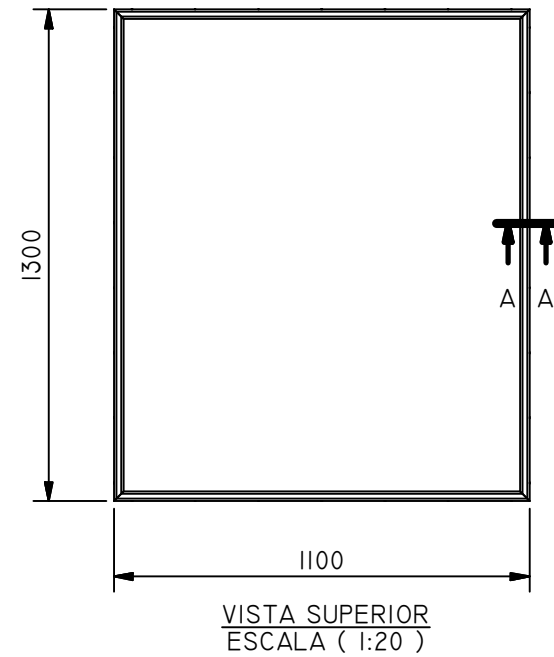


ÍTEM	CANT.	NOMBRE	MATERIAL
5	4	SUJETADOR	ACERO AL CARBONO 1.0MM ESP.
4	2	SOPORTE INFERIOR	ACERO AL CARBONO 1.2MM ESP.
3	2	SOPORTE SUPERIOR	ACERO AL CARBONO 1.2MM ESP.
2	1	CUBIERTA INFERIOR	ACERO GALVANIZADO 0.3MM ESP.
1	1	BASTIDOR	PERFIL DE ALUMINIO RECT. 60X25X0.9MM

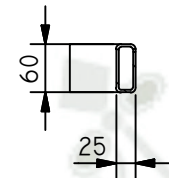
LISTA DE PARTES

	DISEÑADO POR: H. CUTIPA	FECHA: AGO-2021	PLANO: COLECTOR SOLAR DE PLACA PLANA (FPC) BASTIDOR O CARCASA (SUBCONJUNTO) (PLANO DE MONTAJE)			
	DIBUJADO POR: H. CUTIPA	FECHA: AGO-2021	PIEZA: 6 (SUBCONJ.)	FORMATO: A4	UNIDAD: MM	Nº DE PLANO: 07
	USADO POR: L. HUACASI	FECHA: DIC-2022	LÁMINA: 6/7	ESCALA: 1 : 20	REVISIÓN: 01	
APROBADO POR: L. HUACASI		FECHA: DIC-2022				

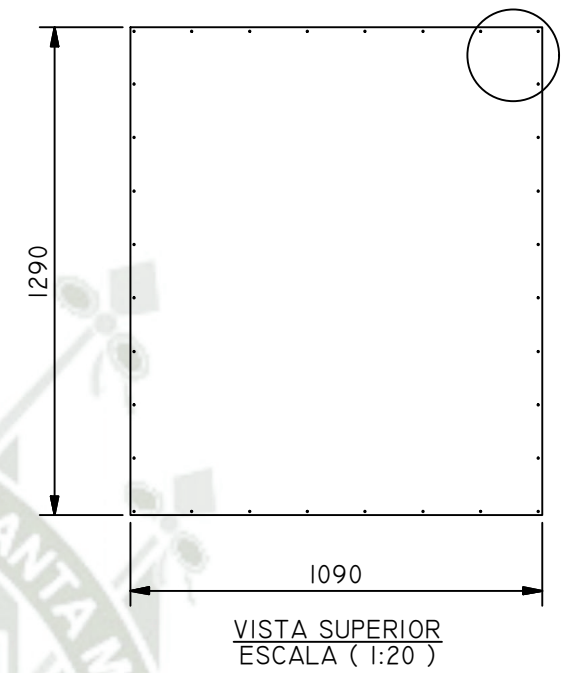
PIEZA 1: BASTIDOR



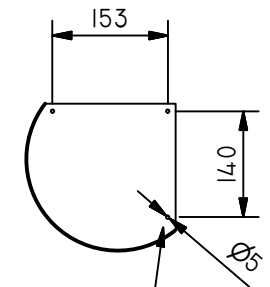
CORTE A-A  
ESCALA ( 1:10 )



PIEZA 2: CUBIERTA INFERIOR

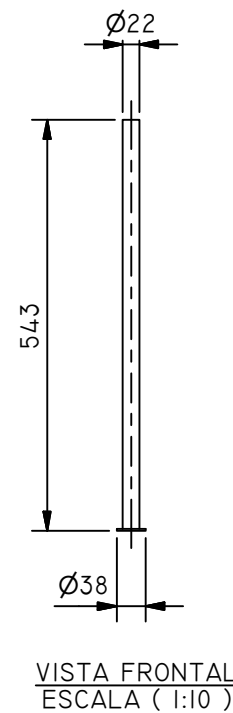


DETALLE A  
ESCALA ( 1 : 10 )

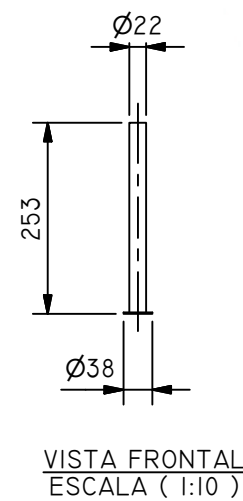


UNIÓN REMACHADA  
REMACHE DE AL Ø1/8"x1/2"

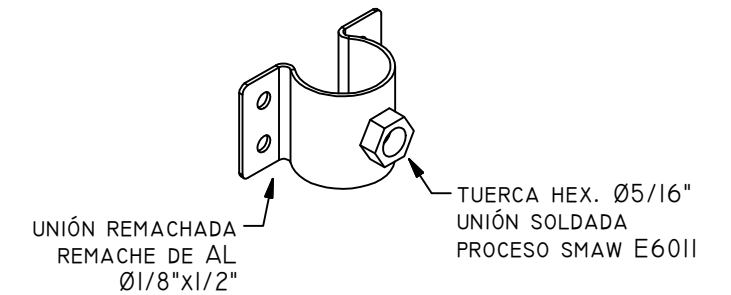
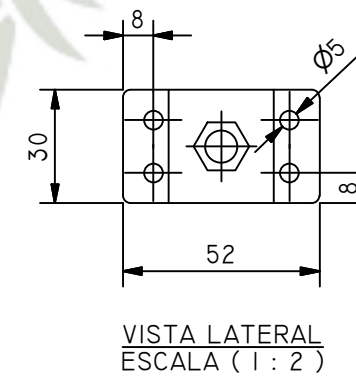
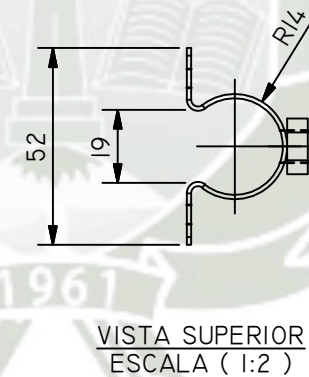
PIEZA 3: SOPORTE SUPERIOR



PIEZA 4: SOPORTE INFERIOR



PIEZA 5: SUJETADOR



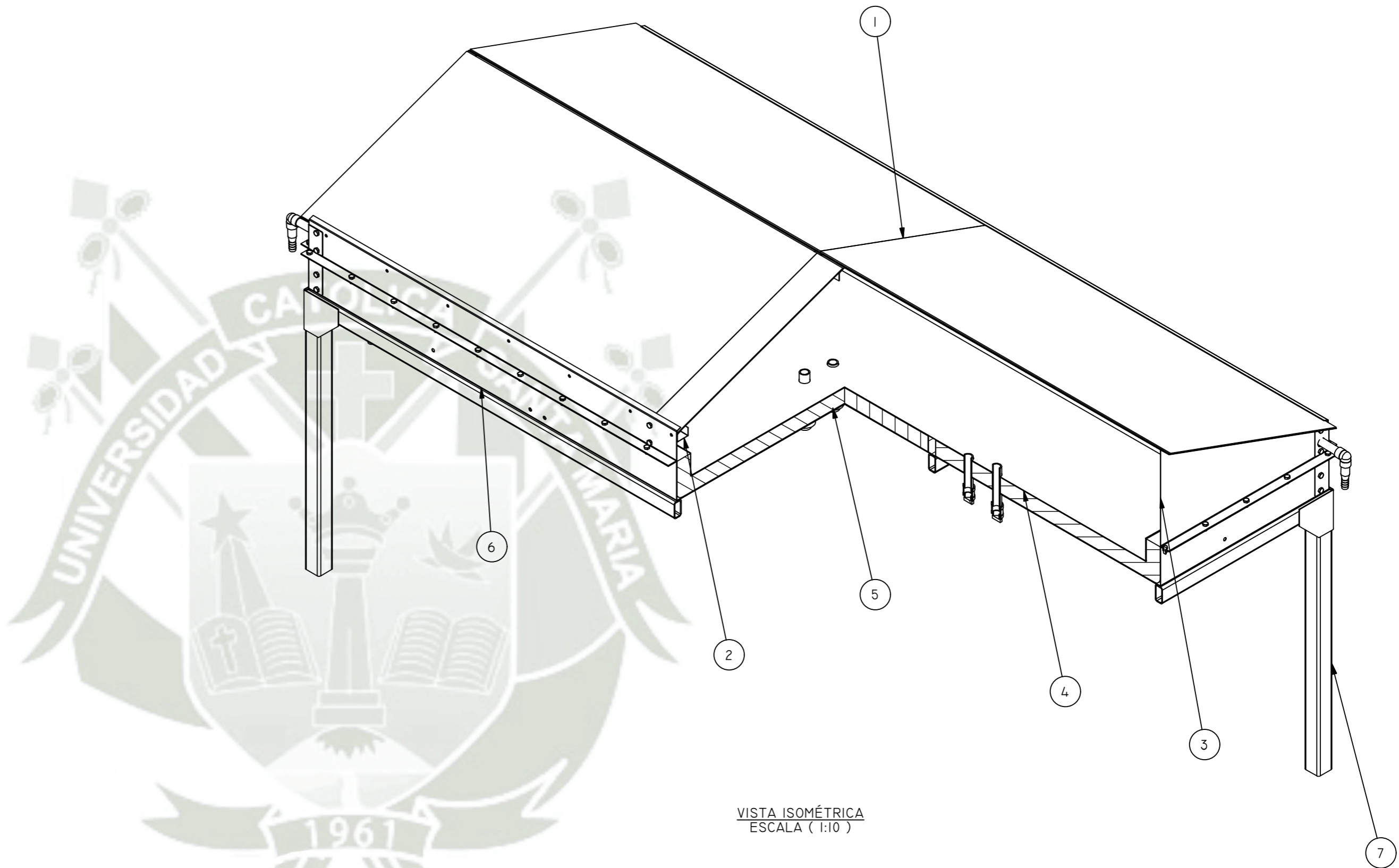
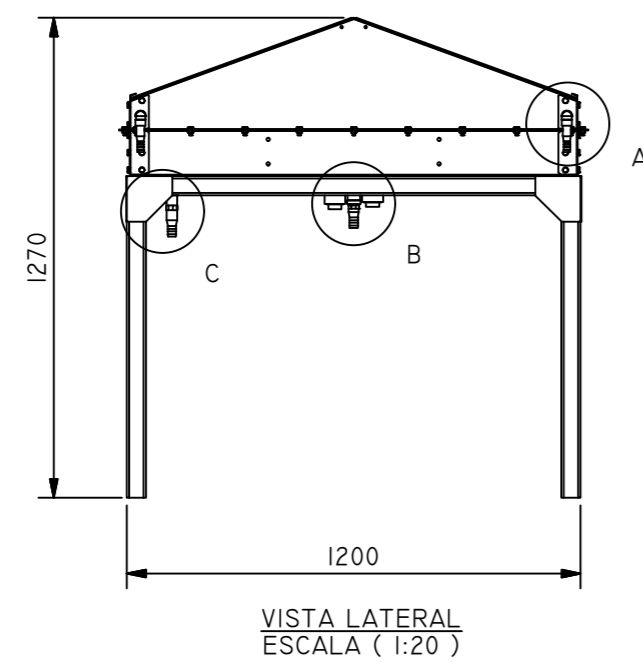
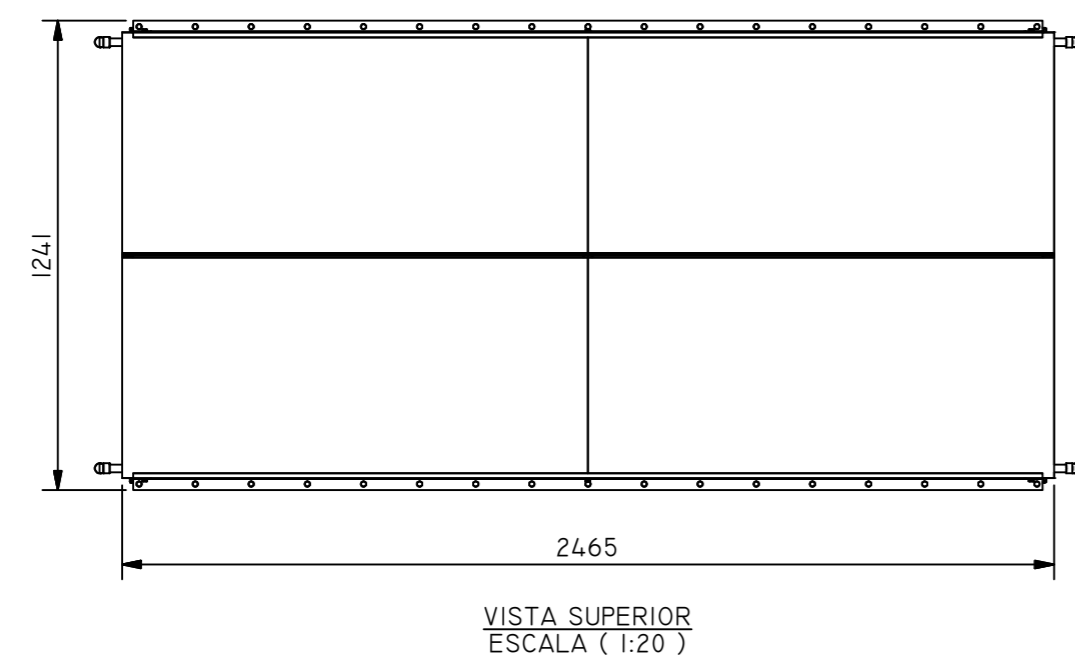
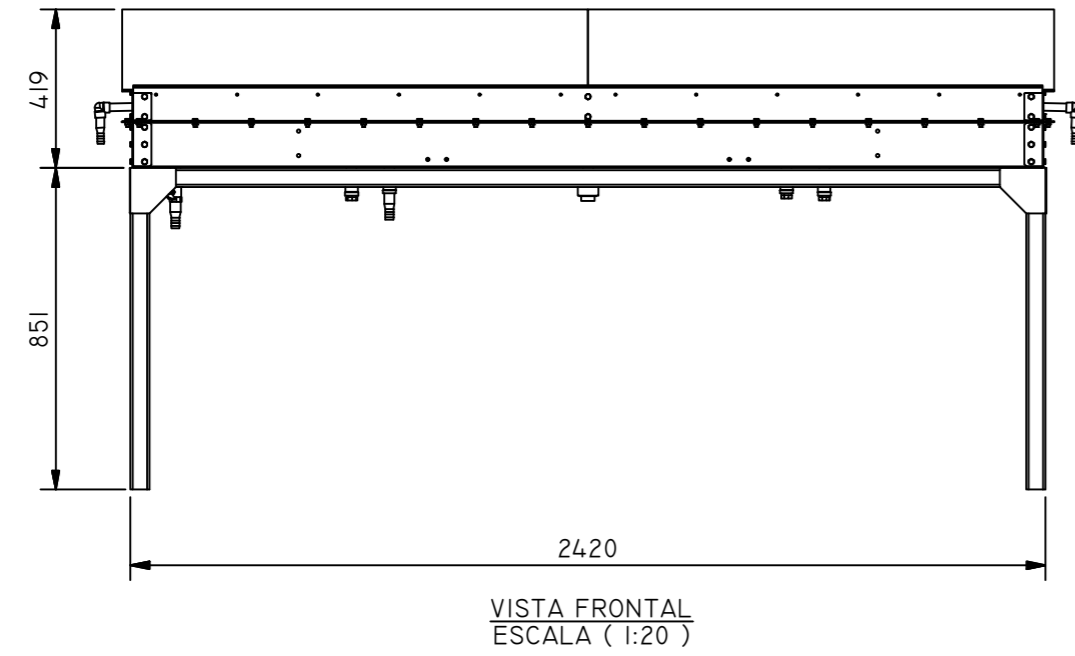
VISTA ISOMÉTRICA  
ESCALA ( 1:2 )

NOTA: EL RECUBRIMIENTO PARA LAS PIEZAS DE ACERO AL CARBONO ES BASE ANTICORROSIVA COLOR GRIS.

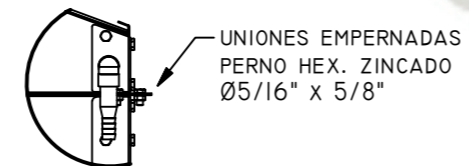
ÍTEM	CANT.	NOMBRE	MATERIAL
5	4	SUJETADOR	ACERO AL CARBONO 1.0MM ESP.
4	2	SOPORTE INFERIOR	TUBO RED. ASTM - A513 Ø7/8"x1.2MM ESP..
3	2	SOPORTE SUPERIOR	TUBO RED. ASTM - A513 Ø7/8"x1.2MM ESP.
2	1	CUBIERTA INFERIOR	ACERO GALVANIZADO 0.3MM ESP.
1	1	BASTIDOR	PERFIL DE ALUMINIO RECT. 60X25X0.9MM

LISTA DE PARTES

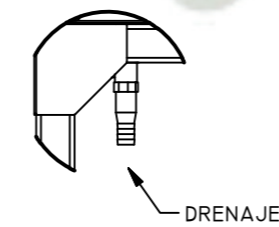
	DISEÑADO POR: H. CUTIPA	FECHA: AGO-2021	PLANO: COLECTOR SOLAR DE PLACA PLANA (FPC) BASTIDOR O CARCASA (SUBCONJUNTO) (PLANO DE DESPIECE)			
	DIBUJADO POR: H. CUTIPA	FECHA: AGO-2021	PIEZA: 1,2,3,4y5	FORMATO: A3	UNIDAD: MM	Nº DE PLANO: 08
	REVISADO POR: L. HUACASI	FECHA: DIC-2022	LÁMINA: 7/7	ESCALA: 1:20	REVISIÓN: 01	
	APROBADO POR: L. HUACASI	FECHA: DIC-2022				



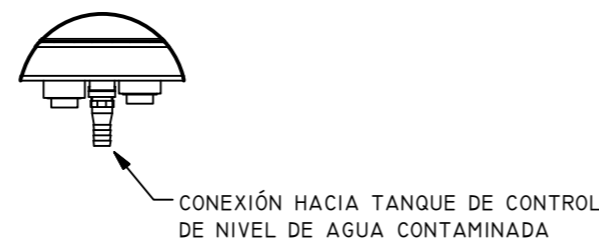
DETALLE A  
ESCALA ( 1 : 10 )



DETALLE C  
ESCALA ( 1 : 10 )

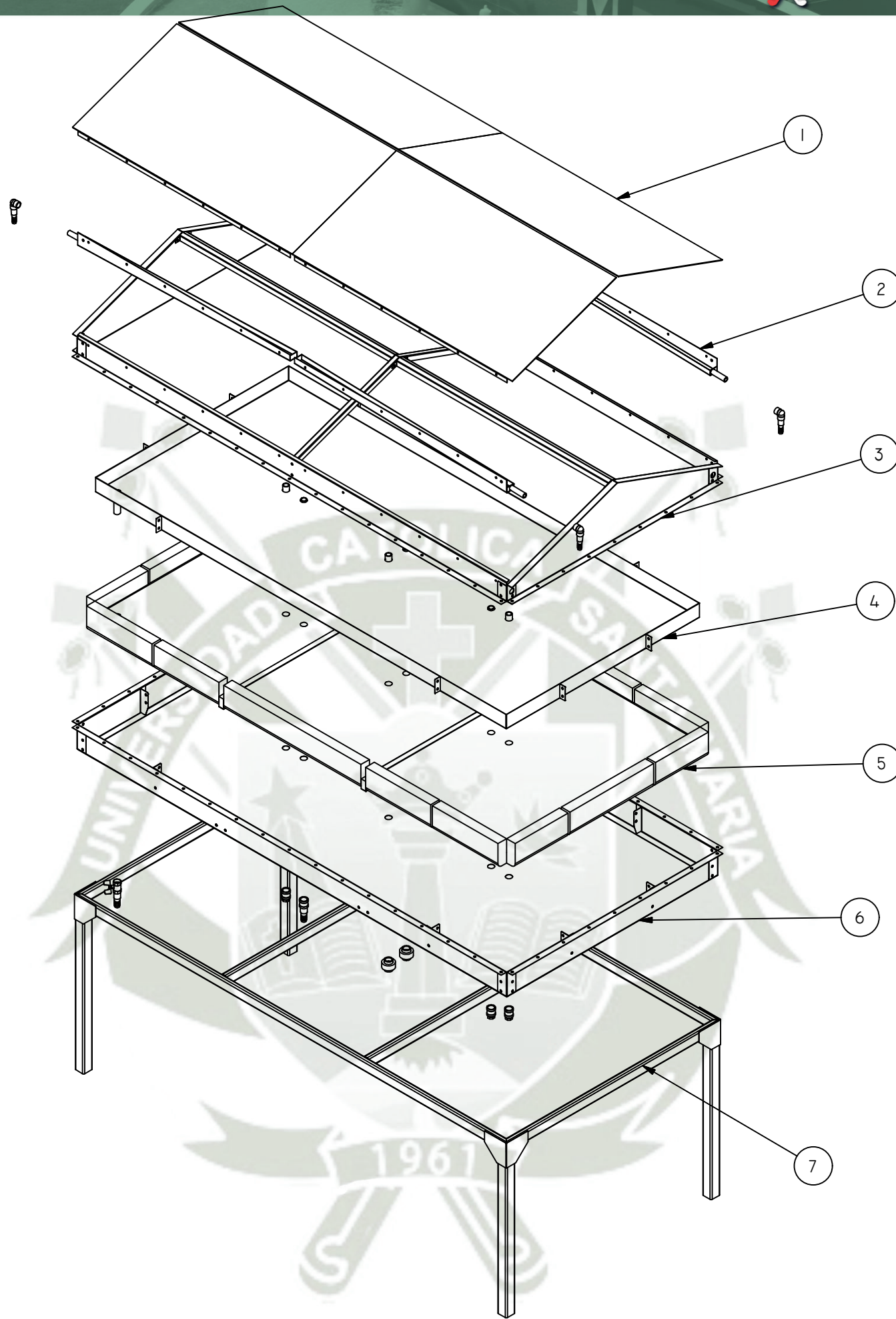


DETALLE B  
ESCALA ( 1 : 10 )



ÍTEM	CANT.	NOMBRE	MATERIAL
7	1	ESTRUCTURA DE SOPORTE	ACERO AL CARBONO (LAF) 1.2MM ESP.
6	1	BASTIDOR DE EVAPORADOR (SUBCONJUNTO)	ACERO GALVANIZADO 1.2MM ESP. (1/20")
5	1	AISLAMIENTO TÉRMICO (SUBCONJUNTO)	LANA DE VIDRIO 50MM ESP.
4	1	BANDEJA DE EVAPORACIÓN	ACERO INOXIDABLE 304 1MM ESP.
3	1	BASTIDOR DE CONDENSADOR (SUBCONJUNTO)	ACERO GALVANIZADO 1.2MM ESP. (1/20")
2	4	CANALETA RECOLECTORA	ACERO INOXIDABLE 304 1MM ESP.
1	1	CUBIERTA SUPERIOR (SUBCONJUNTO)	VIDRIO 3MM ESP., ACERO INOXIDABLE 304 1MM ESP.



LISTA DE PARTES						
	DISEÑADO POR: H. CUTIPA	FECHA: AGO-2021	PLANO: ALAMBIQUE SOLAR DE DOBLE VERTIENTE (PLANO DE CONJUNTO)			
	DIBUJADO POR: H. CUTIPA	FECHA: AGO-2021				
	REVISADO POR: L. HUACAS	FECHA: DIC-2022	PIEZA:	FORMATO: A2	UNIDAD: MM	Nº DE PLANO: 09
	APROBADO POR: L. HUACAS	FECHA: DIC-2022	LÁMINA: 1/17	ESCALA: 1:20	REVISIÓN: 01	

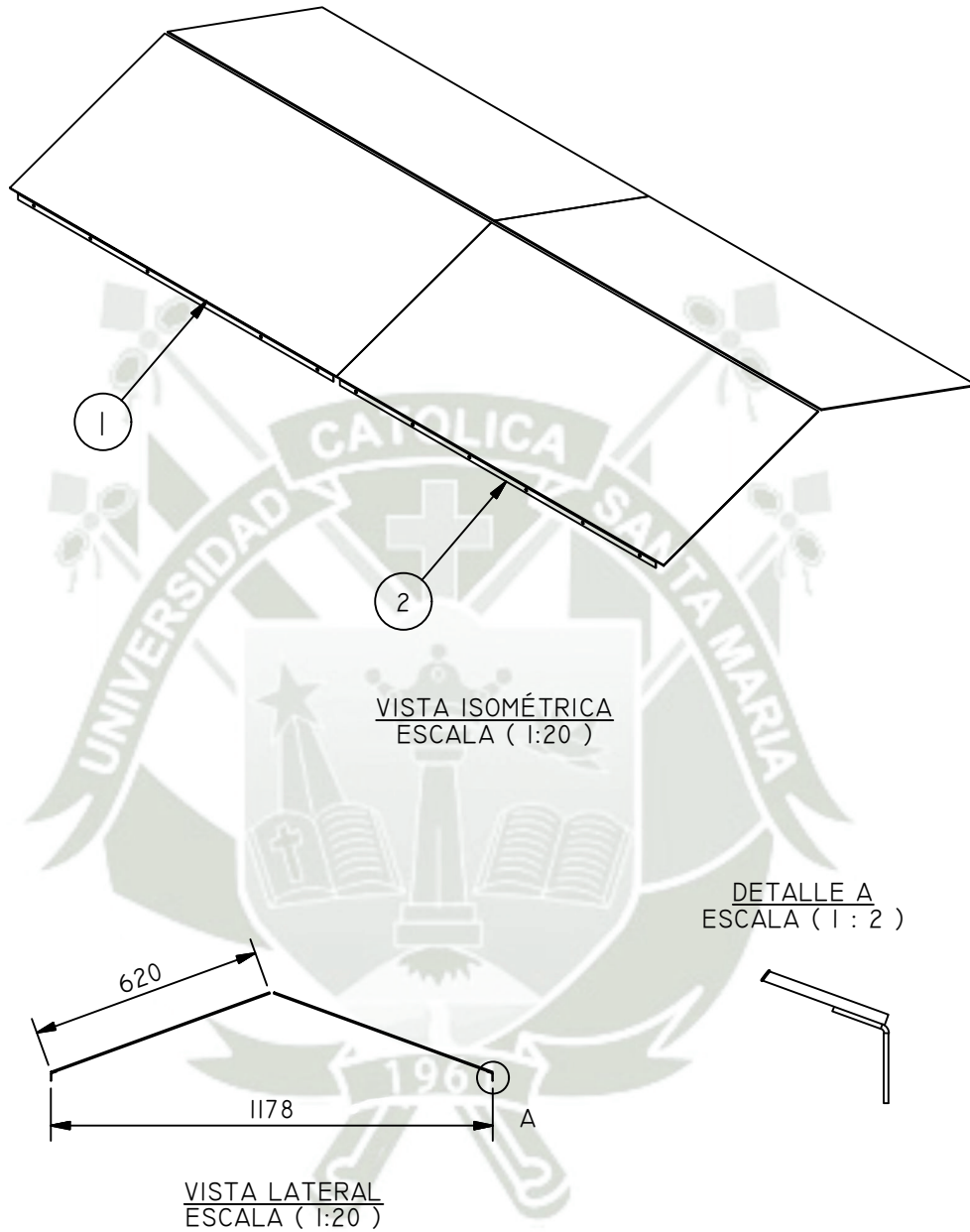


VISTA ISOMÉTRICA  
ESCALA ( 1:20 )

ÍTEM	CANT.	NOMBRE	MATERIAL
7	1	ESTRUCTURA DE SOPORTE	ACERO AL CARBONO (LAF) 1.2MM ESP.
6	1	BASTIDOR DE EVAPORADOR (SUBCONJUNTO)	ACERO GALVANIZADO 1.2MM ESP. (1/20")
5	1	AISLAMIENTO TÉRMICO (SUBCONJUNTO)	LANA DE VIDRIO 50MM ESP.
4	1	BANDEJA DE EVAPORACIÓN	ACERO INOXIDABLE 304 1MM ESP.
3	1	BASTIDOR DE CONDENSADOR (SUBCONJUNTO)	ACERO GALVANIZADO 1.2MM ESP. (1/20")
2	4	CANALETA RECOLECTORA	ACERO INOXIDABLE 304 1MM ESP.
1	1	CUBIERTA SUPERIOR (SUBCONJUNTO)	VIDRIO 3MM ESP., ACERO INOXIDABLE 304 1MM ESP.



LISTA DE PARTES

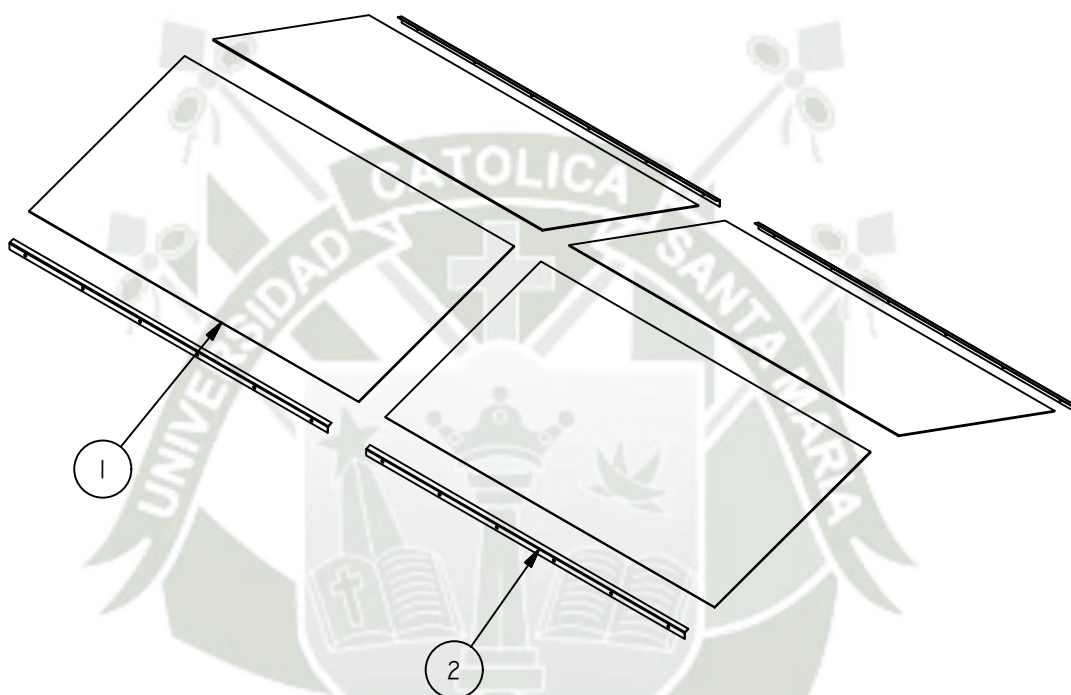
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA, MECÁNICA ELÉCTRICA Y MECATRÓNICA	DISEÑADO POR: H. CUTIPA	FECHA: AGO-2021	PLANO: ALAMBIQUE SOLAR DE DOBLE VERTIENTE (PLANO DE MONTAJE)			
	DIBUJADO POR: H. CUTIPA	FECHA: AGO-2021	PIEZA:	FORMATO: A3	UNIDAD: MM	Nº DE PLANO: 10
	REVISADO POR: L. HUACASI	FECHA: DIC-2022	LÁMINA: 2/17	ESCALA: 1:20	REVISIÓN: 01	
	APROBADO POR: L. HUACASI	FECHA: DIC-2022				



ÍTEM	CANT.	NOMBRE	MATERIAL
2	4	MARCO FRONTAL	ACERO INOXIDABLE 304 1MM ESP.
1	4	VIDRIO	VIDRIO 3MM ESP.

LISTA DE PARTES



	DISEÑADO POR: H. CUTIPA	FECHA: AGO-2021	PLANO: ALAMBIQUE SOLAR DE DOBLE VERTIENTE CUBIERTA SUPERIOR (SUBCONJUNTO) (PLANO DE CONJUNTO)			
	DIBUJADO POR: H. CUTIPA	FECHA: AGO-2021	PIEZA: 1 (SUBCONJ.)	FORMATO: A4	UNIDAD: MM	N° DE PLANO: II
	USADO POR: L. HUACASI	FECHA: DIC-2022	LÁMINA: 3/17	ESCALA: 1:20	REVISIÓN: 01	
APROBADO POR: L. HUACASI	FECHA: DIC-2022					



VISTA ISOMÉTRICA  
ESCALA ( 1 : 20 )

ÍTEM	CANT.	NOMBRE	MATERIAL
2	4	MARCO FRONTAL	ACERO INOXIDABLE 304 1MM ESP.
1	4	VIDRIO	VIDRIO 3MM ESP.

LISTA DE PARTES

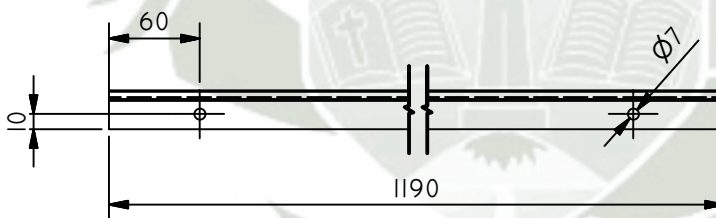
	DISEÑADO POR: H. CUTIPA	FECHA: AGO-2021	PLANO: ALAMBIQUE SOLAR DE DOBLE VERTIENTE CUBIERTA SUPERIOR (SUBCONJUNTO) (PLANO DE MONTAJE)			
	DIBUJADO POR: H. CUTIPA	FECHA: AGO-2021	PIEZA: 1 (SUBCONJ.)	FORMATO: A4	UNIDAD: MM	N° DE PLANO: 12
	USADO POR: L. HUACASI	FECHA: DIC-2022	LÁMINA: 4/17	ESCALA: 1 : 20	REVISIÓN: 01	
	APROBADO POR: L. HUACASI	FECHA: DIC-2022				

PIEZA 1: VIDRIO

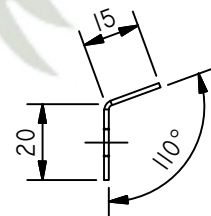


VISTA SUPERIOR  
ESCALA ( 1:20 )

PIEZA 2: MARCO FRONTAL



VISTA FRONTAL  
ESCALA ( 1:5 )





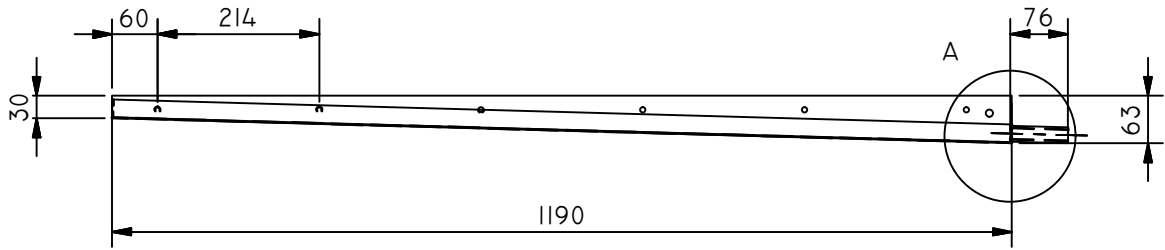
VISTA LATERAL  
ESCALA ( 1:2 )

NOTA: 6 AGUJEROS POR PIEZA

ÍTEM	CANT.	NOMBRE	MATERIAL
2	4	MARCO FRONTAL	ACERO INOXIDABLE 304 1MM ESP.
1	4	VIDRIO	VIDRIO 3MM ESP.

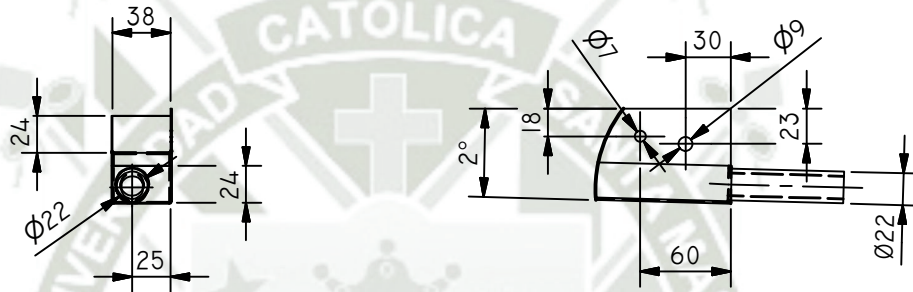
LISTA DE PARTES

	DISEÑADO POR: H. CUTIPA	FECHA: AGO-2021	PLANO: ALAMBIQUE SOLAR DE DOBLE VERTIENTE CUBIERTA SUPERIOR (SUBCONJUNTO) (PLANO DE DESPIECE)			
	DIBUJADO POR: H. CUTIPA	FECHA: AGO-2021	PIEZA: 1 Y 2	FORMATO: A4	UNIDAD: MM	N° DE PLANO: 13
	USADO POR: L. HUACASI	FECHA: DIC-2022	LÁMINA: 5/17	ESCALA: 1:20	REVISIÓN: 01	
	APROBADO POR: L. HUACASI	FECHA: DIC-2022				



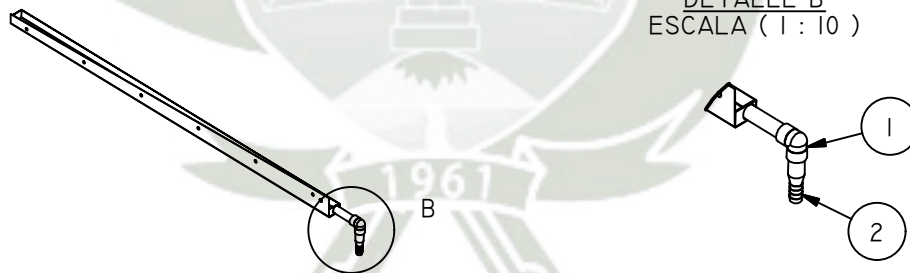
VISTA FRONTAL  
ESCALA ( 1:10 )

DETALLE A  
ESCALA ( 1 : 5 )



VISTA LATERAL  
ESCALA ( 1:5 )

DETALLE B  
ESCALA ( 1 : 10 )



VISTA ISOMÉTRICA  
ESCALA ( 1:20 )

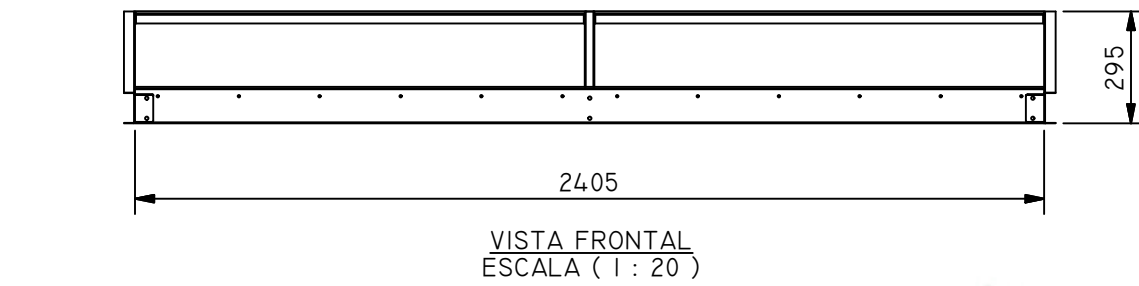
NOTA:

- UNIÓN EMPERNADA: PERNO HEX. ZINCADO Ø1/4"x1/2"
- UNIONES SOLDADAS: PROCESO GTAW
- SALIDA: NIPLE INOX Ø1/2"x3"

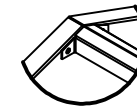
ÍTEM	CANT.	NOMBRE	MATERIAL
2	1	NIPLE TIPO BOTELLA DE Ø1/2"	ACERO GALVANIZADO
1	1	CODO DE Ø1/2"	POLIPROPILENO

LISTA DE ACCESORIOS - PIEZA 2

	DISEÑADO POR: H. CUTIPA	FECHA: AGO-2021	PLANO: ALAMBIQUE SOLAR DE DOBLE VERTIENTE CANALETA RECOLECTORA (PLANO DE DESPIECE)			
	DIBUJADO POR: H. CUTIPA	FECHA: AGO-2021				
	USADO POR: L. HUACASI	FECHA: DIC-2022	PIEZA: 2	FORMATO: A4	UNIDAD: MM	N° DE PLANO: 14
	APROBADO POR: L. HUACASI	FECHA: DIC-2022	LÁMINA: 6/17	ESCALA: 1:10	REVISIÓN: 01	



DETALLE A  
ESCALA ( 1 : 10 )



DETALLE B  
ESCALA ( 1 : 10 )



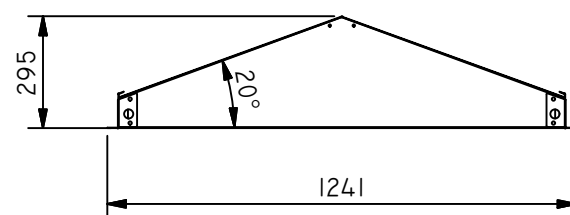
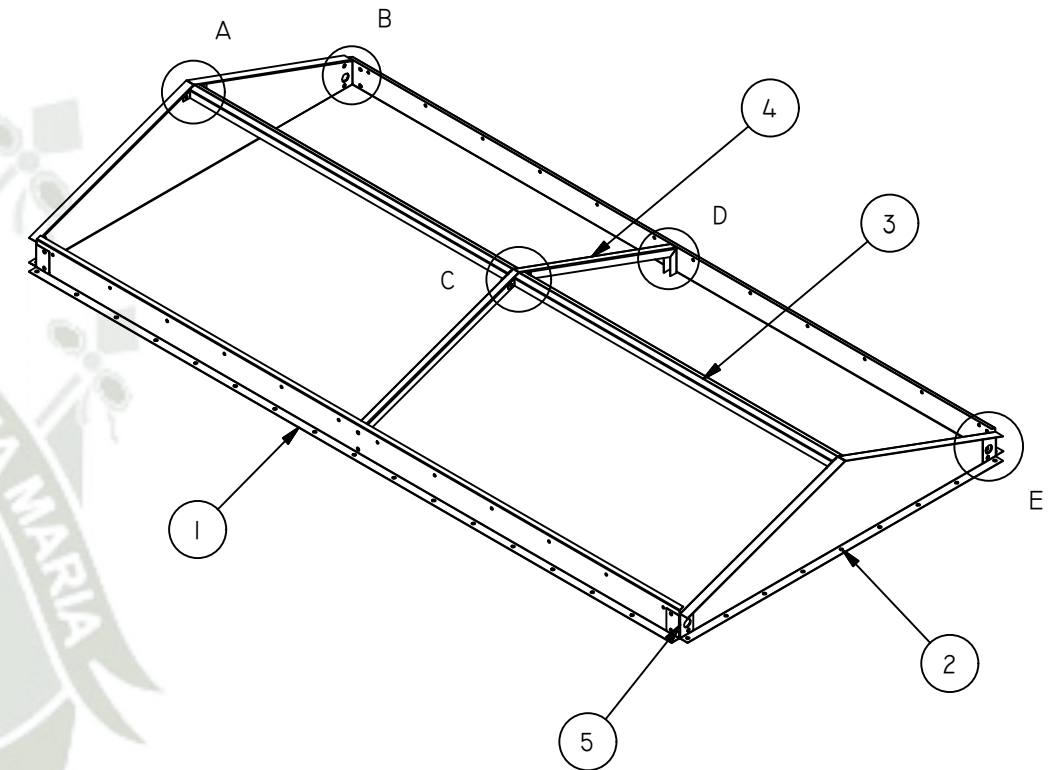
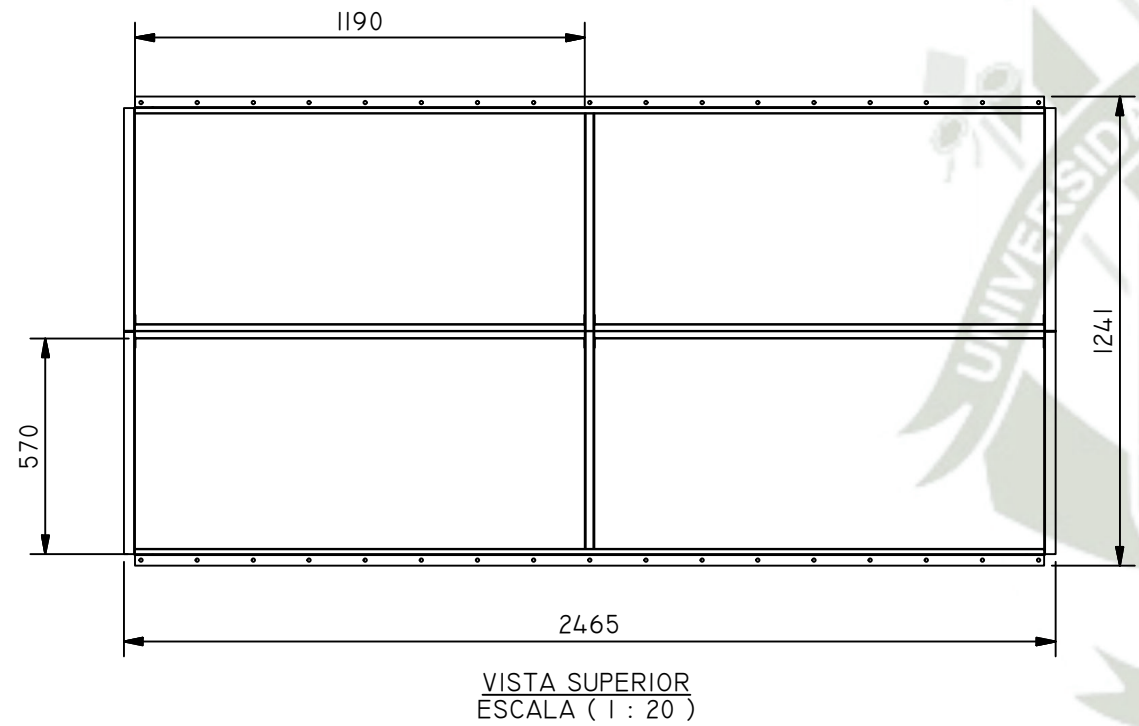
DETALLE C  
ESCALA ( 1 : 10 )



DETALLE D  
ESCALA ( 1 : 10 )



DETALLE E  
ESCALA ( 1 : 10 )

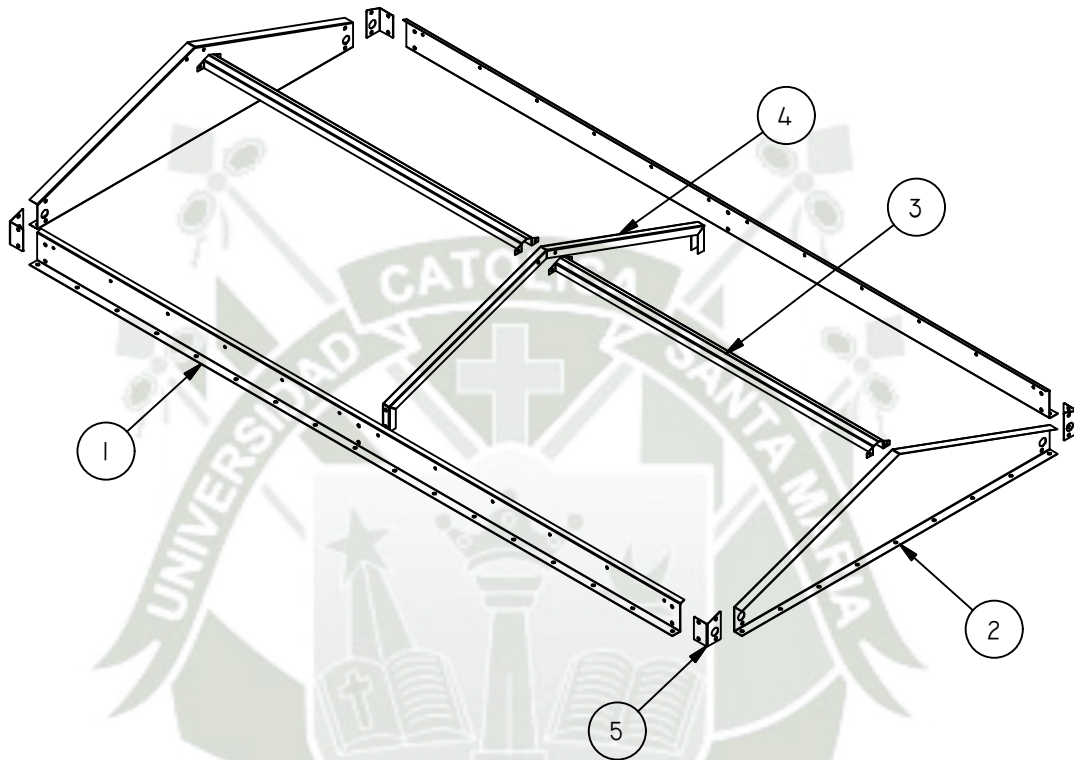


NOTA:  
- UNIONES EMPERNADAS:  
PERNO HEX. ZINCADO Ø5/16"x5/8" Y PERNO HEX. ZINCADO Ø1/14"x1/2"

ÍTEM	CANT.	NOMBRE	MATERIAL
5	4	ÁNGULO UNIÓN	ACERO GALVANIZADO 1.2MM ESP. (1/20")
4	1	MARCO CENTRAL	ACERO GALVANIZADO 1.2MM ESP. (1/20")
3	2	MARCO SUPERIOR	ACERO GALVANIZADO 1.2MM ESP. (1/20")
2	2	CUBIERTA LATERAL	ACERO GALVANIZADO 1.2MM ESP. (1/20")
1	2	CUBIERTA FRONTAL	ACERO GALVANIZADO 1.2MM ESP. (1/20")

LISTA DE PARTES



	DISEÑADO POR: H. CUTIPA	FECHA: AGO-2021	PLANO: ALAMBIQUE SOLAR DE DOBLE VERTIENTE BASTIDOR DE CONDENSADOR (SUBCONJUNTO) (PLANO DE CONJUNTO)			
	DIBUJADO POR: H. CUTIPA	FECHA: AGO-2021	PIEZA: 3 (SUBCONJ.)	FORMATO: A3	UNIDAD: MM	Nº DE PLANO: 15
	REVISADO POR: L. HUACASI	FECHA: DIC-2022	LÁMINA: 7/17	ESCALA: 1 : 20	REVISIÓN: 01	
	APROBADO POR: L. HUACASI	FECHA: DIC-2022				



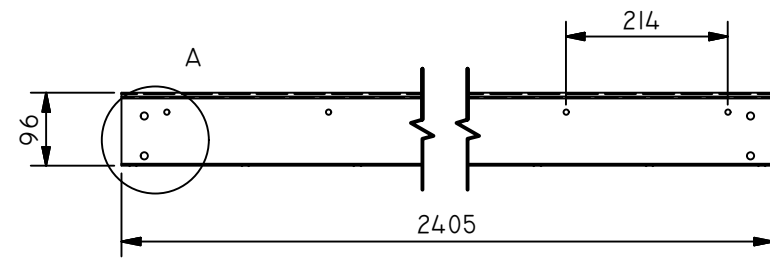
VISTA ISOMÉTRICA  
ESCALA ( 1:20 )

ÍTEM	CANT.	NOMBRE	MATERIAL
5	4	ÁNGULO UNIÓN	ACERO GALVANIZADO 1.2MM ESP. (1/20")
4	1	MARCO CENTRAL	ACERO GALVANIZADO 1.2MM ESP. (1/20")
3	2	MARCO SUPERIOR	ACERO GALVANIZADO 1.2MM ESP. (1/20")
2	2	CUBIERTA LATERAL	ACERO GALVANIZADO 1.2MM ESP. (1/20")
1	2	CUBIERTA FRONTAL	ACERO GALVANIZADO 1.2MM ESP. (1/20")

LISTA DE PARTES

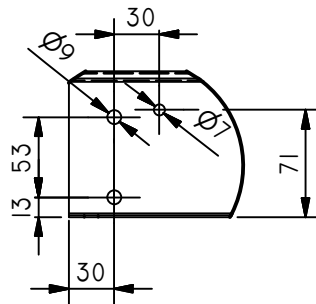
	DISEÑADO POR: H. CUTIPA	FECHA: AGO-2021	PLANO: ALAMBIQUE SOLAR DE DOBLE VERTIENTE BASTIDOR DE CONDENSADOR (SUBCONJUNTO) (PLANO DE MONTAJE)			
	DIBUJADO POR: H. CUTIPA	FECHA: AGO-2021	PIEZA: 3 (SUBCONJ.)	FORMATO: A4	UNIDAD: MM	Nº DE PLANO: 16
	USADO POR: L. HUACASI	FECHA: DIC-2022	LÁMINA: 8/17	ESCALA: 1:20	REVISIÓN: 01	
	APROBADO POR: L. HUACASI	FECHA: DIC-2022				

PIEZA 1: CUBIERTA FRONTAL

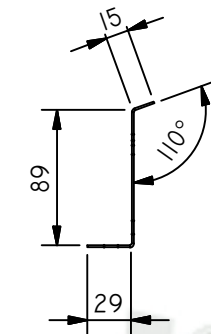


VISTA FRONTAL  
ESCALA ( 1 : 10 )

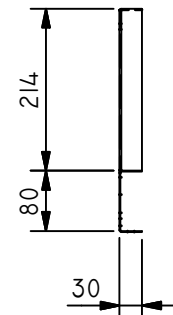
DETALLE A  
ESCALA ( 1 : 5 )



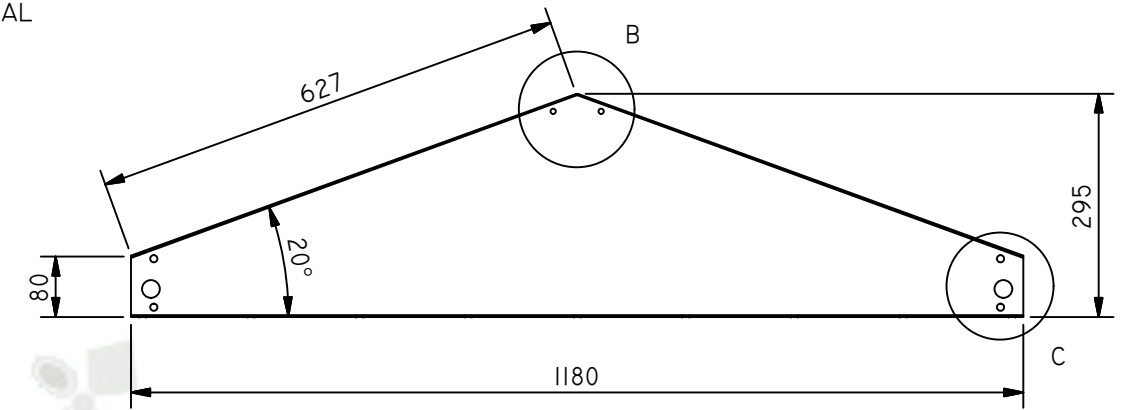
PIEZA 2: CUBIERTA LATERAL



VISTA LATERAL  
ESCALA ( 1 : 5 )

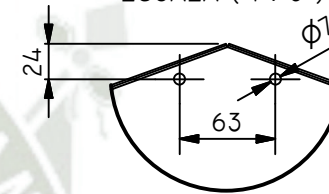


VISTA FRONTAL  
ESCALA ( 1 : 10 )

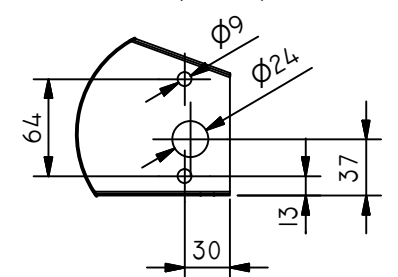


VISTA LATERAL  
ESCALA ( 1 : 10 )

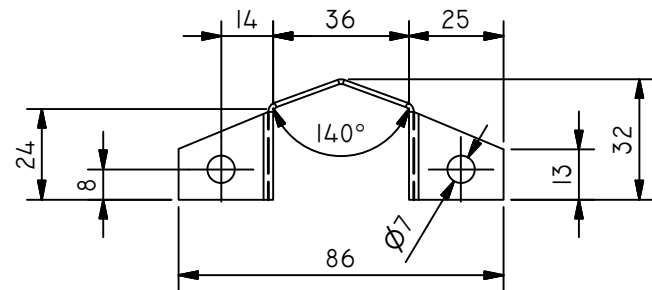
DETALLE B  
ESCALA ( 1 : 5 )



DETALLE C  
ESCALA ( 1 : 5 )

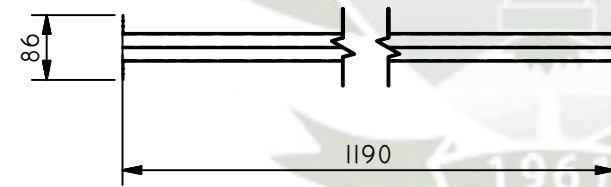


PIEZA 3: MARCO SUPERIOR

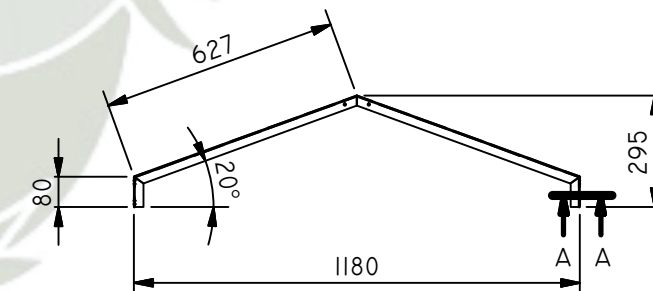


VISTA LATERAL  
ESCALA ( 1 : 2 )

PIEZA 4: MARCO CENTRAL

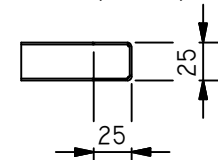


VISTA SUPERIOR  
ESCALA ( 1 : 10 )

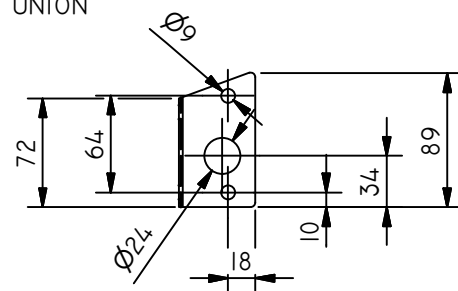


VISTA LATERAL  
ESCALA ( 1 : 20 )

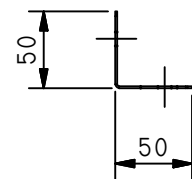
CORTE A-A  
ESCALA ( 1 : 5 )



PIEZA 5: ÁNGULO UNIÓN



VISTA LATERAL  
ESCALA ( 1 : 5 )



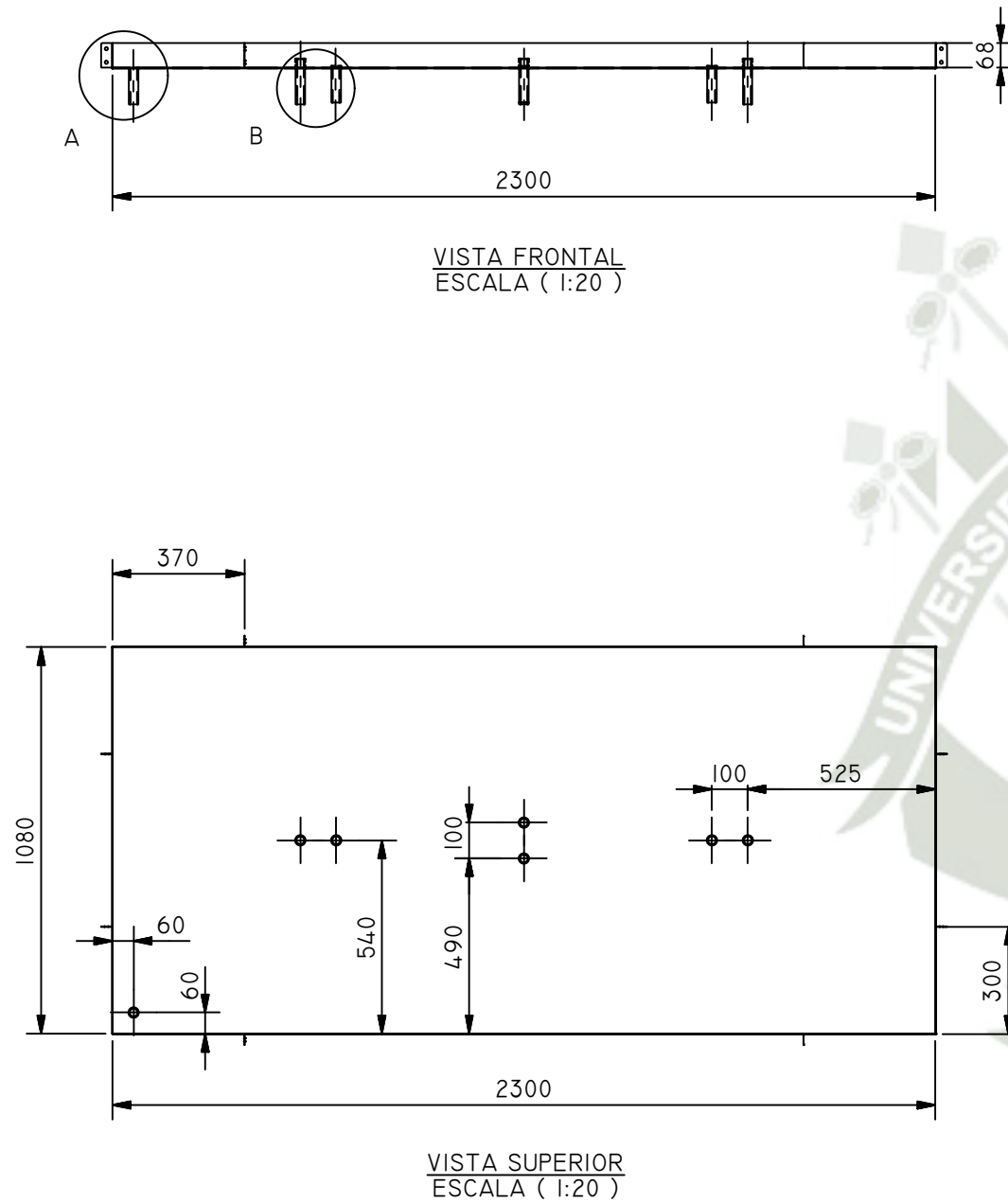
VISTA SUPERIOR  
ESCALA ( 1 : 5 )

ÍTEM	CANT.	NOMBRE	MATERIAL
5	4	ÁNGULO UNIÓN	ACERO GALVANIZADO 1.2MM ESP. (1/20")
4	1	MARCO CENTRAL	ACERO GALVANIZADO 1.2MM ESP. (1/20")
3	2	MARCO SUPERIOR	ACERO GALVANIZADO 1.2MM ESP. (1/20")
2	2	CUBIERTA LATERAL	ACERO GALVANIZADO 1.2MM ESP. (1/20")
1	2	CUBIERTA FRONTAL	ACERO GALVANIZADO 1.2MM ESP. (1/20").

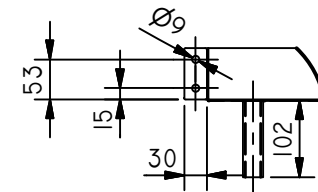
LISTA DE PARTES

DISEÑO POR:		FECHA:	PLANO:			
H. CUTIPA		AGO-2021	ALAMBIQUE SOLAR DE DOBLE VERTIENTE BASTIDOR DE CONDENSADOR (SUBCONJUNTO) (PLANO DE DESPIECE)			
DIBUJADO POR:		FECHA:	PIEZA:	FORMATO:	UNIDAD:	Nº DE PLANO:
H. CUTIPA		AGO-2021	1,2,3,4y5	A3	MM	17
REVISADO POR:		FECHA:	LÁMINA:	ESCALA:	REVISIÓN:	
L. HUACASI		DIC-2022	9/17	1:5	01	
APROBADO POR:		FECHA:				
L. HUACASI		DIC-2022				

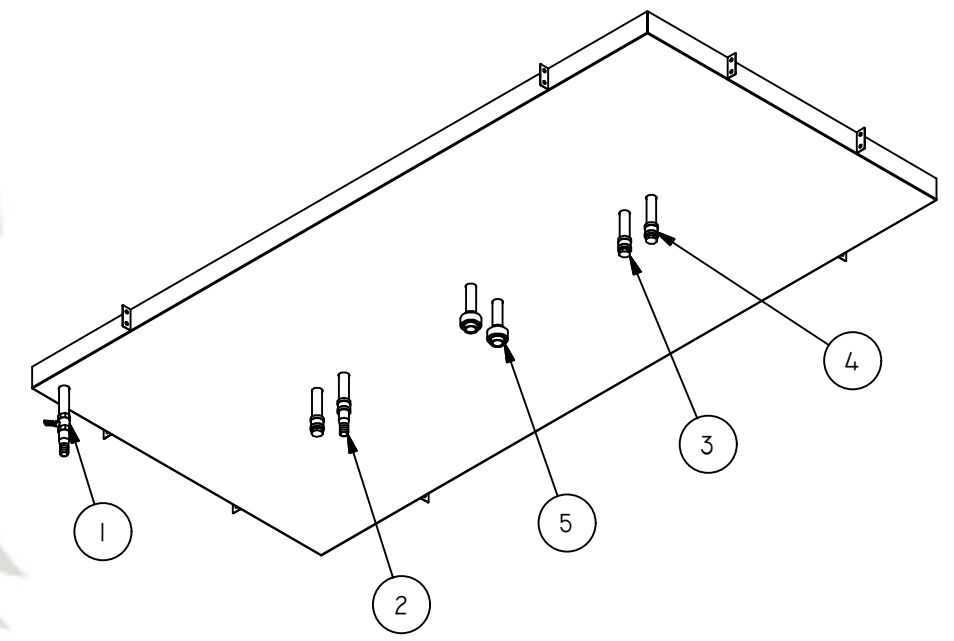
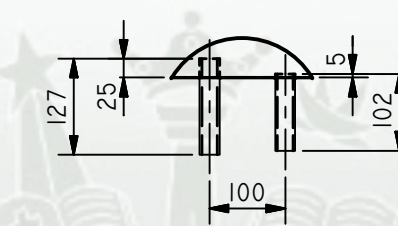
NOTA:  
- UNIONES EMPERNADAS: PERNOS HEX. ZINCADO Ø5/16"x5/8" Y Ø1/4"x1/2"



DEALLE A  
ESCALA 1 : 10 )



DETALLE B  
ESCALA ( 1 : 10 )



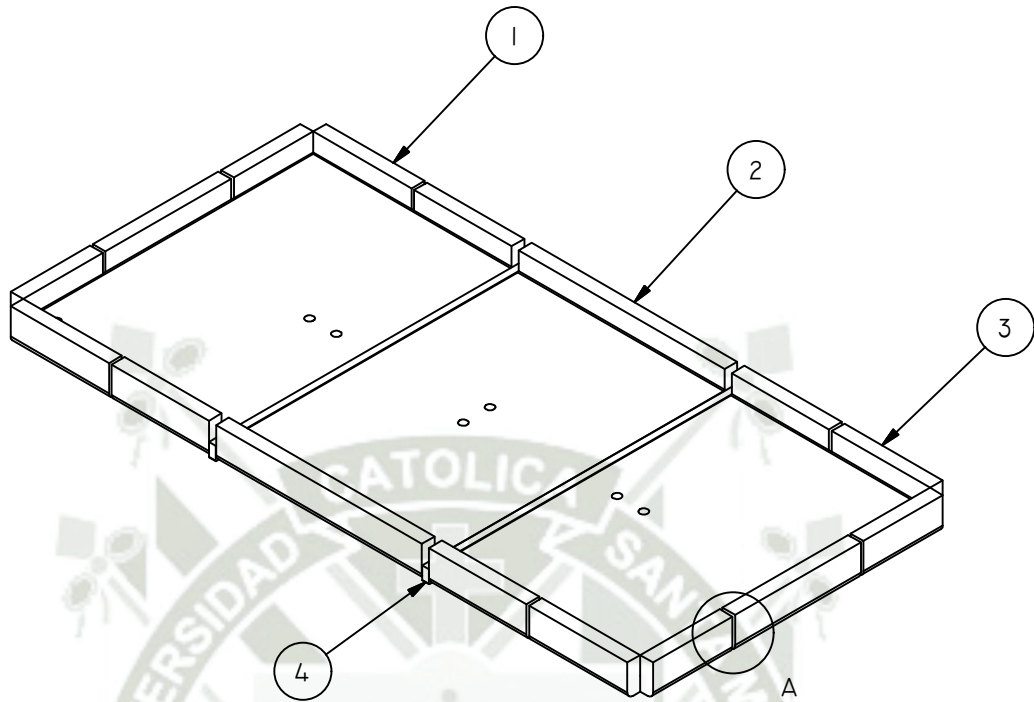
VISTA ISOMÉTRICA (INF.)  
ESCALA ( 1 : 20 )

NOTA:  
- TODOS LOS NIPLES SON DE ACERO INOXIDABLE DE Ø3/4"  
- UNIONES SOLDADAS: PROCESO GTAW

5	2	UNIÓN UNIVERSAL Ø3/4"	POLIPROPILENO
4	4	UNIÓN Ø3/4"	POLIPROPILENO
3	3	TAPÓN MACHO Ø3/4"	POLIPROPILENO
2	2	NIPLE TIPO BOTELLA DE Ø3/4"	ACERO GALVANIZADO
1	1	LLAVE DE PASO Ø3/4"	POLIPROPILENO
ÍTEM	CANT.	NOMBRE	MATERIAL

LISTA DE ACCESORIOS - PIEZA 4

	DISEÑADO POR: H. CUTIPA	FECHA: AGO-2021	PLANO: ALAMBIQUE SOLAR DE DOBLE VERTIENTE BANDEJA DE EVAPORACIÓN (PLANO DE PESPIECE)			
	DIBUJADO POR: H. CUTIPA	FECHA: AGO-2021	PIEZA: 4	FORMATO: A3	UNIDAD: MM	Nº DE PLANO: 18
	REVISADO POR: L. HUACASI	FECHA: DIC-2022	LÁMINA: 10/17	ESCALA: 1:20	REVISIÓN: 01	
	APROBADO POR: L. HUACASI	FECHA: DIC-2022				



VISTA ISOMÉTRICA  
ESCALA ( 1 : 20 )



DETALLE A  
ESCALA ( 1 : 20 )

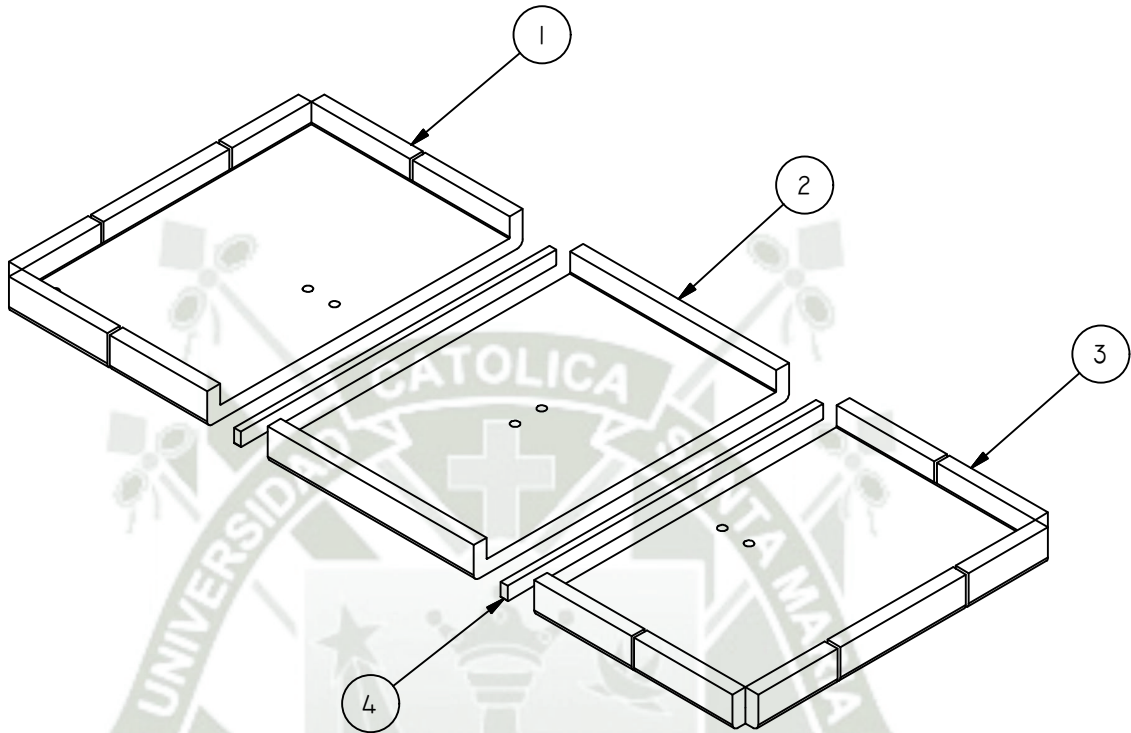


ESPACIO PARA SUJECIONES

ÍTEM	CANT.	NOMBRE	MATERIAL
4	2	SOPORTE DE APOYO	MADERA SECCIÓN: 25MMX50MM
3	1	MANTO DERECHO	LANA DE VIDRIO 50MM ESP.
2	1	MANTO CENTRAL	LANA DE VIDRIO 50MM ESP.
1	1	MANTO IZQUIERDO	LANA DE VIDRIO 50MM ESP.

LISTA DE PARTES



	DISEÑADO POR: H. CUTIPA	FECHA: AGO-2021	PLANO: ALAMBIQUE SOLAR DE DOBLE VERTIENTE AISLAMIENTO TÉRMICO (SUBCONJUNTO) (PLANO DE CONJUNTO)			
	DIBUJADO POR: H. CUTIPA	FECHA: AGO-2021	PIEZA: 5 (SUBCONJ.)	FORMATO: A4	UNIDAD: MM	N° DE PLANO: 19
	USADO POR: L. HUACASI	FECHA: DIC-2022	LÁMINA: 11/17	ESCALA: 1 : 20	REVISIÓN: 01	
	APROBADO POR: L. HUACASI	FECHA: DIC-2022				



VISTA ISOMÉTRICA  
ESCALA ( 1 : 20 )

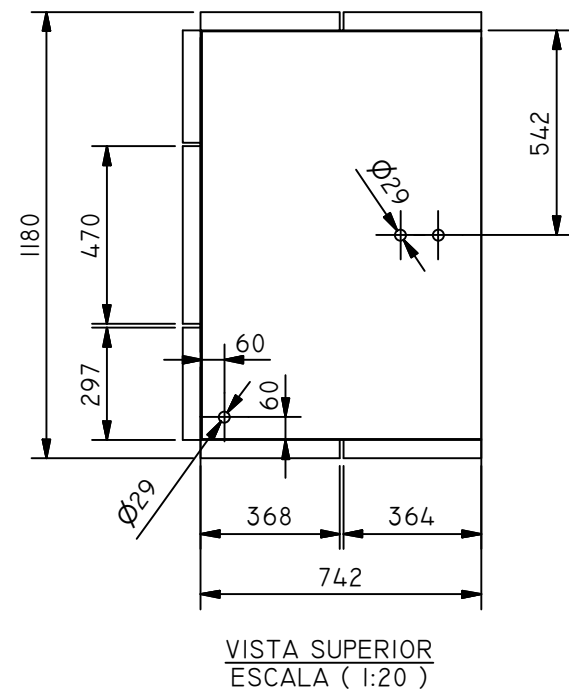
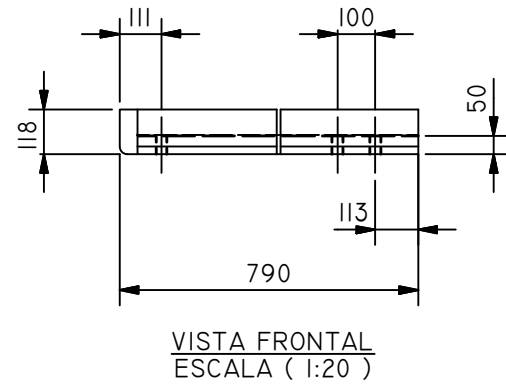
ÍTEM	CANT.	NOMBRE	MATERIAL
4	2	SOPORTE DE APOYO	MADERA SECCIÓN: 25MMX50MM
3	1	MANTO DERECHO	LANA DE VIDRIO 50MM ESP.
2	1	MANTO CENTRAL	LANA DE VIDRIO 50MM ESP.
1	1	MANTO IZQUIERDO	LANA DE VIDRIO 50MM ESP.

LISTA DE PARTES

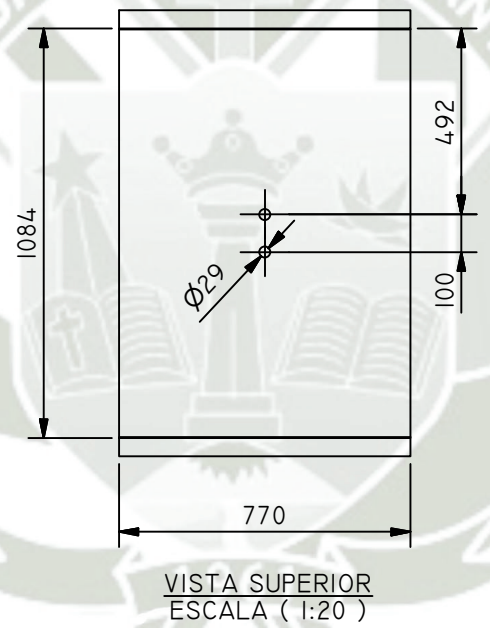
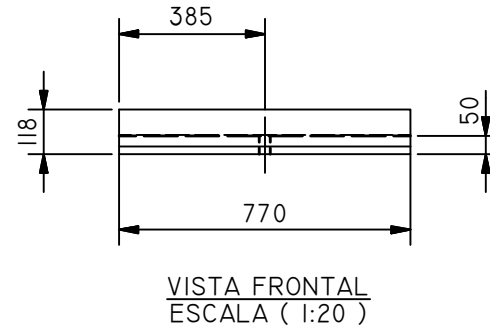
	DISEÑADO POR: H. CUTIPA	FECHA: AGO-2021	PLANO: ALAMBIQUE SOLAR DE DOBLE VERTIENTE AISLAMIENTO TÉRMICO (SUBCONJUNTO) (PLANO DE MONTAJE)			
	DIBUJADO POR: H. CUTIPA	FECHA: AGO-2021	PIEZA: 5 (SUBCONJ.)	FORMATO: A4	UNIDAD: MM	N° DE PLANO: 20
	USADO POR: L. HUACASI	FECHA: DIC-2022	LÁMINA: 12/17	ESCALA: 1 : 20	REVISIÓN: 01	
	APROBADO POR: L. HUACASI	FECHA: DIC-2022				

ALAMBIQUE SOLAR DE DOBLE VERTIENTE  
AISLAMIENTO TÉRMICO (SUBCONJUNTO)  
(PLANO DE DESPIECE)

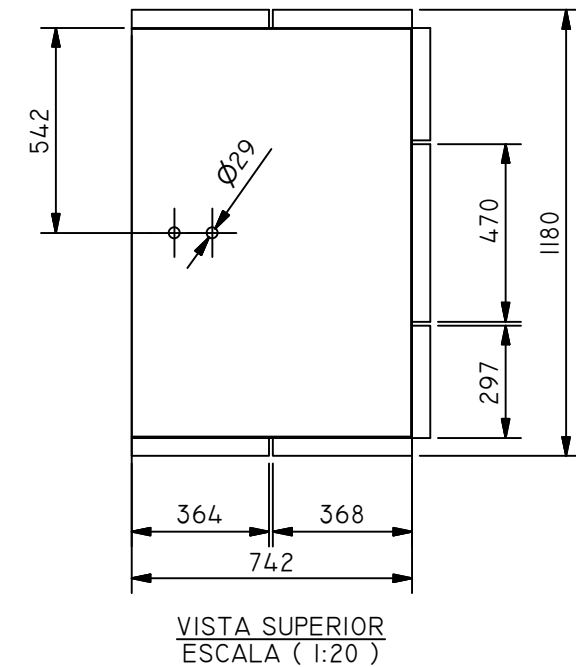
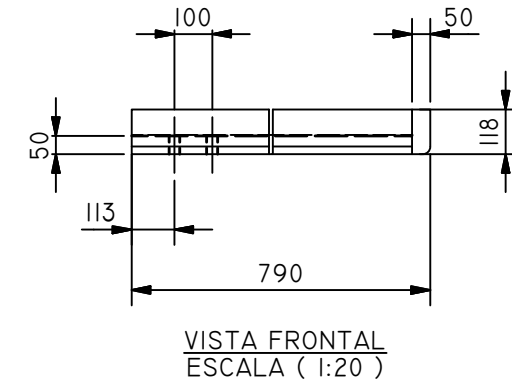
PIEZA 1: MANTO IZQUIERDO



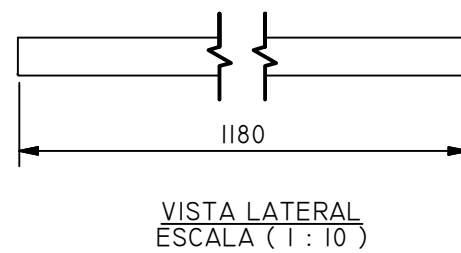
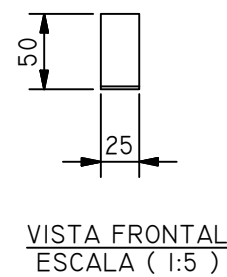
PIEZA 2: MANTO CENTRAL



PIEZA 3: MANTO DERECHO



PIEZA 4: SOPORTE DE APOYO

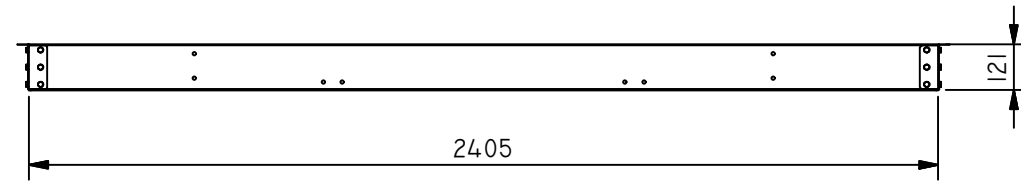


ÍTEM	CANT.	NOMBRE	MATERIAL
4	2	SOPORTE DE APOYO	MADERA SECCIÓN: 25MMX50MM
3	1	MANTO DERECHO	LANA DE VIDRIO 50MM ESP.
2	1	MANTO CENTRAL	LANA DE VIDRIO 50MM ESP.
1	1	MANTO IZQUIERDO	LANA DE VIDRIO 50MM ESP.

LISTA DE PARTES

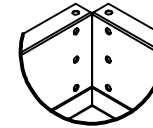
	DISEÑADO POR: H. CUTIPA	FECHA: AGO-2021	PLANO: ALAMBIQUE SOLAR DE DOBLE VERTIENTE AISLAMIENTO TÉRMICO (SUBCONJUNTO) (PLANO DE DESPIECE)			
	DIBUJADO POR: H. CUTIPA	FECHA: AGO-2021	PIEZA: 1, 2, 3 Y 4	FORMATO: A3	UNIDAD: MM	Nº DE PLANO: 21
	REVISADO POR: L. HUACASI	FECHA: DIC-2022	LÁMINA: 13/17	ESCALA: 1:20	REVISIÓN: 01	
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA, MECÁNICA ELÉCTRICA Y MECATRÓNICA	APROBADO POR: L. HUACASI	FECHA: DIC-2022				

ALAMBIQUE SOLAR DE DOBLE VERTIENTE  
BASTIDOR DE EVAPORADOR (SUBCONJUNTO)  
(PLANO DE CONJUNTO)



VISTA FRONTAL  
ESCALA ( 1 : 20 )

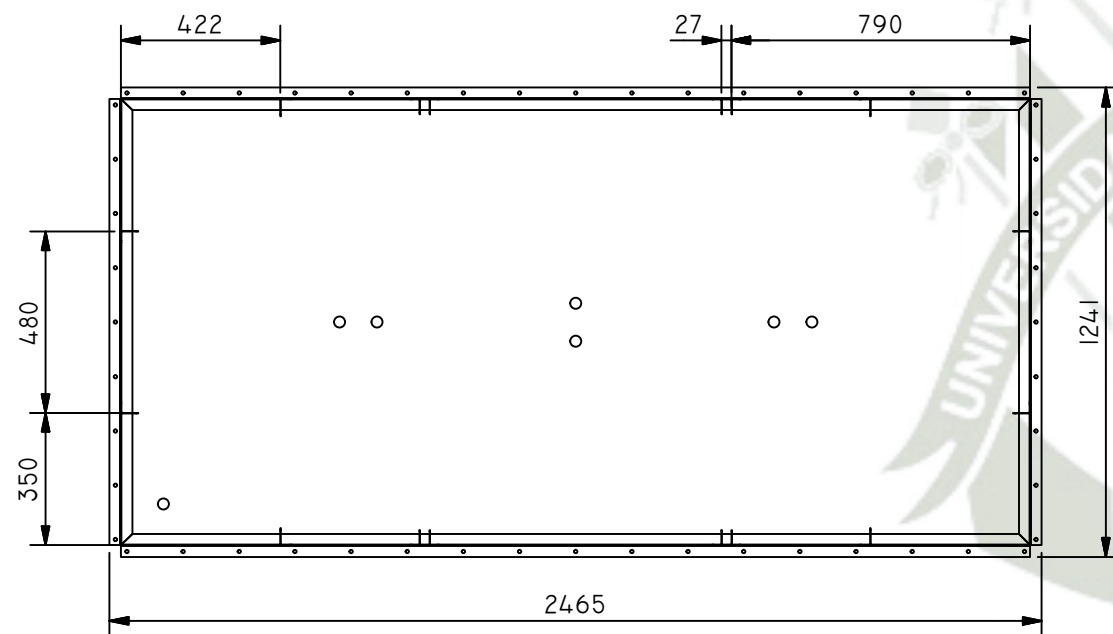
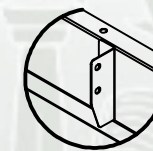
DETALLE A  
ESCALA ( 1 : 10 )



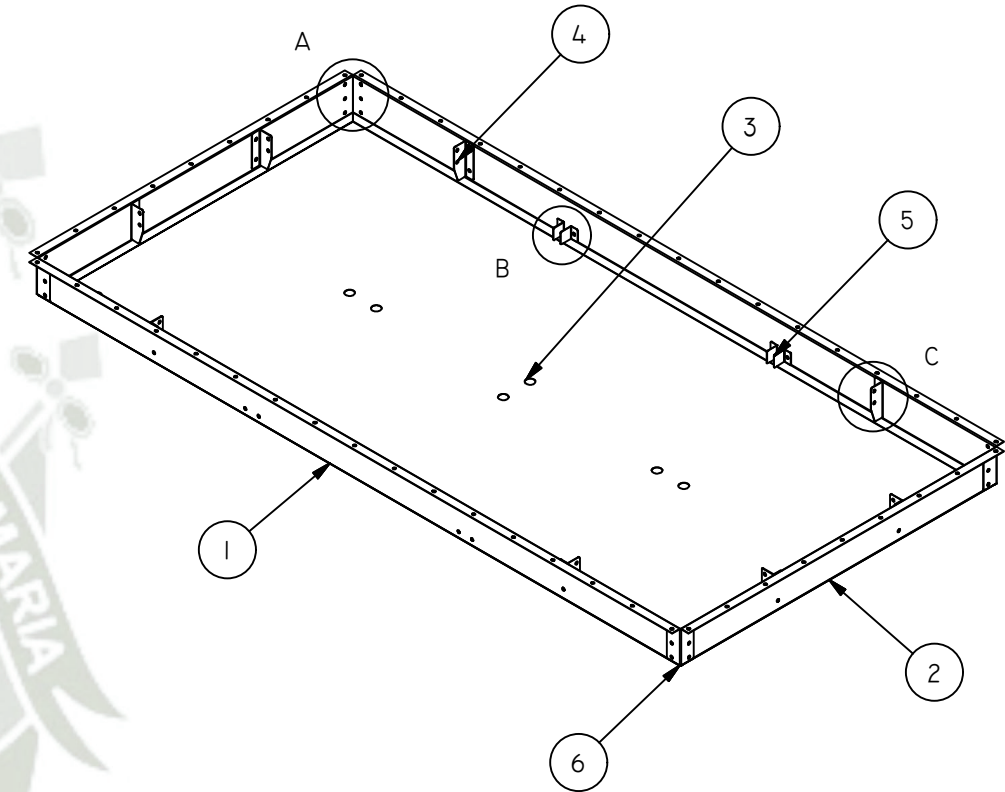
DETALLE B  
ESCALA ( 1 : 10 )



DETALLE C  
ESCALA ( 1 : 10 )



VISTA SUPERIOR  
ESCALA ( 1 : 20 )



VISTA ISOMÉTRICA  
ESCALA ( 1 : 20 )



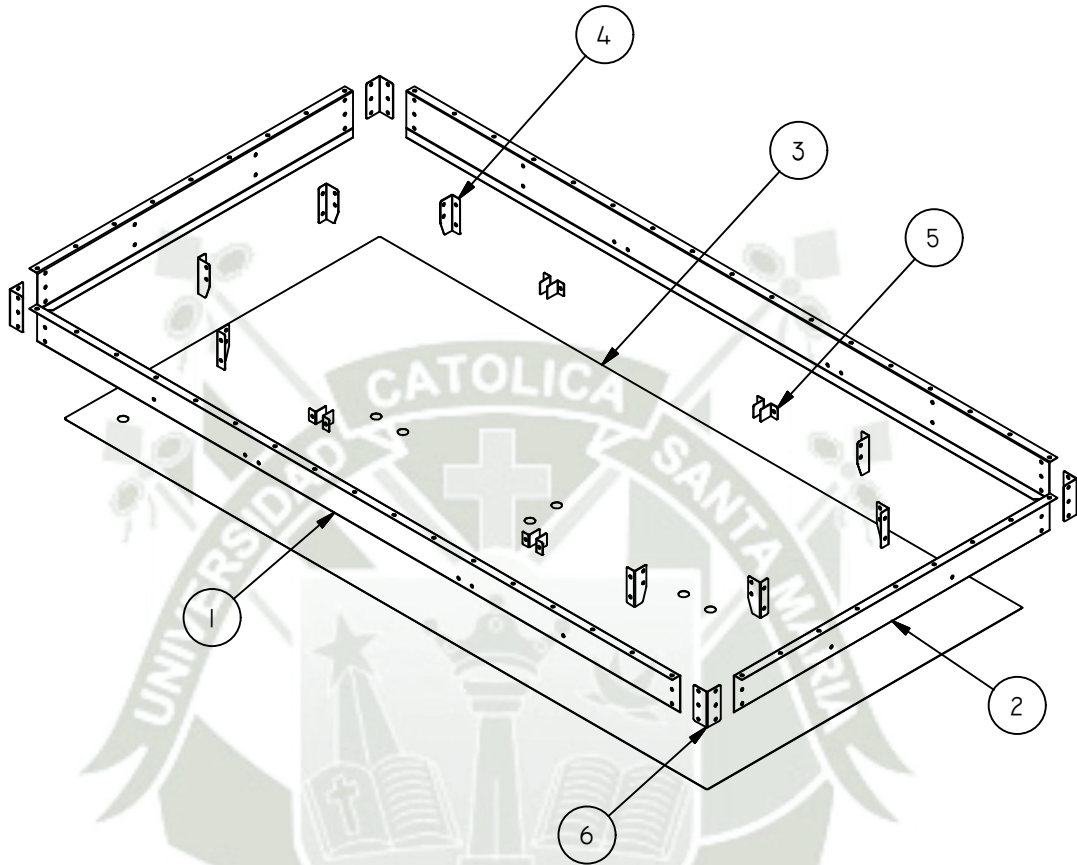
VISTA LATERAL  
ESCALA ( 1 : 20 )

NOTA:  
- UNIONES EMPERNADAS: PERNO HEX. ZINCADO Ø5/16"x5/8"  
- UNIONES REMACHADAS (CUBIERTA INFERIOR): REMACHES DE AL Ø1/8"x1/2"

ÍTEM	CANT.	NOMBRE	MATERIAL
6	4	ÁNGULO UNIÓN	ACERO GALVANIZADO 1.2MM ESP. (1/20")
5	8	SUJECIÓN SOPORTE DE APOYO	ACERO GALVANIZADO 1.2MM ESP. (1/20")
4	8	SUJECIÓN BANDEJA	ACERO GALVANIZADO 1.2MM ESP. (1/20")
3	1	CUBIERTA INFERIOR	ACERO GALVANIZADO 0.3MM ESP.
2	2	CUBIERTA LATERAL	ACERO GALVANIZADO 1.2MM ESP. (1/20")
1	2	CUBIERTA FRONTAL	ACERO GALVANIZADO 1.2MM ESP. (1/20")

LISTA DE PARTES



DISEÑO POR: H. CUTIPA		FECHA: AGO-2021	PLANO: ALAMBIQUE SOLAR DE DOBLE VERTIENTE BASTIDOR DE EVAPORADOR (SUBCONJUNTO) (PLANO DE CONJUNTO)			
DIBUJADO POR: H. CUTIPA		FECHA: AGO-2021	PIEZA: 6 (SUBCONJ.)	FORMATO: A3	UNIDAD: MM	Nº DE PLANO: 22
REVISADO POR: L. HUACASI		FECHA: DIC-2022	LÁMINA: 14/17	ESCALA: 1 : 20	REVISIÓN: 01	
APROBADO POR: L. HUACASI		FECHA: DIC-2022				



VISTA ISOMÉTRICA  
ESCALA ( 1 : 20 )

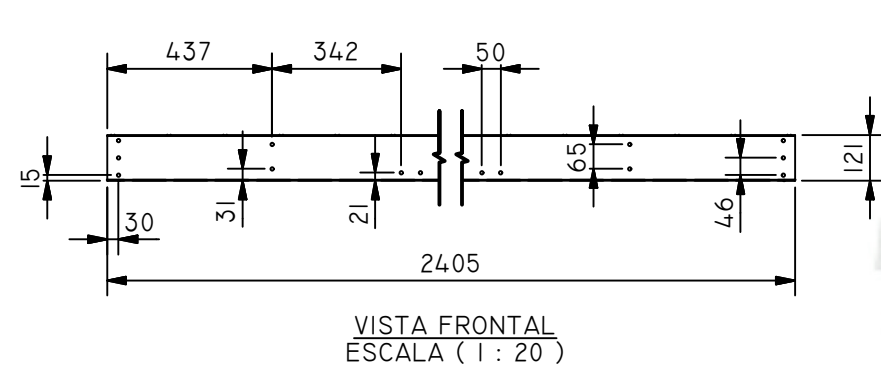
ÍTEM	CANT.	NOMBRE	MATERIAL
6	4	ÁNGULO UNIÓN	ACERO GALVANIZADO 1.2MM ESP. (1/20")
5	8	SUJECIÓN SOPORTE DE APOYO	ACERO GALVANIZADO 1.2MM ESP. (1/20")
4	8	SUJECIÓN BANDEJA	ACERO GALVANIZADO 1.2MM ESP. (1/20")
3	1	CUBIERTA INFERIOR	ACERO GALVANIZADO 0.3MM ESP.
2	2	CUBIERTA LATERAL	ACERO GALVANIZADO 1.2MM ESP. (1/20")
1	2	CUBIERTA FRONTAL	ACERO GALVANIZADO 1.2MM ESP. (1/20")

LISTA DE PARTES

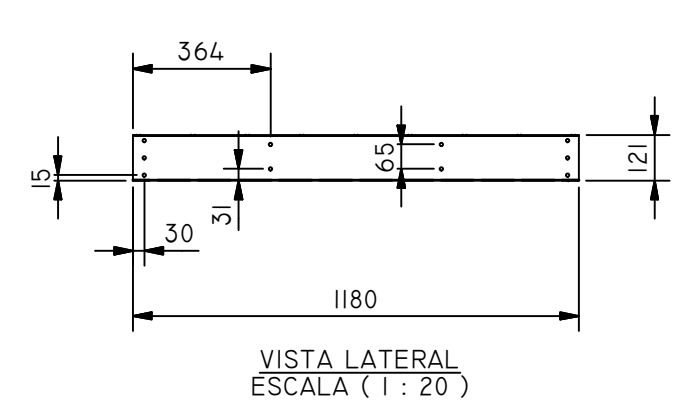
	DISEÑADO POR: H. CUTIPA	FECHA: AGO-2021	PLANO: ALAMBIQUE SOLAR DE DOBLE VERTIENTE BASTIDOR DE EVAPORADOR (SUBCONJUNTO) (PLANO DE MONTAJE)			
	DIBUJADO POR: H. CUTIPA	FECHA: AGO-2021	PIEZA: 6 (SUBCONJ.)	FORMATO: A4	UNIDAD: MM	N° DE PLANO: 23
	USADO POR: L. HUACASI	FECHA: DIC-2022	LÁMINA: 15/17	ESCALA: 1 : 20	REVISIÓN: 01	
	APROBADO POR: L. HUACASI	FECHA: DIC-2022				

ALAMBIQUE SOLAR DE DOBLE VERTIENTE  
BASTIDOR DE EVAPORADOR (SUBCONJUNTO)  
(PLANO DE DESPIECE)

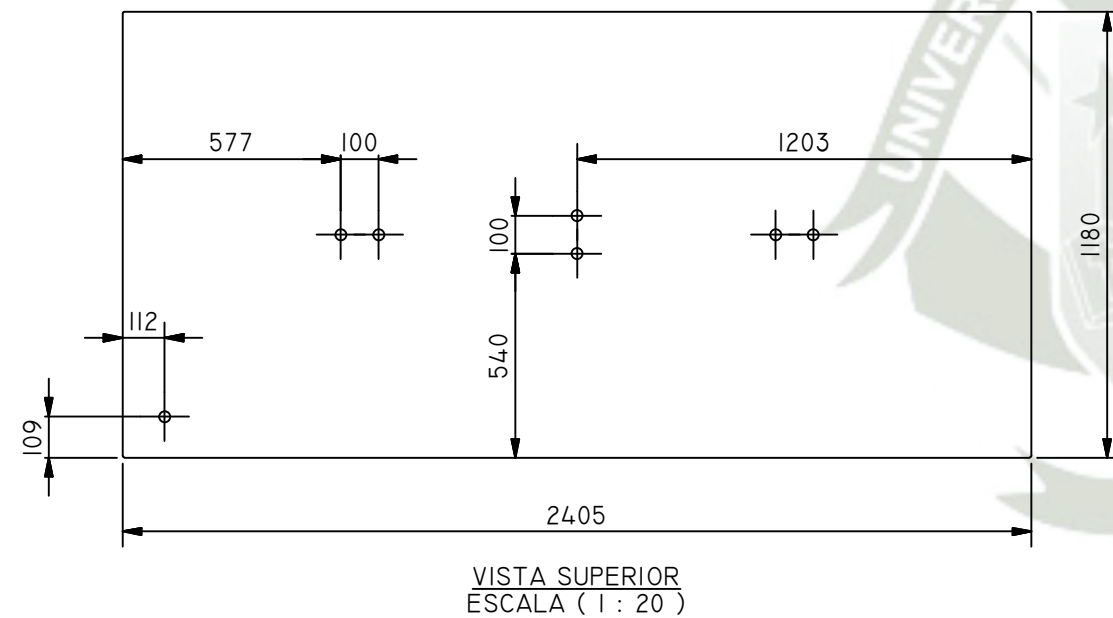
PIEZA 1: CUBIERTA FRONTAL



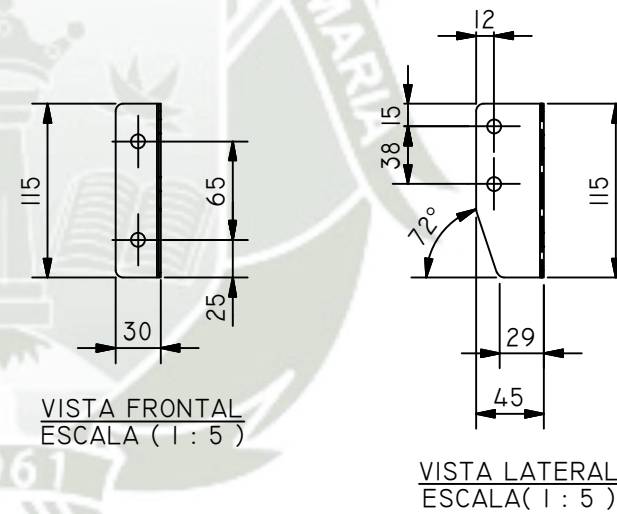
PIEZA 2: CUBIERTA LATERAL



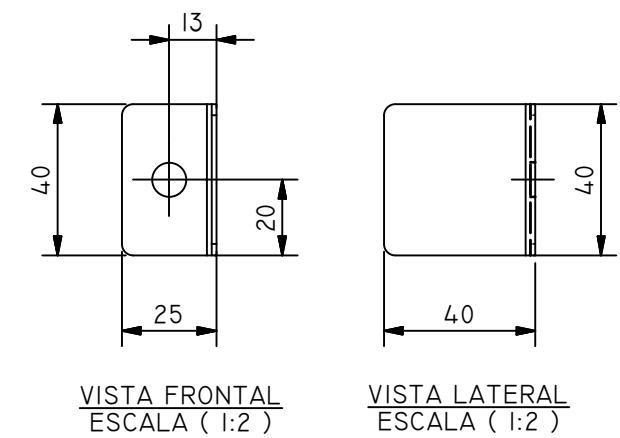
PIEZA 3: CUBIERTA INFERIOR



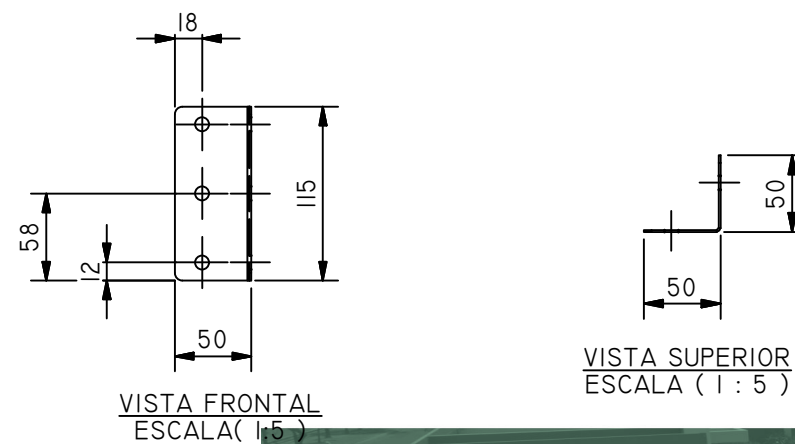
PIEZA 4: SUJECIÓN BANDEJA



PIEZA 5: SUJECIÓN SOPORTE DE APOYO



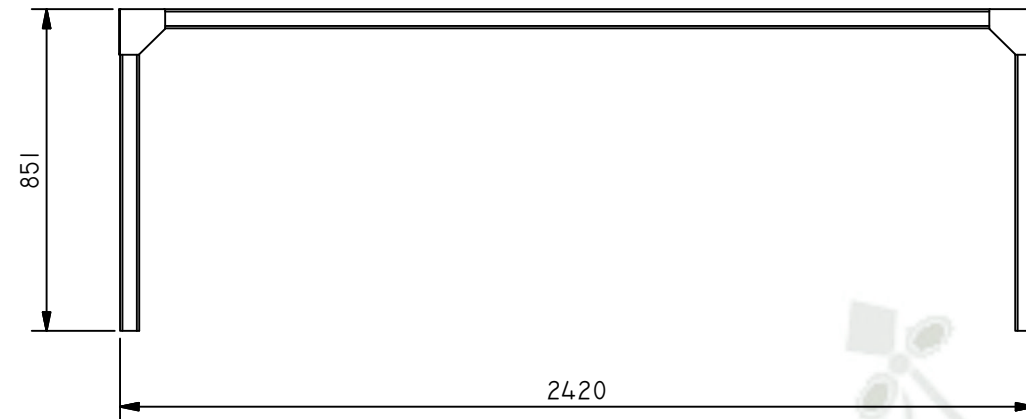
PIEZA 6: ÁNGULO UNIÓN



ÍTEM	CANT.	NOMBRE	MATERIAL
6	4	ÁNGULO UNIÓN	ACERO GALVANIZADO 1.2MM ESP. (1/20")
5	8	SUJECIÓN SOPORTE DE APOYO	ACERO GALVANIZADO 1.2MM ESP. (1/20")
4	8	SUJECIÓN BANDEJA	ACERO GALVANIZADO 1.2MM ESP. (1/20")
3	1	CUBIERTA INFERIOR	ACERO GALVANIZADO 0.3MM ESP.
2	2	CUBIERTA LATERAL	ACERO GALVANIZADO 1.2MM ESP. (1/20")
1	2	CUBIERTA FRONTAL	ACERO GALVANIZADO 1.2MM ESP. (1/20")

LISTA DE PARTES

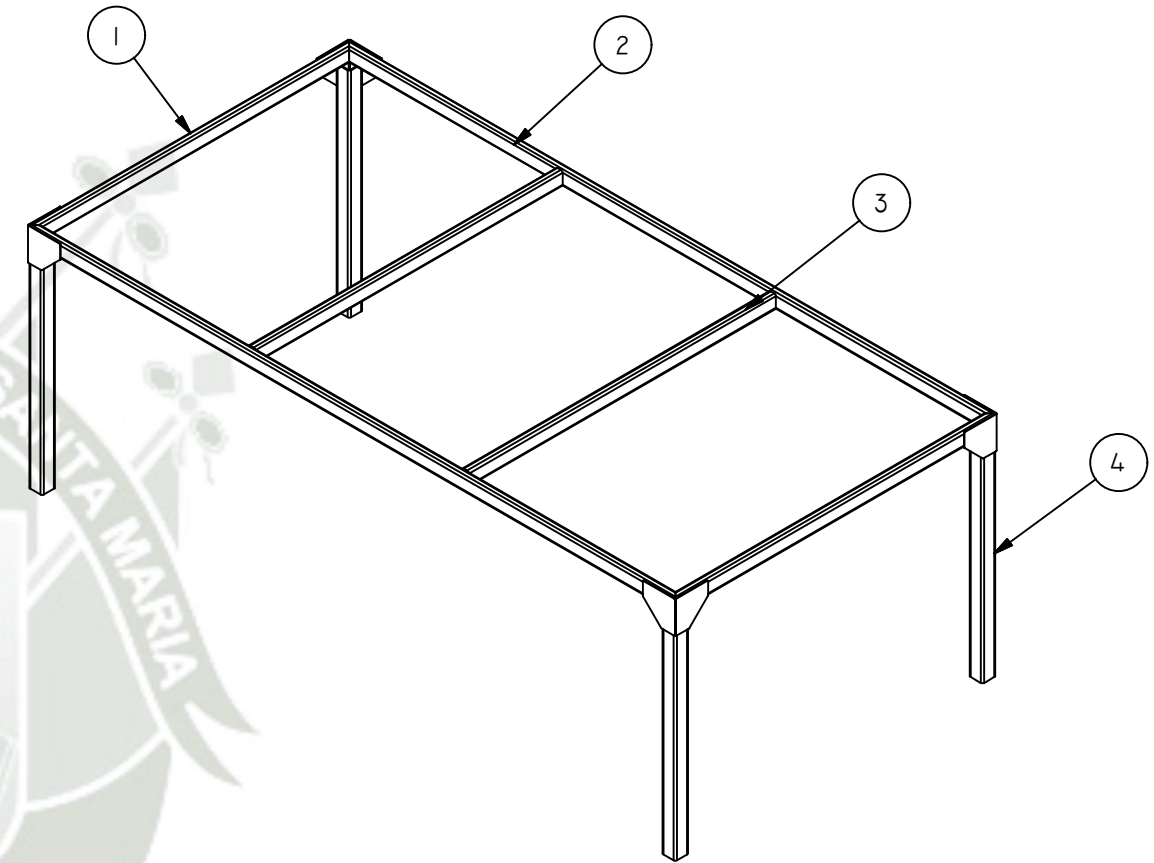
	DISEÑADO POR: H. CUTIPA	FECHA: AGO-2021	PLANO: ALAMBIQUE SOLAR DE DOBLE VERTIENTE BASTIDOR DE EVAPORADOR (SUBCONJUNTO) (PLANO DE DESPIECE)			
	DIBUJADO POR: H. CUTIPA	FECHA: AGO-2021	PIEZA: 1,2,3,4,5 y 6	FORMATO: A3	UNIDAD: MM	Nº DE PLANO: 24
	REVISADO POR: L. HUACASI	FECHA: DIC-2022	LÁMINA: 16/17	ESCALA: 1 : 20	REVISIÓN: 01	
	APROBADO POR: L. HUACASI	FECHA: DIC-2022				



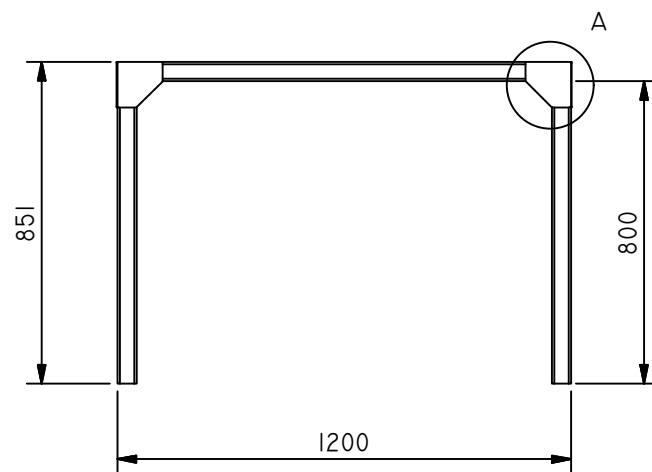
VISTA FRONTAL  
ESCALA ( 1 : 20 )



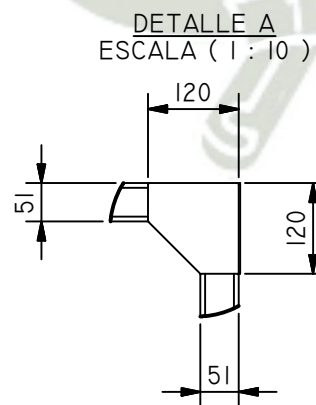
VISTA SUPERIOR  
ESCALA ( 1 : 20 )



VISTA ISOMÉTRICA  
ESCALA ( 1 : 20 )



VISTA LATERAL  
ESCALA ( 1 : 20 )



DETALLE A  
ESCALA ( 1 : 10 )

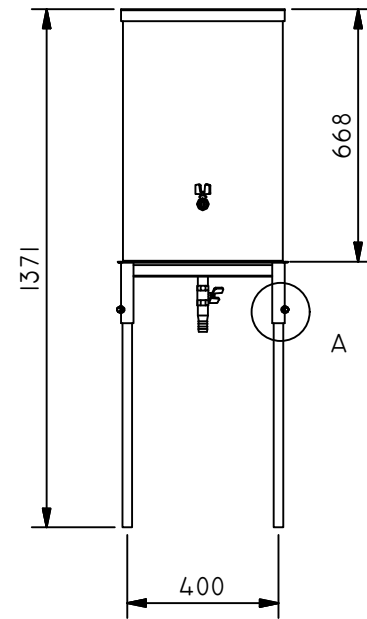
NOTA:  
- UNIONES SOLDADAS: PROCESO SMAW, ELECTRODO E6011/E6013 Ø3/32"  
- RECUBRIMIENTO: BASE ANTICORROSIVA COLOR GRIS

ÍTEM	CANT.	LONG.	NOMBRE	MATERIAL
4	4	800	TUBO CUADRADO 2X2PULG x 1.5MM	ACERO AL CARBONO ASTM A500
3	2	1149	TUBO RECTANGULAR 1X2PULG x 1.2MM	ACERO AL CARBONO ASTM A513
2	2	2420	TUBO RECTANGULAR 1X2PULG x 1.2MM	ACERO AL CARBONO ASTM A513
1	2	1200	TUBO RECTANGULAR 1X2PULG x 1.2MM	ACERO AL CARBONO ASTM A513

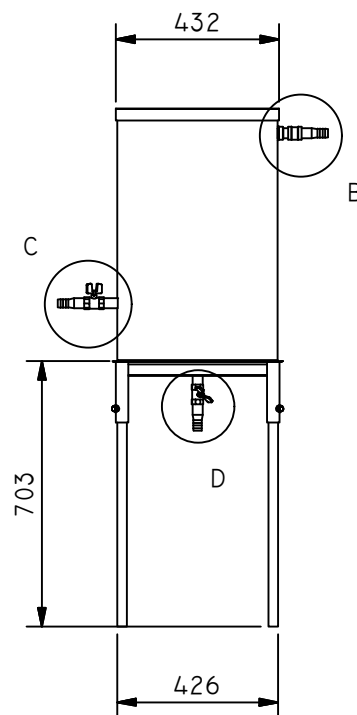
LISTA DE PERFILES

	DISEÑADO POR: H. CUTIPA	FECHA: AGO-2021	PLANO: ALAMBIQUE SOLAR DE DOBLE VERTIENTE ESTRUCTURA DE SOPORTE (PLANO DE DESPIECE)			
	DIBUJADO POR: H. CUTIPA	FECHA: AGO-2021	PIEZA: 7	FORMATO: A3	UNIDAD: MM	Nº DE PLANO: 25
	REVISADO POR: L. HUACASI	FECHA: DIC-2022	LÁMINA: 17/17	ESCALA: 1 : 20	REVISIÓN: 01	
	APROBADO POR: L. HUACASI	FECHA: DIC-2022	ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA, MECÁNICA ELÉCTRICA Y MECATRÓNICA			

TANQUE DE CONTROL DE NIVEL DE AGUA CONTAMINADA  
(PLANO DE CONJUNTO)

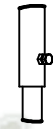


VISTA FRONTAL  
ESCALA ( 1:20 )



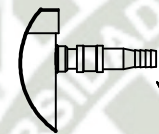
VISTA LATERAL  
ESCALA ( 1:20 )

DETALLE A  
ESCALA ( 1 : 10 )



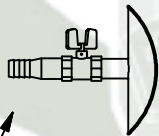
PERNO HEX. Ø5/16"x5/8"

DETALLE B  
ESCALA ( 1 : 10 )



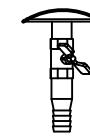
INGRESO

DETALLE C  
ESCALA ( 1 : 10 )

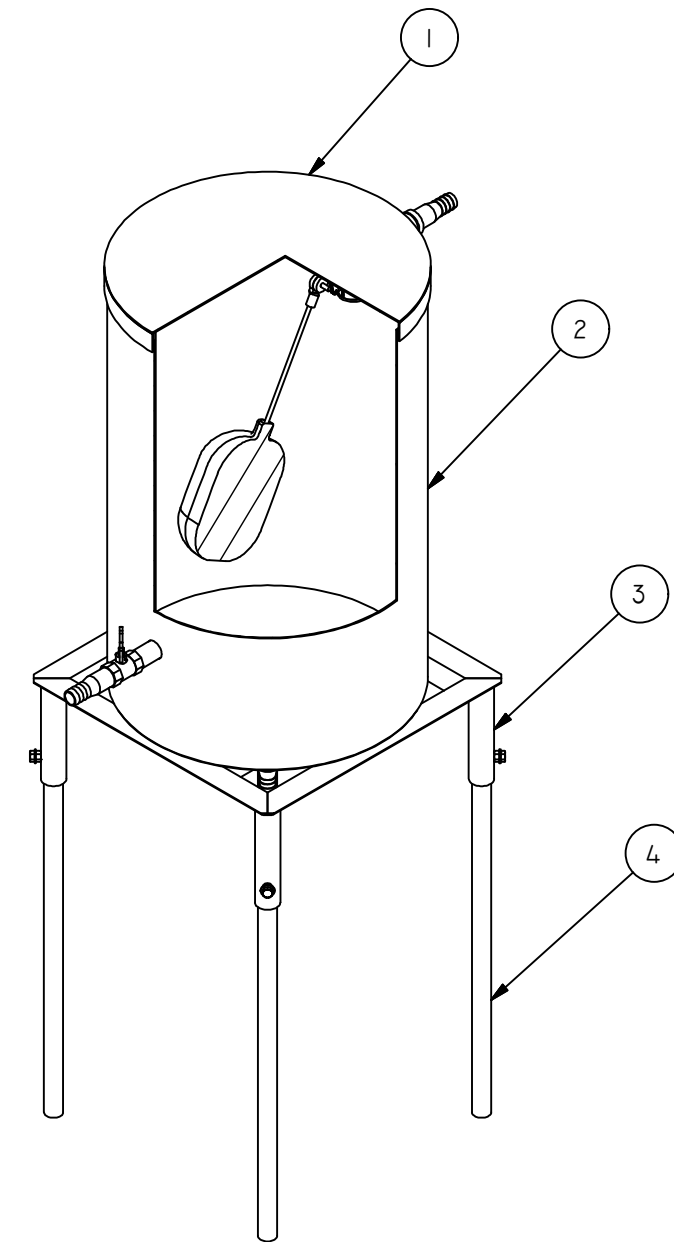


SALIDA

DETALLE D  
ESCALA ( 1 : 10 )



DRENAJE

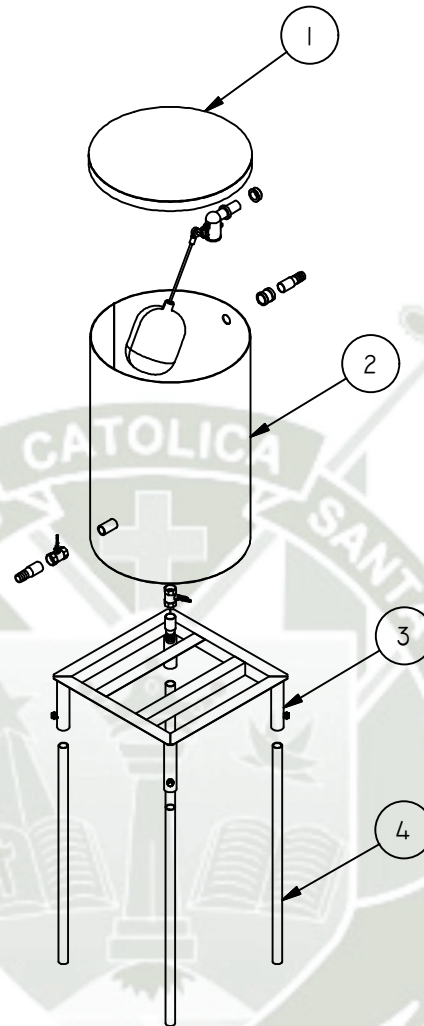


VISTA ISOMÉTRICA  
ESCALA ( 1:10 )

ÍTEM	CANT.	NOMBRE	MATERIAL
4	4	PATA	ACERO AL CARBONO ASTM A513 1.0MM ESP.
3	1	PLATAFORMA	ACERO AL CARBONO ASTM A36 2.0MM ESP.
2	1	TANQUE	ACERO INOXIDABLE 304 1.0MM ESP.
1	1	TAPA	ACERO INOXIDABLE 304 1.0MM ESP.

LISTA DE PARTES



	DISEÑADO POR: H. CUTIPA	FECHA: AGO-2021	PLANO: TANQUE DE CONTROL DE NIVEL DE AGUA CONTAMINADA (PLANO DE CONJUNTO)			
	DIBUJADO POR: H. CUTIPA	FECHA: AGO-2021				
	REVISADO POR: L. HUACASI	FECHA: DIC-2022	PIEZA:	FORMATO: A3	UNIDAD: MM	Nº DE PLANO: 26
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA, MECÁNICA ELÉCTRICA Y MECATRÓNICA	APROBADO POR: L. HUACASI	FECHA: DIC-2022	LÁMINA: 1/3	ESCALA: 1:20	REVISIÓN: 01	



VISTA ISOMÉTRICA  
ESCALA ( 1:20 )

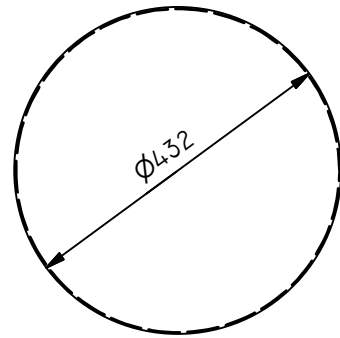
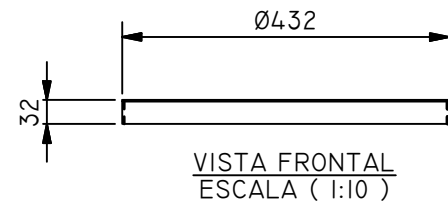
ÍTEM	CANT.	NOMBRE	MATERIAL
4	4	PATA	ACERO AL CARBONO ASTM A513 1.0MM ESP.
3	1	PLATAFORMA	ACERO AL CARBONO ASTM A36 2.0MM ESP.
2	1	TANQUE	ACERO INOXIDABLE 304 1.0MM ESP.
1	1	TAPA	ACERO INOXIDABLE 304 1.0MM ESP.

LISTA DE PARTES

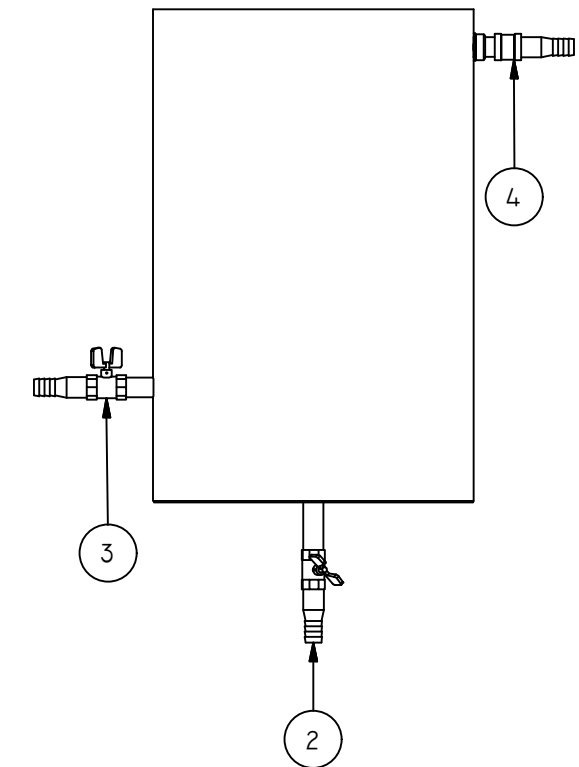
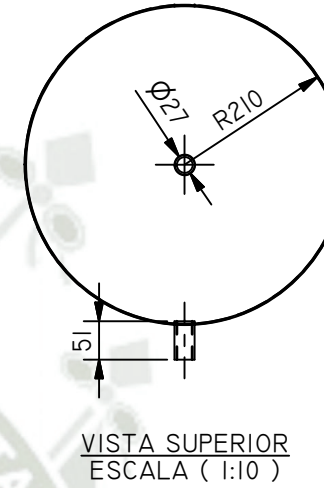
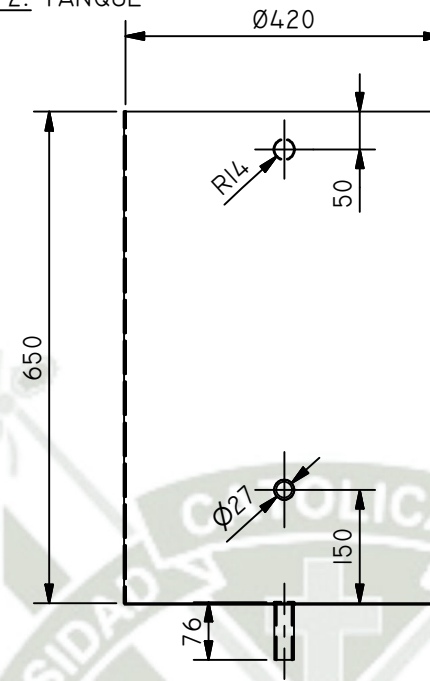
	DISEÑADO POR: H. CUTIPA	FECHA: AGO-2021	PLANO: TANQUE DE CONTROL DE NIVEL DE AGUA CONTAMINADA (PLANO DE MONTAJE)			
	DIBUJADO POR: H. CUTIPA	FECHA: AGO-2021	PIEZA:	FORMATO: A4	UNIDAD: MM	N° DE PLANO: 27
	USADO POR: L. HUACASI	FECHA: DIC-2022	LÁMINA: 2/3	ESCALA: 1:20	REVISIÓN: 01	
	APROBADO POR: L. HUACASI	FECHA: DIC-2022				

TANQUE DE CONTROL DE NIVEL DE AGUA CONTAMINADA  
(PLANO DE DESPIECE)

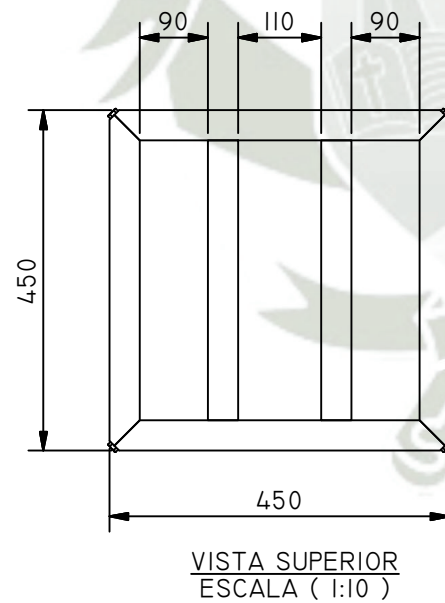
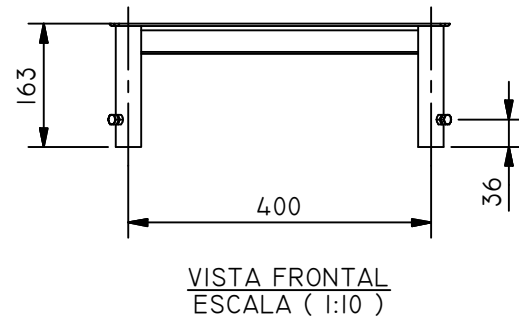
PIEZA 1: TAPA



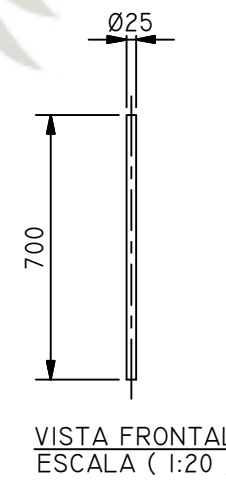
PIEZA 2: TANQUE



PIEZA 3: PLATAFORMA



PIEZA 4: PATA



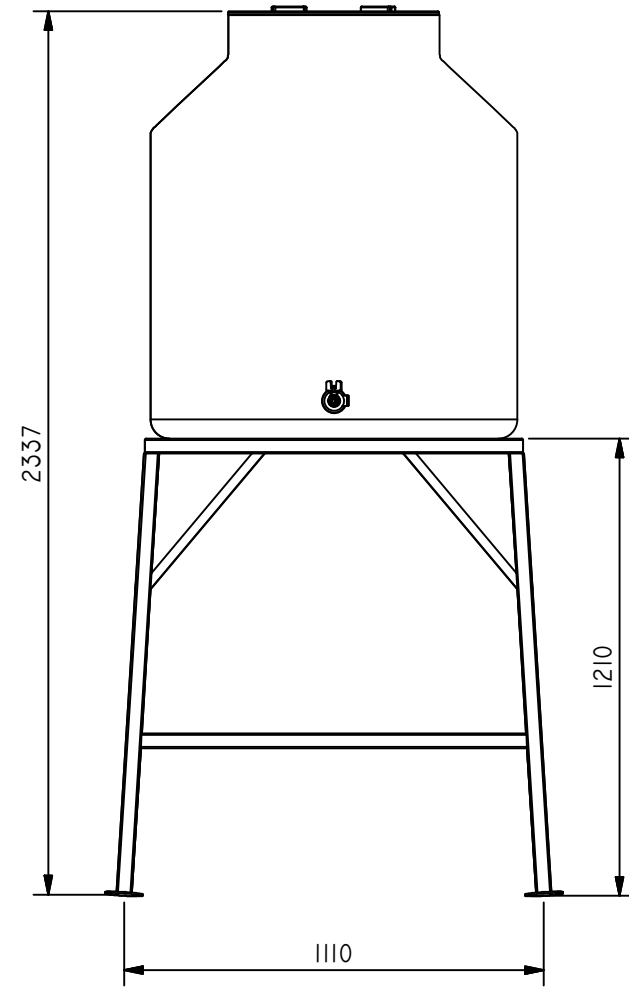
NOTA:

- PERFIL ANGULAR ASTM A36 38x38x2MM (PLATAFORMA)
- TUBO REDONDO ASTM A513 Ø1 1/4"x1.0MM (PLATAFORMA)
- TUBO REDONDO ASTM A513 Ø1"x1.0MM (PATA)
- UNIONES SOLDADAS: PROCESO SMAW, ELECTRODO E6011/E6013 Ø3/32"
- RECUBRIMIENTO: BASE ANTICORROSIVA COLOR GRIS

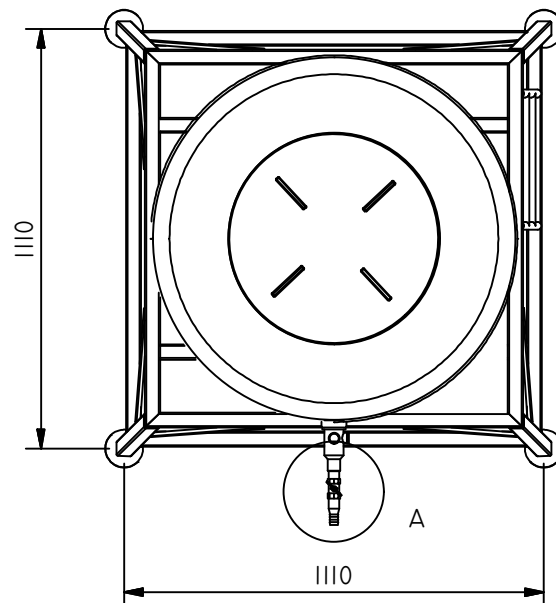
ÍTEM	CANT.	NOMBRE	MATERIAL
4	1	UNIÓN Ø3/4"	POLIPROPILENO
3	2	LLAVE DE PASO DE Ø3/4"	POLIPROPILENO
2	3	NIPLE TIPO BOTELLA DE Ø3/4"	ACERO GALVANIZADO
1	1	VÁLVULA TIPO FLOTADOR DE Ø3/4"	PVC

LISTA DE ACCESORIOS - PIEZA 2

	DISEÑADO POR: H. CUTIPA	FECHA: AGO-2021	PLANO: TANQUE DE CONTROL DE NIVEL DE AGUA CONTAMINADA (PLANO DE DESPIECE)			
	DIBUJADO POR: H. CUTIPA	FECHA: AGO-2021				
REVISADO POR: L. HUACASI	FECHA: DIC-2022	PIEZA: 1, 2, 3 Y 4	FORMATO: A3	UNIDAD: MM	Nº DE PLANO: 28	
APROBADO POR: L. HUACASI	FECHA: DIC-2022	LÁMINA: 3/3	ESCALA: 1:10	REVISIÓN: 01		

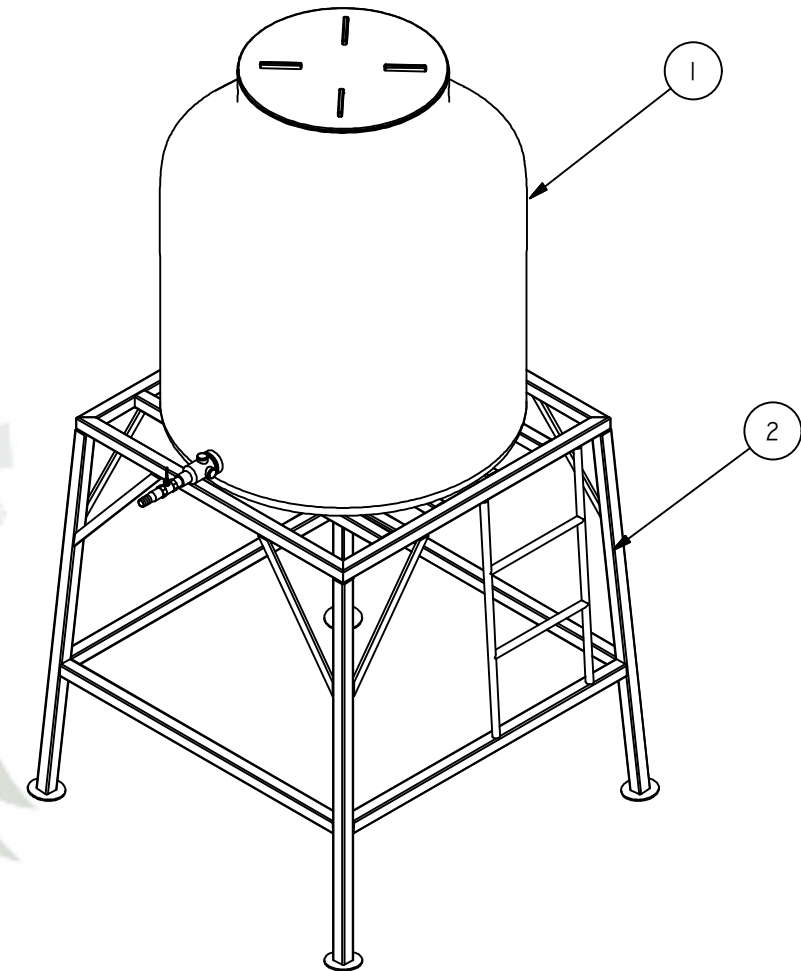
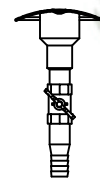


VISTA FRONTAL  
ESCALA ( 1:20 )



VISTA SUPERIOR  
ESCALA ( 1:20 )

DETALLE A  
ESCALA ( 1 : 10 )

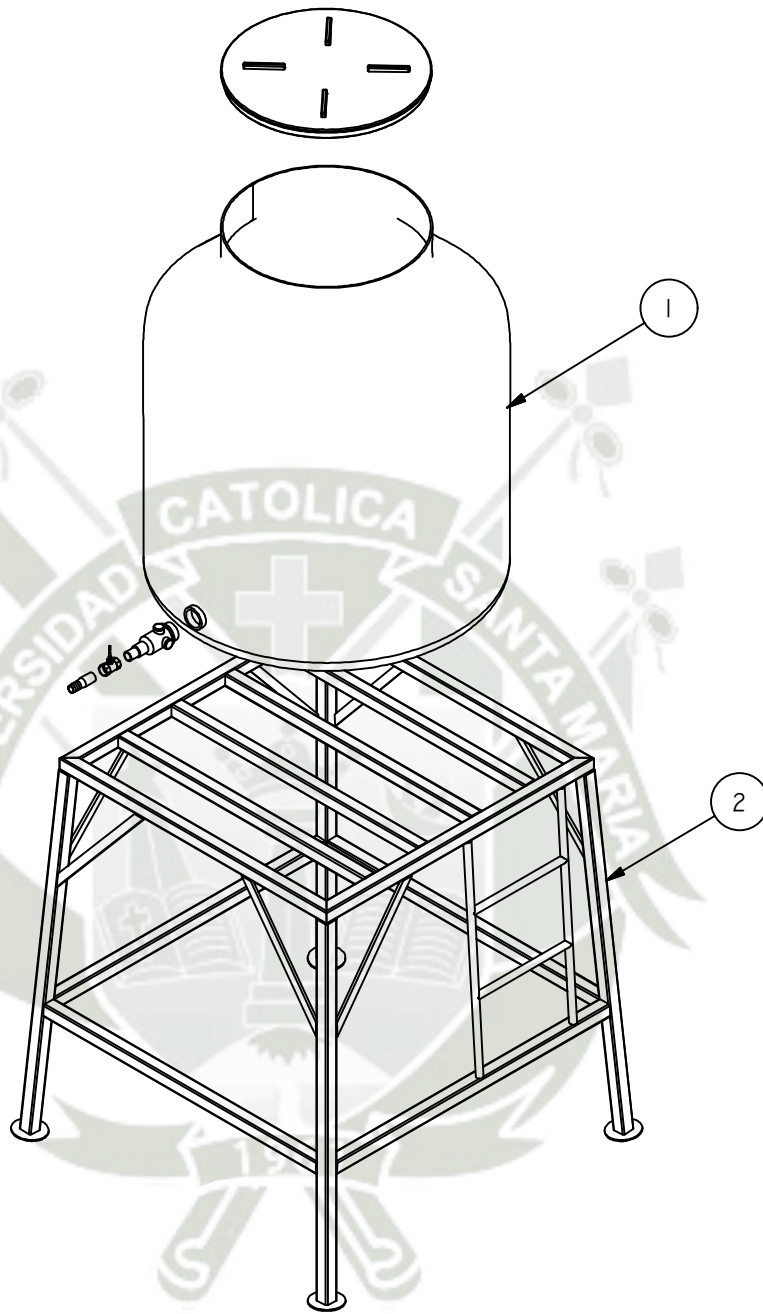


VISTA ISOMÉTRICA  
ESCALA ( 1:20 )

ÍTEM	CANT.	NOMBRE	MATERIAL
2	1	ESTRUCTURA DE SOPORTE	ACERO AL CARBONO
1	1	TANQUE DE RESERVA	POLIETILENO



LISTA DE PARTES					
	DISEÑADO POR: H. CUTIPA	FECHA: AGO-2021	PLANO: TANQUE DE RESERVA DE AGUA CONTAMINADA (PLANO DE CONJUNTO)		
	DIBUJADO POR: H. CUTIPA	FECHA: AGO-2021			
	REVISADO POR: L. HUACASI	FECHA: DIC-2022	PIEZA:	FORMATO: A3	UNIDAD: MM
	APROBADO POR: L. HUACASI	FECHA: DIC-2022	LÁMINA: 1/4	ESCALA: 1:20	Nº DE PLANO: 29
			REVISIÓN: 01		

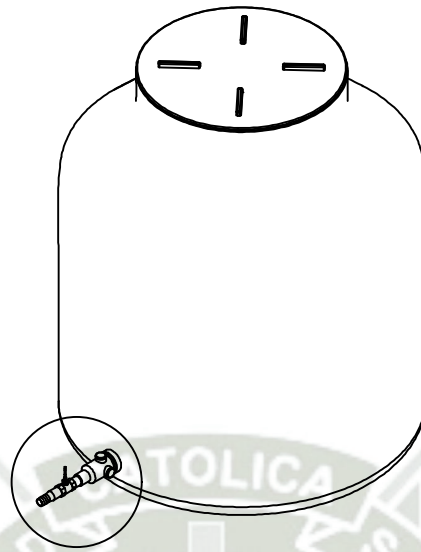


VISTA ISOMÉTRICA  
ESCALA ( 1 : 20 )

2	1	ESTRUCTURA DE SOPORTE	ACERO AL CARBONO
1	1	TANQUE DE RESERVA	POLIETILENO
ÍTEM	CANT.	NOMBRE	MATERIAL

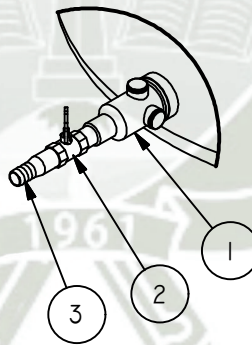
LISTA DE PARTES

	DISEÑADO POR: H. CUTIPA	FECHA: AGO-2021	PLANO: TANQUE DE RESERVA DE AGUA CONTAMINADA (PLANO DE MONTAJE)			
	DIBUJADO POR: H. CUTIPA	FECHA: AGO-2021	PIEZA:	FORMATO: A4	UNIDAD: MM	N° DE PLANO: 30
	USADO POR: L. HUACASI	FECHA: DIC-2022	LÁMINA: 2/4	ESCALA: 1 : 20	REVISIÓN: 01	
APROBADO POR: L. HUACASI		FECHA: DIC-2022				



VISTA ISOMÉTRICA  
ESCALA ( 1 : 20 )



DETALLE A  
ESCALA ( 1 : 10 )

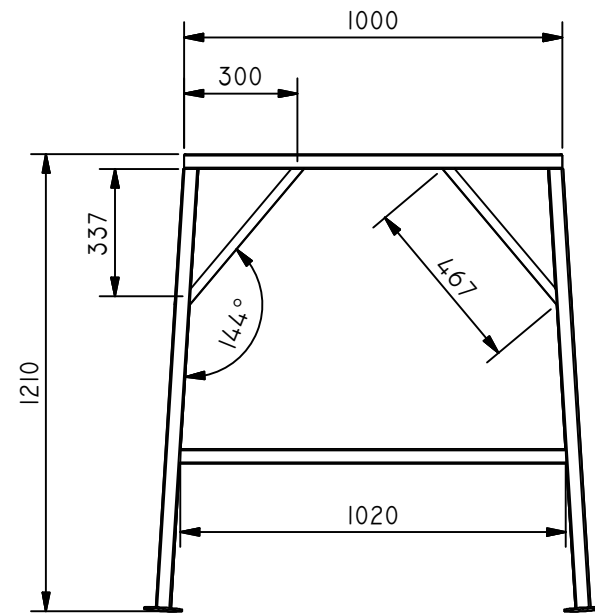


NOTA:  
- TANQUE COMERCIAL, CAPACIDAD: 600L

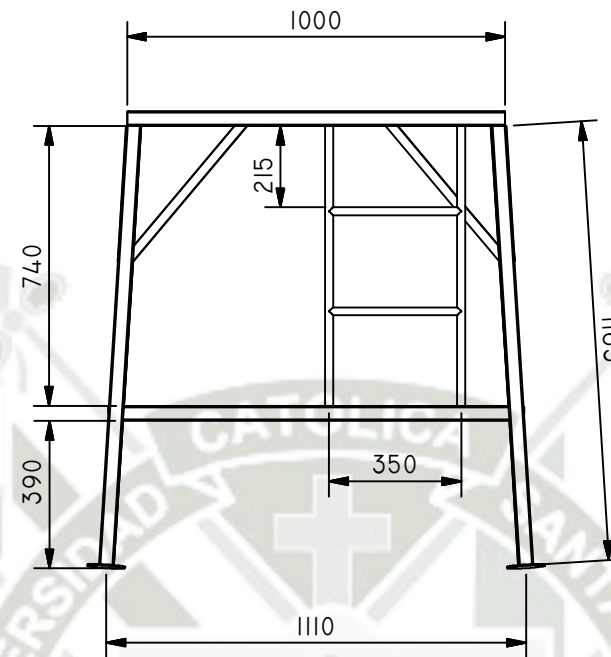
ÍTEM	CANT.	NOMBRE	MATERIAL
3	1	NIPLE TIPO BOTELLA Ø3/4"	ACERO GALVANIZADO
2	1	LLAVE DE PASO Ø3/4"	POLIPROPILENO
1	1	MULTICONECTOR	POLIETILENO

LISTA DE ACCESORIOS - PIEZA 1

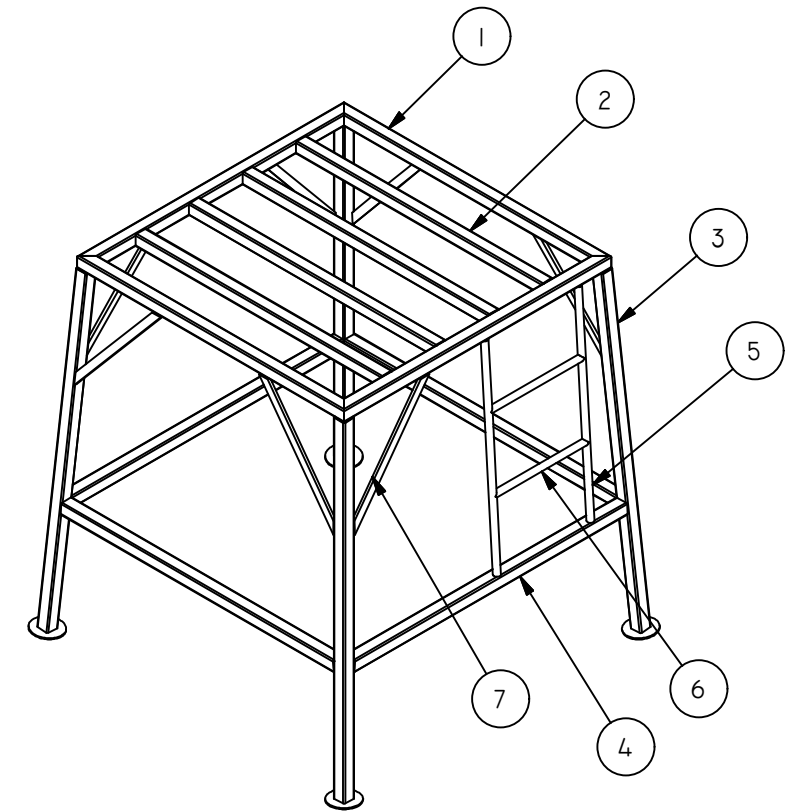
	DISEÑADO POR: H. CUTIPA	FECHA: AGO-2021	PLANO: TANQUE DE RESERVA DE AGUA CONTAMINADA (PLANO DE DESPIECE)			
	DIBUJADO POR: H. CUTIPA	FECHA: AGO-2021	PIEZA: 1	FORMATO: A4	UNIDAD: MM	N° DE PLANO: 31
	USADO POR: L. HUACASI	FECHA: DIC-2022	LÁMINA: 3/4	ESCALA: 1:20	REVISIÓN: 01	
	APROBADO POR: L. HUACASI	FECHA: DIC-2022				



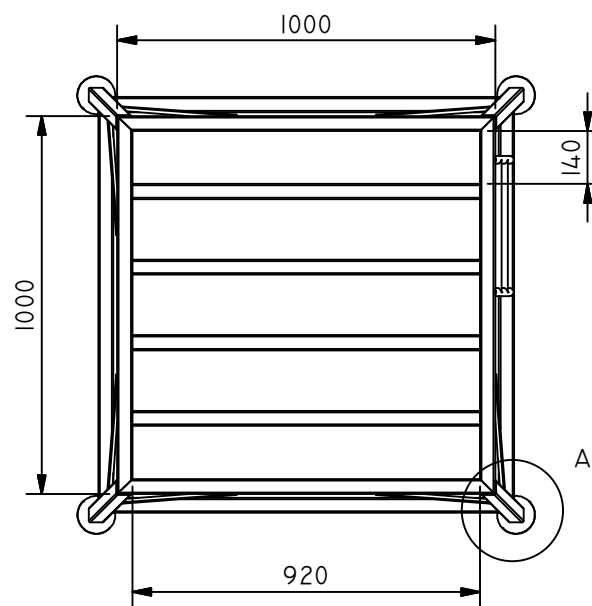
VISTA FRONTAL  
ESCALA ( 1:20 )



VISTA LATERAL  
ESCALA ( 1:20 )

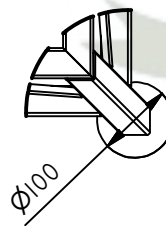


VISTA ISOMÉTRICA  
ESCALA ( 1:20 )



VISTA SUPERIOR  
ESCALA ( 1:20 )

DETALLE A  
ESCALA ( 1 : 10 )



NOTA:  
- UNIONES SOLDADAS: PROCESO SMAW, ELECTRODO E6011/E6013 Ø3/32"  
- RECUBRIMIENTO: BASE ANTICORROSIVA COLOR GRIS

7	8	467MM	ÁNGULO 25x25x2.0MM (REFUERZO)	ACERO AL CARBONO ASTM A36
6	2	350MM	TUBO REDONDO Ø7/8"x1.2MM (ESCALERA)	ACERO AL CARBONO ASTM A513
5	2	740MM	TUBO REDONDO Ø7/8"x1.2MM (ESCALERA)	ACERO AL CARBONO ASTM A513
4	4	1020MM	TUBO CUADRADO 1 1/2"x1.2MM (MARCO INF.)	ACERO AL CARBONO ASTM A513
3	4	1163MM	TUBO CUADRADO 1 1/2"x1.2MM (PATAS)	ACERO AL CARBONO ASTM A513
2	4	920MM	TUBO CUADRADO 1 1/2"x1.2MM (PLATAFORMA)	ACERO AL CARBONO ASTM A513
1	4	1000MM	TUBO CUADRADO 1 1/2"x1.2MM (MARCO SUP.)	ACERO AL CARBONO ASTM A513
ÍTEM	CANT.	LONG.	NOMBRE	MATERIAL

LISTA DE PERFILES

	DISEÑADO POR: H. CUTIPA	FECHA: AGO-2021	PLANO: TANQUE DE RESERVA DE AGUA CONTAMINADA (PLANO DE DESPIECE)			
	DIBUJADO POR: H. CUTIPA	FECHA: AGO-2021	PIEZA: 2	FORMATO: A3	UNIDAD: MM	Nº DE PLANO: 32
	REVISADO POR: L. HUACASI	FECHA: DIC-2022	LÁMINA: 4/4	ESCALA: 1:20	REVISIÓN: 01	
	APROBADO POR: L. HUACASI	FECHA: DIC-2022				