

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN DESTILADOR DE AGUA SALADA ALIMENTADO POR MEDIO DE
ENERGÍAS RENOVABLES**

CÓDIGO DE PROYECTO: PG-16-1-25



FRANKLIN RAFAEL LUQUE DI RUGGIERO

CÓDIGO: 1020979

IDENTIFICACIÓN: C.C. 1.030.620.799

MAURICIO ALEJANDRO ROMERO CASTELLANOS

CÓDIGO: 1120379

IDENTIFICACIÓN: C.C. 1.016.045.357

**UNIVERSIDAD PILOTO DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA
BOGOTÁ, D.C.**

2017

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN DESTILADOR DE AGUA SALADA ALIMENTADO POR MEDIO DE
ENERGÍAS RENOVABLES**

FRANKLIN RAFAEL LUQUE DI RUGGIERO

CÓDIGO: 1020979

IDENTIFICACIÓN: C.C. 1.030.620.799

MAURICIO ALEJANDRO ROMERO CASTELLANOS

CÓDIGO: 1120379

IDENTIFICACIÓN: C.C. 1.016.045.357

**PROYECTO DE GRADO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE INGENIERO MECATRÓNICO DE LA
UNIVERSIDAD PILOTO DE COLOMBIA**

DIRECTOR:

ING. ADONAY VARELA

Ing. en Mecánica

UNIVERSIDAD PILOTO DE COLOMBIA

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

BOGOTÁ, D.C.

2017

NOTA DE ACEPTACIÓN

Una vez realizada la revisión metodológica y técnica del documento final de proyecto de grado, doy constancia de que el (los) estudiante (s) ha cumplido a cabalidad con los objetivos propuestos, cumple a cabalidad con los Lineamientos de Opción de Grado vigentes del programa de Ingeniería Mecatrónica y con las leyes de derechos de autor de la República de Colombia, por tanto, se encuentra(n) preparado(s) para la defensa del mismo ante un jurado evaluador que considere idóneo el Comité de Investigaciones del Programa de Ingeniería Mecatrónica de la Universidad Piloto de Colombia.



ING. ADONAY VARELA

Director del Proyecto

DEDICATORIA

Este trabajo es dedicado en memoria a nuestros padres:

- **Jesús Rafael Luque Gutiérrez (05-06-2017)**
- **Siervo de Jesús Romero Parra (08-05-2009)**

Quienes en vida nos criaron y educaron, brindándonos su apoyo y orientación incondicional para salir adelante como personas y como profesionales.

“Isaías 41:10,13 No temas, porque yo estoy contigo; no desmayes, porque yo soy tu Dios que te esfuerzo; siempre te ayudaré, siempre te sustentaré con la diestra de mi justicia... Porque yo Jehová soy tu Dios, quien te sostiene de tu mano derecha, y te dice: No temas, yo te ayudo”.

AGRADECIMIENTOS

Primero queremos darle gracias a Dios y a la vida por darnos la oportunidad de culminar esta etapa como ingenieros mecatrónicos. Posteriormente a nuestra familia, que con sus recursos y esfuerzos hicieron posible este importante logro.

Agradeciendo a la Universidad Piloto de Colombia, directivos, profesores y demás colaboradores por interceder en este proyecto de grado.

También queremos agradecer a nuestro director el Ing. Adonay Varela por su acompañamiento en este proceso y al PhD William A. Lozano Rivas por su asesoría en los pruebas de calidad de agua potable.

Finalmente agradecer a todas las compañías y empresas que nos facilitaron con sus conocimientos en áreas específicas para hacer de esto una realidad.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
NOTA DE ACEPTACIÓN	3
DEDICATORIA.....	4
AGRADECIMIENTOS	5
LISTA DE TABLAS	9
LISTA DE FIGURAS	10
LISTA DE ANEXOS	12
INTRODUCCIÓN.....	13
1. GENERALIDADES.....	14
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	14
1.1.1 <i>Antecedentes del problema</i>	14
1.1.2 <i>Descripción del problema</i>	14
1.1.3 <i>Formulación del problema</i>	14
1.1.4 <i>Línea de investigación del programa</i>	15
1.2 JUSTIFICACIÓN.....	15
1.3 OBJETIVOS	15
1.3.1 <i>Objetivo general</i>	15
1.3.2 <i>Objetivos específicos</i>	15
1.3.3 <i>Delimitación del proyecto</i>	16
1.4 MARCO REFERENCIAL	16
1.4.1 <i>Estado del arte</i>	16
1.4.2 <i>Marco normativo</i>	27
1.5 MARCO METODOLÓGICO	27
1.6 RECURSOS.....	27
1.6.1 <i>Recursos humanos</i>	27
1.6.2 <i>Recursos financieros</i>	28
2. GENERALIDADES.....	29
2.1 GENERALIDADES DEL AGUA	29
2.1.1 <i>Métodos para purificar el agua</i>	29
2.1.2 <i>Tipos de agua</i>	30
2.1.3 <i>Normas de calidad del agua para el consumo humano</i>	31
2.1.4 <i>Abastecimiento de aguas en Colombia</i>	35
2.1.5 <i>Encuesta para determinar el consumo de agua potable en un núcleo familiar</i>	36
2.1.6 <i>Consumo de agua potable por habitante</i>	37
2.2 PROCESOS DE DESALINIZACIÓN EXISTENTES	38
2.2.1 <i>Por cambio de fase (Energía térmica)</i>	38
2.2.2 <i>Sin cambio de fase (Energía mecánica)</i>	38
2.3 TIPOS DE DESTILADORES SOLARES	40
2.3.1 <i>Destilador solar tipo caseta</i>	40
2.3.2 <i>Destilador solar tipo escalera</i>	41
2.3.3 <i>Destilador solar con evaporador de tela</i>	42
2.3.4 <i>Destilador solar con colector solar auxiliar</i>	42
2.3.5 <i>Destilador solar múltiple efecto</i>	43
2.3.6 <i>Destilador Solar Esférico</i>	43
2.4 GENERALIDADES DE ENERGÍA	44

2.4.1	Tipos de energía	45
2.5	GENERALIDADES DE LA ENERGÍA SOLAR	45
2.5.1	Constante solar (G_{sc}).....	45
2.5.2	Distancia promedio tierra-sol	46
2.5.3	Posición angular de la Tierra	46
2.5.4	Distancia Tierra-Sol para cálculos radiométricos	46
2.5.5	Radiación solar	46
2.5.6	Variables necesarias para el estudio de la radiación solar	48
2.6	ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA	53
2.6.1	Generalidades.....	53
2.6.2	Mecanismos de generación y recombinación.....	54
2.6.3	Tipos de sistemas fotovoltaicos.....	55
2.6.4	Tipos de módulos fotovoltaicos	55
2.6.5	Parámetros de funcionamiento de la célula fotovoltaica.....	56
2.6.6	Batería	58
2.6.7	Regulador	58
2.6.8	Inversor.....	59
2.7	TERMODINAMICA	60
2.7.1	Conducción	60
2.7.2	Convección.....	60
2.7.3	Radiación.....	60
3.	DISEÑO DEL DESTILADOR SOLAR	61
3.1	SELECCIÓN TIPO DE DESTILADOR SOLAR	61
3.2	CÁLCULOS ESTRUCTURALES DEL SISTEMA	62
3.2.1	Características de la Estructura soporte.....	62
3.2.2	Factor de seguridad de la estructura.....	62
3.2.3	Factor por material.....	62
3.2.4	Esfuerzo admisible.....	63
3.2.5	Esfuerzo axial de cada perfil.....	64
3.2.6	Diagrama de momento flector y fuerza cortante	64
3.2.7	Esfuerzo flector.....	65
3.2.8	Esfuerzo de contacto de las ruedas	66
3.2.9	Esfuerzo por compresión de la rueda	66
3.3	COMPORTAMIENTO DEL SOL.....	67
3.3.1	Posición angular de la Tierra	68
3.3.2	Distancia Tierra-Sol	69
3.3.3	Distancia Tierra-Sol (Cálculos radiométricos).....	69
3.3.4	Declinación solar	70
3.3.5	Altura del sol.....	70
3.3.6	Duración astronómica del día.....	71
3.3.7	Ángulo ocaso del sol	72
3.3.8	Radiación solar extraterrestre incidente	72
3.3.9	Radiación solar diaria fuera de la atmósfera terrestre	73
3.3.10	Índice de claridad	74
3.3.11	Radiación solar difusa sobre superficies horizontales.....	74
3.3.12	Radiación global diaria promedio mensual sobre una superficie	75
3.3.13	Radiación solar en superficie inclinada (Carcasa condensadora)	76
3.4	CÁLCULOS PARA LA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA	76
3.4.1	Consumo energético.....	76
3.4.2	Rendimiento del panel fotovoltaico.....	77

3.4.3	Consumo energético real.....	78
3.4.4	Necesidades del usuario.....	78
3.4.5	Capacidad máxima.....	79
3.4.6	Energía del panel.....	79
3.4.7	Número de paneles fotovoltaico.....	79
3.4.8	Inversor.....	80
3.4.9	Batería.....	80
3.4.10	Regulador.....	82
3.5	CÁLCULOS TERMODINAMICOS DEL SISTEMA.....	82
3.5.1	Flujo de calor por radiación.....	85
3.5.2	Coefficiente de transferencia de calor convectivo.....	86
3.5.3	Flujo de calor por convección del vidrio.....	86
3.5.4	Flujo de calor de la resistencia térmica por conducción.....	86
3.5.5	Flujo de calor por radiación del agua.....	87
3.5.6	Coefficiente de calor perdido por convección natural.....	87
3.5.7	Coefficiente de radiación efectivo.....	88
3.5.8	Flujo de calor por convección del agua.....	89
3.5.9	Coefficiente de transferencia de calor evaporativo.....	89
3.5.10	Flujo de calor evaporativo del agua.....	89
3.5.11	Cantidad de calor necesario para evaporar el agua.....	89
3.5.12	Cantidad de calor necesario para calentar el agua.....	90
3.5.13	Cantidad de calor necesario para calentar el vidrio.....	90
3.5.14	Calor necesario para calentar el vidrio y evaporar el agua.....	90
3.5.15	Calor absorbido por el sistema.....	91
3.5.16	Flujo de calor absorbido por el sistema.....	91
3.5.17	Capacidad de calor necesario para calentar y evaporar.....	91
3.5.18	Energía total almacenada.....	92
3.5.19	Eficiencia del sistema.....	92
4.	CONSTRUCCIÓN DEL DESTILADOR SOLAR.....	93
4.1	MATERIAL DE ALMACENAMIENTO DE AGUA SALADA Y AGUA DESTILADA.....	93
4.2	AISLANTES.....	93
4.3	FILTRO REMINERALIZADOR.....	94
4.4	RESISTENCIA TÉRMICA.....	95
4.5	CARCASA CONDENSADORA.....	96
4.6	SISTEMA DE MOVIMIENTO.....	96
4.7	SISTEMA DE SEGURIDAD DEL VIDRIO CON LA ESTRUCTURA.....	97
4.8	BASE PARA ESTRUCTURA.....	97
4.9	PROCESO DE CONSTRUCCIÓN.....	97
5.	ZONA DE EXPERIMENTACIÓN.....	100
6.	RESULTADOS Y PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO.....	104
6.1	PRUEBAS DE LABORATORIO.....	104
6.1.1	Análisis microbiológico.....	104
6.1.2	Análisis fisicoquímico.....	104
6.1.3	Análisis de muestras de agua.....	105
7.	RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS.....	108
	REFERENCIAS.....	109
8.	ANEXO A. PLANOS MECÁNICOS.....	112
9.	ANEXO B. FORMATE DE ENCUESTA.....	125
10.	ANEXO C. RESULTADOS DE LABORATORIO PRUEBAS POTABILIDAD DE AGUA.....	126

LISTA DE TABLAS

	Pág.
<i>Tabla 1</i>	28
<i>Tabla 2</i>	30
<i>Tabla 3</i>	36
<i>Tabla 4</i>	37
<i>Tabla 5</i>	39
<i>Tabla 6</i>	48
<i>Tabla 7</i>	52
<i>Tabla 8</i>	58
<i>Tabla 9</i>	58
<i>Tabla 10</i>	59
<i>Tabla 11</i>	61
<i>Tabla 12</i>	62
<i>Tabla 13</i>	67
<i>Tabla 14</i>	68
<i>Tabla 15</i>	69
<i>Tabla 16</i>	70
<i>Tabla 17</i>	71
<i>Tabla 18</i>	71
<i>Tabla 19</i>	72
<i>Tabla 20</i>	72
<i>Tabla 21</i>	73
<i>Tabla 22</i>	74
<i>Tabla 23</i>	74
<i>Tabla 24</i>	75
<i>Tabla 25</i>	75
<i>Tabla 26</i>	76
<i>Tabla 27</i>	77
<i>Tabla 28</i>	83
<i>Tabla 29</i>	84
<i>Tabla 30</i>	93
<i>Tabla 31</i>	94
<i>Tabla 32</i>	95
<i>Tabla 33</i>	96
<i>Tabla 34</i>	102
<i>Tabla 35</i>	102
<i>Tabla 36</i>	103
<i>Tabla 37</i>	103
<i>Tabla 38</i>	104
<i>Tabla 39</i>	104
<i>Tabla 40</i>	107

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
<i>Figura 1</i>	16
<i>Figura 2</i>	17
<i>Figura 3</i>	17
<i>Figura 4</i>	18
<i>Figura 5</i>	18
<i>Figura 6</i>	19
<i>Figura 7</i>	19
<i>Figura 8</i>	20
<i>Figura 9</i>	20
<i>Figura 10</i>	21
<i>Figura 11</i>	21
<i>Figura 12</i>	22
<i>Figura 13</i>	22
<i>Figura 14</i>	23
<i>Figura 15</i>	23
<i>Figura 16</i>	24
<i>Figura 17</i>	24
<i>Figura 18</i>	25
<i>Figura 19</i>	26
<i>Figura 20</i>	26
<i>Figura 21</i>	32
<i>Figura 22</i>	33
<i>Figura 23</i>	34
<i>Figura 24</i>	35
<i>Figura 25</i>	37
<i>Figura 26</i>	41
<i>Figura 27</i>	41
<i>Figura 28</i>	42
<i>Figura 29</i>	42
<i>Figura 30</i>	43
<i>Figura 31</i>	44
<i>Figura 32</i>	56
<i>Figura 33</i>	64
<i>Figura 34</i>	94
<i>Figura 35</i>	97
<i>Figura 36</i>	98
<i>Figura 37</i>	98
<i>Figura 38</i>	99
<i>Figura 39</i>	99
<i>Figura 40</i>	100
<i>Figura 41</i>	101

<i>Figura 42</i>	102
<i>Figura 43</i>	105
<i>Figura 44</i>	106
<i>Figura 45</i>	106
<i>Figura 46</i>	107

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A. Planos mecánicos.

ANEXO B. Formato de encuesta.

ANEXO C. Resultados de laboratorio pruebas potabilidad de agua.

INTRODUCCIÓN

Actualmente el mundo está viviendo una escasez de recursos hídricos originada por varios factores entre ellos el factor humano, el cual tiene un alto porcentaje de responsabilidad frente a esta anómala situación. La sociedad entera está tomando conciencia y está unificando esfuerzos para lograr concientización sobre el tema del ahorro del agua y de la energía.

Según el estudio nacional del agua (ENA) 2005 “Colombia ya no es una de las potencias hídricas del mundo, si no el número 24 dentro de una lista de 182 naciones, si en Colombia no se optan medidas de conservación por este recurso hídrico, para el 2020 cada colombiano solo tendrá 1.890 m³ de agua en el año de igual forma este estudio obtuvo una distribución de la demanda anual de agua en Colombia”.

Por este motivo, se considera importante contribuir con el diseño y construcción de un prototipo funcional que sea capaz de abastecer agua potable de una manera práctica, ecológica, renovable y segura para suplir las necesidades básicas de las personas menos favorecidas con este líquido vital [1].

1. GENERALIDADES

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1.1 Antecedentes del problema

Un reporte del plan nacional contra la desertificación y la sequía en Colombia da a conocer que el 21.5% del territorio nacional tiene zonas secas ubicadas en la región de la Orinoquía, Andina y Caribe donde el 78.9% muestra un nivel de desertificación dado por la erosión y la salinización.

El mal uso de los suelos en Colombia ha contribuido al deterioro irreversible de las cuencas hídricas ocasionando así que la calidad y la cantidad del agua decaiga por esto, 140 acueductos de 16 departamentos presentan vulnerabilidad por disponibilidad de agua ya que dependen de las quebradas las cuales están siendo degradadas considerablemente; ciudades como Bucaramanga y Cúcuta en épocas de estiaje no alcanzan los mínimos demandados por los acueductos por otro lado en regiones como:

- Popayán
- Palmira
- Buenaventura
- Maicao
- Santander de Quilichao
- Pamplona

Han tenido un déficit del 15 y 30% en la oferta [1, p. 14].

1.1.2 Descripción del problema

La disponibilidad de agua potable es la problemática sobre el cual está basado este proyecto, debido a que se presentan innumerables casos de deshidratación y desnutrición, la finalidad es evitar que más personas sufran a diario por esta causa, desarrollando un prototipo que se encargue de abastecer de este líquido vital a una familia y a futuras comunidades.

1.1.3 Formulación del problema

¿Cómo se podría solventar las necesidades básicas de agua potable para una familia en zonas costeras de Colombia?

1.1.4 Línea de investigación del programa

Este proyecto busca implementar el uso de energías renovables, ya que se requiere diseñar una herramienta autosostenible y útil para ayudar a satisfacer necesidades puntuales de agua potable.

1.2 JUSTIFICACIÓN

Colombia tiene un gran trabajo por realizar para la preservación de los recursos hídricos, la forma descuidada que se han venido manejando las cuencas hidrográficas por su poca cantidad de almacenamiento de sus suelos y la formación de nubes, ha estado presentándose por la desmedida tala de árboles y destrucción de humedales afectando directamente a nuestras fuentes hídricas, sumando el exterminio de la flora, la fauna y la fertilidad de la tierra a causa de los continuos derrames y explotaciones de petróleo, contaminan aguas y suelos con su inminente destrucción dejando a su paso la desolación del campo.

Ahora bien una realidad bastante preocupante la que está afrontando nuestro país en el departamento de la Guajira y Choco, donde la escasez de agua potable se presenta por falta de recursos y la corta duración de la época de lluvia en estas zonas, llegando al punto de cobrar la vida de los habitantes y en especial la de los niños, por falta de un recurso tan indispensable y fundamental como es el agua.

Es por esto que se vio la necesidad de realizar la investigación con el fin de generar una herramienta asequible, limpia y segura para solventar algunas necesidades básicas de agua potable.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo general

- Diseñar y construir un destilador de agua salada mediante el uso de energías renovables.

1.3.2 Objetivos específicos

- Determinar las necesidades de agua potable en una vivienda estándar ubicada en zonas costeras de Colombia.
- Diseñar el destilador considerando las características del lugar de funcionamiento.
- Evaluar la calidad del agua procesada mediante el decreto 1575 de 2007.
- Construir un prototipo funcional.

1.3.3 Delimitación del proyecto

Entre los alcances están:

- El sistema de desalinización será diseñado para satisfacer las necesidades de una vivienda con 4 habitantes (2 adultos y 2 niños) en los siguientes aspectos: Preparación de alimentos y aseo personal con buenas prácticas de ahorro. No se tendrá en cuenta la cantidad de agua usada para lavado de ropa, descarga de servicios sanitarios, lavado de loza y limpieza de vivienda.

Entre las limitaciones están:

- El costo del diseño del destilador de agua salada.
- Calidad y cantidad del agua destilada mediante este tipo de sistema.

1.4 MARCO REFERENCIAL

1.4.1 Estado del arte

Hoy en día debido a la escases de recursos hídricos, la humanidad ha tenido que buscar nuevas formas para obtener agua potable, una de las maneras más económicas y seguras de hacerlo es mediante el uso de los destiladores de agua salada, de acuerdo a esto se realizó una búsqueda de proyectos de investigación que se pueden utilizar como punto de partida.

En el proceso de tratamiento de aguas, las compañías de acueductos tratan de evitar los diferentes olores y sabores que se forman por la presencia de microorganismos (Figura 1) encontrados en el agua potable, es por esto que la Escuela Politécnica Nacional en el 2009 desarrolló una planta piloto potabilizadora de agua de mar con energía solar que mediante su proceso expone al agua con sustrato de cobre que es conocido como el mejor producto preventivo que se le puede aplicar al agua, destruyendo la flora y fauna microscópica sin afectar a los consumidores o peces, este químico se puede tener en una concentración de hasta 12mg/L sin peligro de envenenamiento, sin embargo sobre los 4mg/L puede cambiar de sabor [2].

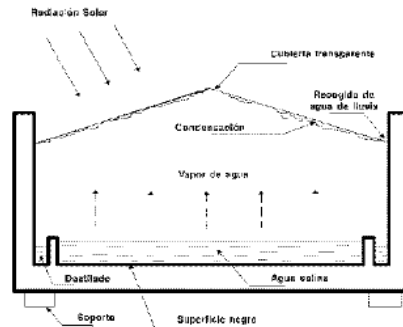
Figura 1. Algas sápidas y olorosas.



Fuente: MONTROYA PÉREZ, Paul Francisco: Planta piloto potabilizadora de agua de mar con energía solar. Quito. 2009.

La Universidad Nacional Autónoma de México en el año 2008, realizó un análisis energético sobre el uso de la destilación solar como un proceso eficiente, costeable y ecológicamente amigable. En la purificación de agua de mar, agua salobre y agua residual. En el destilador de caseta con dos vertientes (Figura 2), el agua a tratar se encuentra en el interior y al calentarse se transforma en vapor de agua que a su vez se desliza por las paredes un vidrio, en donde queda separada el agua a tratar del agua destilada [3].

Figura 2. Destilador de poceta o caseta de dos vertientes.



Fuente: CASTILLO TELLEZ, Margarita: Desarrollo y análisis energético de destiladores solares de agua con convección natural y convección forzada. Ciudad de México. 2008.

En el movimiento de rotación de la tierra, la salida y el ocaso del sol en cualquier lugar del mundo es diferente, eso se puede destacar un proyecto realizado en la Universidad Católica Santa de María en el año 2015, se construyó un purificador de agua con seguimiento autónomo gracias a dos motorreductores DC (Figura 3), en el cual cada uno de estos motorreductores se encargaba de un grado de libertad (x, y) y de esta manera siguiendo la dirección del sol favoreciendo la recolección de la energía solar de 10% a un 40% más sobre un panel solar sin movimiento [4].

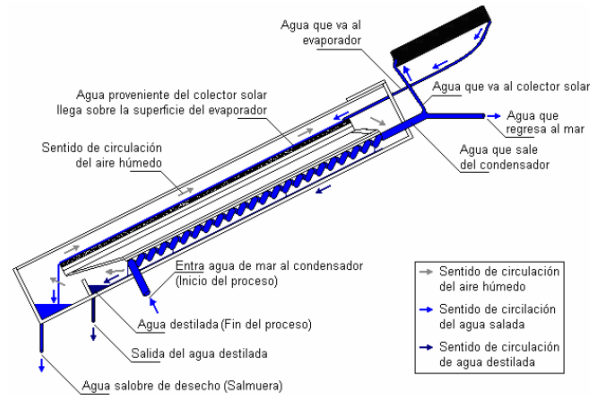
Figura 3. Motorreductores DC con dos grados de libertad.



Fuente: ZEBALLOS PAZ, Igor: Purificación del agua por condensación provocada por calentador automático seguidor solar con supervisión de mini-scada fast-tools. Arequipa. 2015.

El aprovechamiento de la fuerza gravitacional que ejerce la tierra sobre los objetos y la reacción de algunos materiales expuestos al calor, permitió que en la Universidad Simón Bolívar en el año 2006, diseñara un destilador de agua por medio de la presión ejercida por una bomba hidráulica, la cual impulsa el agua de mar hacia arriba siendo recibida por una bandeja donde el colector calienta el agua, haciéndola subir por una tubería con un serpentín de cobre en donde el agua llega a su punto de evaporación (Figura 4), diseños como estos demuestran que se pueden generar procesos sin malgastar energía [5].

Figura 4. Esquema de la planta de desalinización.



Fuente: NUNES DA SILVA, Jesús Alberto: Diseño conceptual de una planta portátil de desalinización de agua de mar con energía alterna. Sartenejas. 2006.

El efecto de termosifón es un fenómeno natural que se produce en los fluidos ya que al ser calentados se dilatan y disminuyen su densidad, caso a resaltar en la Universidad de Buenos Aires en el año 2011, se ponen en práctica este fenómeno con un diseño (Figura 5), en donde el vidrio que absorbe los rayos del sol está hecho de polimetacrilato de metilo, el cual retiene los rayos del sol para que de esta manera caliente un serpentín en forma de caracol, el diseño cuenta con una forma circular para que la radiación del sol pueda ser tomada en cualquier dirección [6].

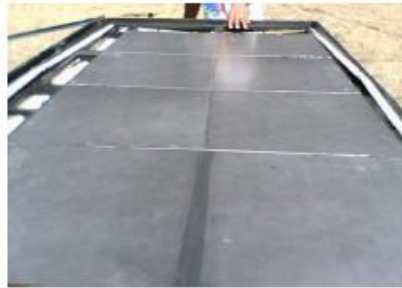
Figura 5. Fenómeno de termosifón.



Fuente: HOROWICZ, Lorena Yael; KLEIN, Silvana Alejandra: Potabilizador de agua para consumo familiar en zonas rurales. Buenos Aires. 2011.

En la Universidad del Salvador en el año 2012, se diseñó y construyó un equipo de destilación de agua tomando como fuente de calentamiento del agua el efecto invernadero que generaría al ser un sistema hermético, en la figura 6 se puede apreciar que el diseño cuenta con una base en cerámica de color negro, favoreciendo el calentamiento del agua por la captación de los rayos del sol y disminuyendo las pérdidas de calor por ser un material aislante [7, p. 19].

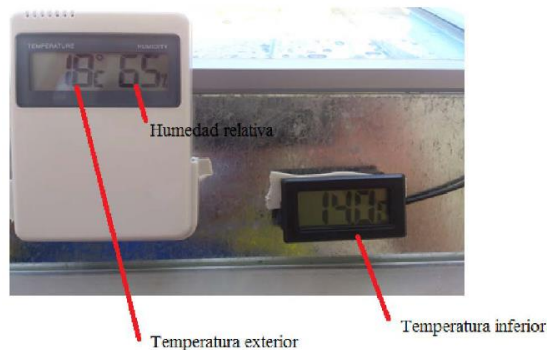
Figura 6. Esquema del prototipo en cerámica.



Fuente: HUEZO BAUTISTA, Francisco Rene; MORÁN URRUTIA, Jazmín Idalia: Diseño, construcción y validación de un destilador solar para uso en los laboratorios de la planta piloto de la escuela de ingeniería química. Ciudad Universitaria. 2012.

Los sensores digitales marcan una gran ayuda para la comparación entre los datos físicos y teóricos de una investigación, por eso en la Universidad Politécnica Salesiana en el año 2015 cabe resaltar que el destilador solar tipo caseta cuenta con medidores de humedad y temperatura los cuales garantizan la lectura de las condiciones externas e internas del sistema, en la figura 7 se puede apreciar los datos arrojados por el destilador con su humedad relativa, temperatura interna y del ambiente [8].

Figura 7. Termómetros del destilador.



Fuente: TABUADA MIRANDA, Bayron Roberto: Diseño y construcción de un destilador solar para agua de una capacidad de 200 ml/día para los laboratorios del civadi. Quito. 2015.

En la Universidad de Cartagena en el año 2015 se construyó un destilador tipo caseta el cual cuenta con dos recipientes que ayudan con el abastecimiento del sistema y la salida del producto terminado, además en la figura 8 se observa que cuenta con un sensor mecánico tipo flotador que cuando el nivel del agua este bajo, se activa y suministra agua del primer tanque, garantizando la cantidad necesaria para que este trabaje, sin necesidad de que el usuario intervenga en el proceso [9].

Figura 8. Prototipo de destilador con accionamiento por flotador.



Fuente: PÉREZ VANEGAS, Jhorsy Jorsy; SALAZAR ROMERO, Anabela: Análisis del comportamiento de un prototipo de destilador solar en la ciudad de Cartagena. Cartagena de Indias D. T y C. 2015.

La fibra de vidrio es un material que se usa para muchas aplicaciones como cámaras de sonido, extrusoras de monofilamento, refrigeradores entre otras, ya que sus propiedades físicas pueden aislar sonidos de una recamara a otra y contener temperaturas en lugares cerrados. Por lo cual este material fue aplicado en un proyecto de investigación publicado en la revista Tecnología Química, vol. XXIX, núm. 3 en el año 2009, donde se realizó un destilador de agua hecho a base de fibra de vidrio (Figura 9), el cual garantiza que el calor acumulado en la cámara de invernadero se concentre de una mejor manera y tenga una mejor eficiencia [10].

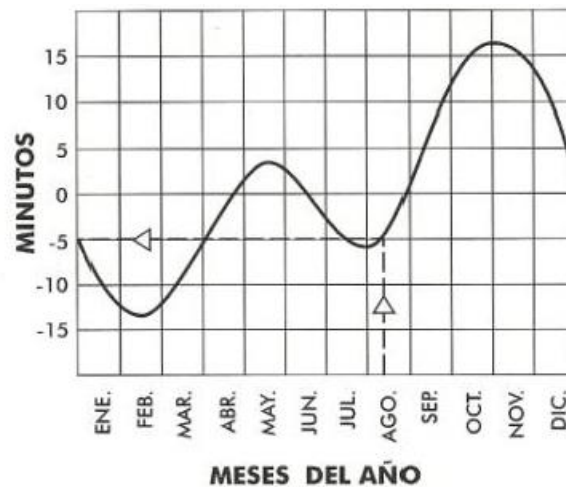
Figura 9. Destilador solar de fibra de vidrio.



Fuente: Susana Fonseca, S.F.F & Ángel Luis Brito Sauvanell, A.L.B.S & Ronald Andión Torres, R.A.T & Eider Perdomo Miranda, E.P.M & María Isabel Fernández Parra, M.I.F.P. (2009). Análisis exergético del destilador solar de bandeja de vidrio. REVISTA TECNOLOGIA QUIMICA UO, 29(3), 17-29.

En la Universidad Veracruzana en el año 2013 se desarrolló una investigación sobre un desalinizador de agua por medio de un panel fotovoltaico, cabe resaltar la importancia que el sol tiene sobre el comportamiento de la tierra en los meses del año, ya que cuando el sol está más cerca de la tierra esta se mueve más lento y cuando se aleja se mueve más rápido, variación que se puede apreciar en la figura 10 [11].

Figura 10. Grafica de corrección del tiempo.



Fuente: RUIZ ARCOS, José Manuel: *Desalinización de agua del mar mediante el uso de energía solar. Veracruz. 2013.*

En la ciudad de Bucaramanga la Universidad Industrial de Santander en el año 2012, realizó un colector solar de tubos al vacío que tiene como finalidad generar energía térmica, para que pueda ser aprovechada. En la figura 11 se puede apreciar el diseño implementado [12].

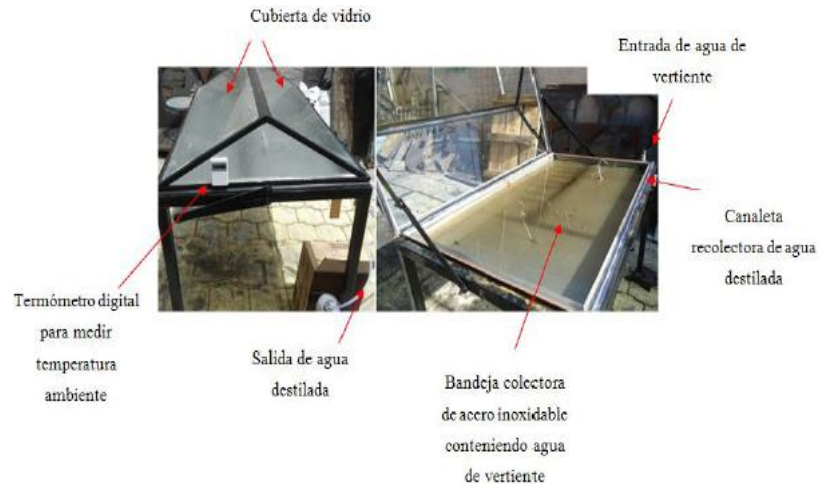
Figura 11. Colector solar tubos al vacío.



Fuente: JAIMES ARDILA, Nelson Eduardo: RIVERO GEREDA, Sergio Armando: *Diseño y construcción de un colector solar tubos al vacío. Bucaramanga. 2012.*

La Universidad politécnica salesiana ubicada en la ciudad de Quito en el año 2015, diseño un destilador para tratar aguas de una vertiente natural, mediante un colector de acero inoxidable que transfiere la energía térmica al agua a procesar, en la figura 12 se puede apreciar el diseño del destilador [13].

Figura 12. Destilador solar fabricado y partes principales.



Fuente: FLORES NICOLALDE, Raquel Carolina: Diseño y construcción de un prototipo de destilador de agua, utilizando energía solar. Quito. 2015.

En la Universidad Arturo Prat, en la ciudad de Iquique en el año 2013, se realizó un estudio para comparar el uso de dos tipos de destiladores que se requerían utilizar en el tratamiento de aguas del río Camiña en la región de Tarapacá, en Chile. En la figura 13 se puede apreciar el destilador convencional de cubierta simple inclinada y en la figura 14 el destilador de doble piso o doble efecto. Presentando las ventajas de costos que tiene el destilador convencional de cubierta simple inclinada respecto al de doble piso, además de que ambos poseen eficiencias muy parecidas [14].

Figura 13. Destilador de doble piso o doble efecto.



Fuente: CHÁVEZ YAVARA, Wladimi: Estudio de dos tipos de destiladores solares pasivos para el tratamiento de aguas del río Camiña en la región de Tarapacá. Iquique. 2013.

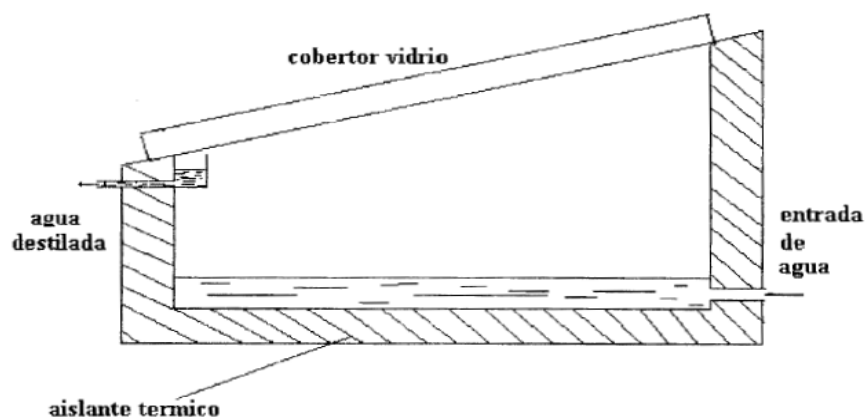
Figura 14. Destilador solar de cubierta simple inclinada.



Fuente: CHÁVEZ YAVARA, Wladimi: Estudio de dos tipos de destiladores solares pasivos para el tratamiento de aguas del río Camiña en la región de Tarapacá. Iquique. 2013.

En la Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil en el año 2002, se realizó un estudio de factibilidad de la implementación de un destilador solar como abastecedor de agua de bebida a partir de agua de mar para la base naval de Baltra, Galápagos. En donde se necesita que se destile más de 60.000 galones por mes y medio, ya que las personas que van a consumir el agua son alrededor de 50. En la figura 15 se puede apreciar el diseño del destilador, sus paredes fueron construidas en cemento que es un material que no se oxida y es de larga duración [15].

Figura 15. Destilador simple efecto una sola cubierta con canaletas de recolección de agua lluvia.



Fuente: MALDONADO ORTEGA, Edgar Alexander: Estudio de factibilidad de la implementación de un destilador solar como abastecedor de agua de bebida a partir de agua de mar para la base naval de Baltra, Galápagos. Guayaquil. 2002.

En la ciudad de Valparaíso, la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso en el año 2015, implementaron destiladores solares para la recuperación de agua que pasaba por procesos industriales dentro de la empresa Enaex, en la ciudad de Santiago de Chile. En la figura 16 se puede apreciar el diseño, este destilador utiliza Policarbonato compacto transparente con un espesor de 3mm como cubierta, material que deja pasar la luz emitida por el sol, concentrándola en el sistema [16].

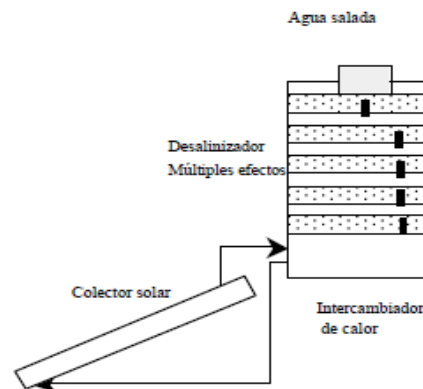
Figura 16. Prototipo de destilador solar terminado.



Fuente: PALLATE ROJAS, Constanza: Implementación de destiladores solares para la recuperación de agua desde piscinas de evaporación de Enaex planta Río Loa. Valparaíso. 2015.

En la revista de la Facultad de ingeniería Universidad de Tarapacá de la ciudad de Arica en el año 2003, se diseñó un desalinizador solar de múltiples efectos a alta temperatura (Figura 17), este trabaja con varias bandejas ubicadas una sobre otra, el calor de entrada es generado en un colector conectado al equipo desalinizador. Su construcción consta de una estructura de madera aislada térmicamente y en su interior está recubierta de acero inoxidable AISI 316L de 1mm de espesor [17].

Figura 17. Equipo desalinizador.



Fuente: Eduardo Gálvez Soto, E.G.S. & Pedro Roth Urban, P.R.U. & Klemens Schwarzer, K.S (2003). Desalinizador solar de múltiples efectos a la alta temperatura: Diseño, modelación y simulación. Facultad de ingeniería U.T.A. (chile), 11(2), 25-33.

En la unidad académica de ingeniería civil ubicada en la ciudad de Machala, en el año 2015 se diseñó y construyó un destilador solar (Figura 18) para potabilizar el agua con el fin de abastecer a una familia de 3 a 4 personas, desarrollando una aplicación para las familias de escasos recursos, se utilizó como base colector una bandeja de aluminio recubierta de pintura anticorrosiva de color negro facilitando la trasmisión de calor [18].

Figura 18. Destilador solar tipo techo pendiente.



Fuente: ALBAN ULLOA, José Alexander: Destilador solar para potabilizar el agua para una familia de 3 a 4 personas en el sitio bajo alto cantón el guabo provincia del oro. Machala. 2015.

En el Instituto Politécnico nacional de la ciudad de México en el año 2015, se diseñó un destilador solar destinado a la potabilización de agua de lluvia, en donde se utilizaron materiales de construcción como la bandeja colectora utilizando el material de acero inoxidable AISI 304, la cubierta de vidrio tuvo un tratamiento de templado con el fin de resistir grandes cantidades de calor, sin que este tuviera algún peligro de quebrarse por la exposición hacia grandes temperaturas de las cuales fue expuesta [19].

En el año 2015, en la Escuela Politécnica Nacional de la ciudad de Quito se diseñó un sistema automático de purificación de agua por medio de energía, reflexión solar y luz ultravioleta. En este proyecto se utilizó un sistema fotovoltaico para poder utilizar los diferentes sensores (Temperatura, nivel, luminosidad, posición), control de servomotores para que el colector se alineé de la mejor manera y de esta manera poder captar la mayor radiación solar disponible, llevando a cabo su proceso. En la figura 19 se puede apreciar el diseño del prototipo [20].

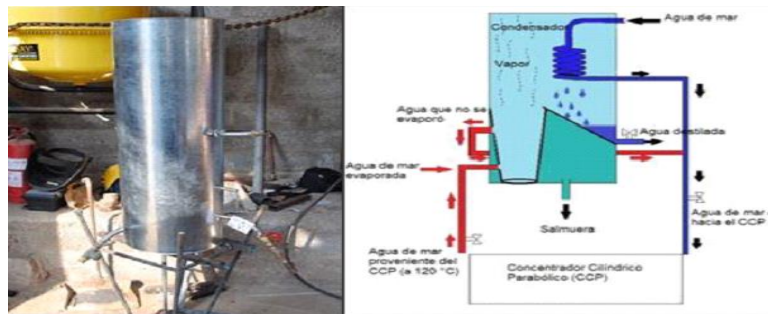
Figura 19. Sistema automático de purificación.



Fuente: LEMA CARRERA, Miguel Ángel: Diseño e implementación de un sistema automático de purificación de agua por medio de energía, reflexión solar y luz ultravioleta. Quito. 2015.

En la revista Avances en ciencia y en Ingeniería, estudiantes de Ingeniería química de la Universidad Católica del norte en el año 2015, estudiaron la evaluación de un sistema de desalinización solar tipo concentrador cilíndrico parabólico de agua de mar (Figura 20), el ciclo hecho en tubería de cobre tiene una sección en forma de serpentín donde se concentra la mayor cantidad de agua llevándola a tal punto de volverla vapor de agua, el condensado de este vapor es el agua limpia y procesada [21].

Figura 20. Destilador solar diseño y funcionamiento.



Fuente: Carolina Mercado, C.M. & Elizabeth Lam, E.L. (2015). Avances en ciencia e ingeniería. (2015). Evaluación de un sistema de desalinización solar, tipo concentrador cilíndrico parabólico de agua de mar, 6(4), 19 -27.

1.4.2 Marco normativo

Se requiere evaluar el agua procesada mediante el decreto número 1575 del 2007, el ministerio de protección social establece un sistema para la protección y control de la calidad del agua potable.

1.5 MARCO METODOLÓGICO

La metodología que se piensa aplicar el método de Investigación acción participativa, que tiene como fin unificar al grupo de investigación con la comunidad beneficiada. Con esta metodología el investigador conoce cuales son los requerimientos reales del proyecto con el fin de mejorar la calidad de vida a sus participantes [22].

Consta de tres fases que son:

- La fase inicial o de contacto, los investigadores tienen un acercamiento con la comunidad para que sean ellos los que analicen su realidad además de ayudar en el proceso de análisis acerca de qué problemas se tienen y como se pueden resolver.
- La fase intermedia o de elaboración del plan de acción en donde se asignan tareas y objetivos con el fin de llevar a cabo la investigación, se utilizan técnicas como:
 - Reuniones
 - Registros
 - Socio dramas
 - Entrevistas
 - Diálogos
 - Historias de vida
- La fase de ejecución y evaluación del estudio donde la comunidad comienza a participar en la solución del problema, por medio de opiniones para realizar los ajustes necesarios para lograr los objetivos propuestos.

1.6 RECURSOS

1.6.1 Recursos humanos

El diseño y construcción del destilador de agua salada fue desarrollado por dos estudiantes de Ingeniería Mecatrónica, junto con la ayuda del asesor asignado por el comité académico. Teniendo en cuenta la posibilidad de requerir una asesoría por cualquier docente de la Universidad Piloto de Colombia.

1.6.2 Recursos financieros

Para la construcción del prototipo se contó con un presupuesto de \$2.500.000 (Pesos colombianos), el cual fue invertido por los estudiantes investigadores, en la tabla 1 se puede observar los gastos en materiales de construcción, con un sobre costo de \$202.504 (Pesos colombianos).

Tabla 1. Inversión.

Componentes	Precio
Bandejas acero inoxidable	\$380.000,00
Vidrios	\$250.000,00
Resistencia	\$30.000,00
Fibra de vidrio	\$8.000,00
Filtro remineralizador	\$48.000,00
Panel fotovoltaico	\$221.965,00
Inversor	\$150.498,00
Regulador	\$156.548,00
Batería	\$267.493,00
Ángulo	\$30.000,00
Silicona de alta temperatura	\$160.000,00
Caucho	\$5.000,00
Dilatadores	\$30.000,00
Varilla roscada 6mm	\$5.000,00
Cable, terminales	\$2.000,00
Laca anticorrosivo	\$12.000,00
Llantas	\$16.000,00
Análisis de agua	\$160.000,00
Transporte	\$650.000,00
Bandeja de madera	\$20.000,00
Soporte de duraluminio	\$80.000,00
Tornillos y tuercas	\$20.000,00
Total	\$ 2.702.504,00

Fuente: Autores.

2. GENERALIDADES

2.1 GENERALIDADES DEL AGUA

Aproximadamente 1.100 millones de personas, es decir el 18 por ciento de la población mundial no tienen acceso a fuentes seguras de agua potable y más de 2.400 millones de personas carecen de saneamiento adecuado.

En los países tercermundistas cientos de personas mueren cada año a causa de enfermedades asociadas a la insuficiencia de agua potable y saneamiento inadecuado.

Esto se debe a la falta de inversión en sistemas de agua y a su inadecuado mantenimiento, además de esto se debe sumar las pérdidas que tiene los sistemas de abastecimiento debido a fugas, conexiones ilegales y vandalismo [23].

El agua es un compuesto indispensable ya que todos los seres vivos en la tierra están compuestos aproximadamente por 72% de este.

Es uno de los medios de disolución más frecuente de sustancias sólidas y gaseosas. Las aguas lluvias contienen ciertas cantidades de sustancias gaseosas, por ejemplo en un litro de agua a 10 centígrados puede contener:

- 0.0175 miligramos de nitrógeno.
- 0.0011 miligramos de oxígeno.
- 0.00073 miligramos de argón.
- 0.00068 miligramos de dióxido de carbono.
- Además helio, hidrógeno, emanación de radio, amoniaco, ácido nítrico, ácido sulfúrico, cloruros y sulfatos.

Las composiciones del agua de los océanos es relativamente similar con un contenido de sales de aproximadamente 3.5 % [24].

2.1.1 Métodos para purificar el agua

a. Sedimentación

Consiste en dejar en un contenedor el agua en reposo, para que los sólidos más densos se dirijan al fondo.

b. Desinfección

Hay dos métodos que se utilizan el primero es hervir el agua entre 85-90 °C con el fin de eliminar los microorganismos que contiene y el otro es añadir cloro. Para mejorarle el sabor se puede utilizar la oxigenación, que no es más que pasar de un envase a otro, varias veces.

c. Destilación

Separa los sólidos que están disueltos en los líquidos o gases mediante la evaporización y condensación. Este método aprovecha la diferencia que existe en las temperaturas de ebullición de cada sustancia.

d. Filtración

Se utiliza para separar los sólidos contenidos en el líquido, mediante varias capas (filtro), se utilizan después de la sedimentación para eliminar las sustancias que no salieron del agua durante su decantación.

2.1.2 Tipos de agua

Las condiciones ambientales y sanitarias a las que se encuentran sometida el agua por diferentes procesos pueden generar distintos tipos expuestos en la tabla 2.

Tabla 2. Tipos de agua.

TIPO	CARACTERISTICAS
Aguas muertas	Aguas en estado de escasa o nula circulación, generalmente con déficit de oxígeno.
Aguas negras	Agua de abastecimiento de una comunidad después de haber sido contaminada por diversos usos. Puede ser una combinación de residuos, líquidos o en suspensión, de tipo doméstico, municipal e industrial, junto con las aguas subterráneas, superficiales y de lluvia que puedan estar presentes.
Aguas residuales municipales	Residuos líquidos, originados por una comunidad, formados posiblemente aguas residuales domésticas o descargas industriales.
Aguas residuales	Fluidos residuales en un sistema de alcantarillado. El gasto o agua usada por una casa, una comunidad, una granja, o industria que contiene materia orgánica disuelta o suspendida.
Aguas grises	Aguas domésticas residuales compuestas por agua de lavar procedente de la cocina, cuarto de baño, aguas de los fregaderos, y lavaderos.
Agua bruta	Agua que no ha recibido tratamiento de ningún tipo, o agua que entra en una planta para su ulterior tratamiento.

Agua dura	Agua que contiene un gran número de iones positivos. La dureza está determinada por el número de átomos de calcio y magnesio presentes. El jabón generalmente se disuelve malamente en las aguas duras.
Agua blanda	Agua sin dureza significativa.
Agua salada	Agua en la que la concentración de sales es relativamente alta (más de 10 000 mg/L).
Agua salobre	Agua que contiene sal en una proporción significativamente menor que el agua marina. La concentración del total de sales disueltas está generalmente comprendida entre 1000 - 10 000 mg/L. Este tipo de agua no está contenida entre las categorías de agua salada y agua dulce.
Agua alcalina	Agua cuyo pH es superior a 7.
Agua dulce	Agua natural con una baja concentración de sales, o generalmente considerada adecuada, previo tratamiento, para producir agua potable.
Agua potable	Agua que puede ser consumida por personas y animales sin riesgo de contraer enfermedades.

*Fuente: Cuido el agua .Tipos de agua.
<http://www.cuidoelagua.org/empapate/origendelagua/tiposagua.html>.*

El estudio sobre la calidad del agua, permite determinar los parámetros mínimos que debe cumplir para que sea consumible, de acuerdo con esto el estado colombiano en conjunto con los ministerios de ambiente, vivienda, desarrollo territorial y protección social, emitieron en el establecido decreto 1575 del año 2007.

2.1.3 Normas de calidad del agua para el consumo humano

Desde 1984 con la emisión del decreto 1594 se determinaron los criterios necesarios para que las fuentes hídricas puedan ser usadas en:

- Consumo humano
- Preservación de flora y fauna
- Agrícola
- Recreativo
- Industrial
- Transporte
- Pecuario

La resolución 1096 de 2000 (RAS) tiene los lineamientos que definen los tratamientos de aguas aptas para el consumo humano (Figura 21), determinando el estado de la más aceptable a la más deficiente de acuerdo con su grado de contaminación.

Figura 21. Parámetros para los diferentes niveles de calidad establecidos en el RAS.

Parámetros	Nivel de calidad de acuerdo al grado de polución			
	1. Fuente aceptable	2. Fuente regular	3. Fuente deficiente	4. Fuente muy deficiente
DBO5 Promedio mensual mg/L	≤ 1.5	1.5 - 2.5	2.5 - 4	>4
DBO5 Máximo diario mg/L	1 - 3	3 - 4	4 - 6	>6
Coliformes totales (NMP/100 mL)				
Promedio mensual	0 - 50	50 - 500	500 - 5000	>5000
Oxígeno disuelto mg/L	≥4	≥4	≥4	<4
pH promedio	6.0 - 8.5	5.0 - 9.0	3.8 - 10.5	
Turbiedad (UNT)	<2	2 - 40	40 - 150	≥ 150
Color verdadero (UPC)	<10	10 - 20	20 - 40	≥ 40
Gusto y olor	Inofensivo	Inofensivo	Inofensivo	Inaceptable
Cloruros (mg/L - Cl)	< 50	50 - 150	150 - 200	300
Fluoruros (mg/L - F)	<1.2	<1.2	<1.2	>1.7
GRADO DE TRATAMIENTO				
Necesita un tratamiento convencional	NO	NO	Si, hay veces (ver requisitos para uso FLDE: literal C.7.4.3.3)	SI
Necesita unos tratamientos específicos	NO	NO	NO	SI
Procesos de tratamiento utilizados	(1) = Desinfección + Estabilización	(2) = Filtración Lenta o Filtración Directa + (1)	(3) = Pretratamiento + [Coagulación + Sedimentación + filtración Rápida] o [Filtración Lenta Diversas Etapas] + (1)	(4) = (3) + Tratamientos específicos

Fuente: Contraloría general de la república. Estado de los recursos naturales y del medio ambiente. Bogotá. 2008.

En el decreto 2115 del 2007, se definieron los parámetros de la calidad de agua apta para consumo humano (Figura 22 y Figura 23).

Figura 22. Parámetros que definen la calidad del agua para consumo humano.

Parámetros que definen la calidad del agua para consumo humano					
Características	Expresadas como	Decreto 475 de 1998 Valor admisible (mg/l)		Resolución 2115 de 2007	
		Agua potable	Agua segura	Agua para consumo humano	
Criterios organolépticos y físicos (Art.7,36)	Color Verdadero	Unidades de Platino Cobalto (UPC)	< 15	<25	15 (a)
	Olor y sabor	-	Aceptable	Aceptable	Aceptable
	Turbiedad	Unidades nefelométricas de turbidez (UNT)	< 5	< 5	2
	Sólidos Totales	mg/L	< 500	< 1.000	
	Conductividad	microohms/cm	50 - 1.000	< 1.500	< 1.000
	Sustancias Flotantes	-	Ausentes	Aceptable	
(Art. 8, 38) con implicaciones económicas	Aluminio	Al	0,2	2	0,2 (b)
	Antimonio	Sb	0,005	0,02	0,02
	Arsénico	As	0,01	0,05	0,01
	Bario	Ba	0,5	1	0,7
	Boro	B	0,3	1	
	Cadmio	Cd	0,003	0,005	0,003
	Cianuro libre y disociable	CN-	0,05	0,1	0,05
	Cianuro total	CN-	0,1	0,2	
	Cloroformo	CHCl3	0,03	0,7	
	Cobre	Cu	1	2	1,0
	Cromo Hexavalente	Cr+6	0,01	0,025	0,05 (c)
	Fenoles totales	Fenol	0,001	0,01	
	Mercurio	Hg	0,001	0,002	0,001
	Molibdeno	Mo	0,07	0,2	0,07
	Níquel	Ni	0,02	0,1	0,02
	Nitritos	NO2	0,1	1,0	0,1
	Nitratos	NO3	10	10	10
	Plata	Ag	0,01	0,05	
	Plomo	Pb	0,01	0,02	0,01
	Selenio	Se	0,01	0,015	0,01

continúa en la página siguiente...

Fuente: Contraloría general de la república. Estado de los recursos naturales y del medio ambiente. Bogotá. 2008.

Figura 23. Parámetros que definen la calidad del agua para consumo humano.

Parámetros que definen la calidad del agua para consumo humano				
Características	Expresadas como	Decreto 475 de 1998 Valor admisible (mg/l)		Resolución 2115 de 2007
		Agua potable	Agua segura	Agua para consumo humano
Sustancias activas al azul de metileno	ABS	0,5	0,7	
Grasas y aceites	-	Ausentes	Ausente	
Trihalometanos Totales	THMs	0,1	< 1	0,2
Calcio	Ca	60	100	60
Acidez	CaCO ₃	50	60	
Hidróxidos	CaCO ₃	<LD	<LD	
Alcalinidad Total	CaCO	100	120	200 (d)
Cloruros	Cl	250	300	250
Dureza Total	CaCO ₃	160	180	300
Hierro Total	Fe	0,3	0,5	0,3
Magnesio	Mg	36	60	36
Manganeso	Mn	0,1	0,15	0,1
Sulfatos	SO ₄ -2	250	350	250
Zinc	Zn	5	10	3
Fluoruros	F	1,2	1,7	1,0
Fosfatos	PO ₄ -3			0,5
Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAP)	HAP	0,2	0,4	0,01
Carbón Orgánico Total	COT			5,0
Calcio	Ca			60
Otros (Art. 9, 10, 38, 39)	pH	unidades	6,5 - 9,0	6,5 - 9,0
	Cloro residual	mg/L	0,2 - 1,0	0,3 - 1,3
Microbiológicas (Art. 25)	Coliformes totales microorganismos/100 cm ³	UFC/100 cm ³ / 0	0	0
	Escherichia coli microorganismos/100 cm ³	UFC/100 cm ³ / 0	0	0

(a) Color Aparente; (b) Al³⁺; (c) Cromo total; (d) CaCO₃.

Fuente: CGR – CDMA.

Fuente: Contraloría general de la república. Estado de los recursos naturales y del medio ambiente. Bogotá. 2008.

2.1.4 Abastecimiento de aguas en Colombia

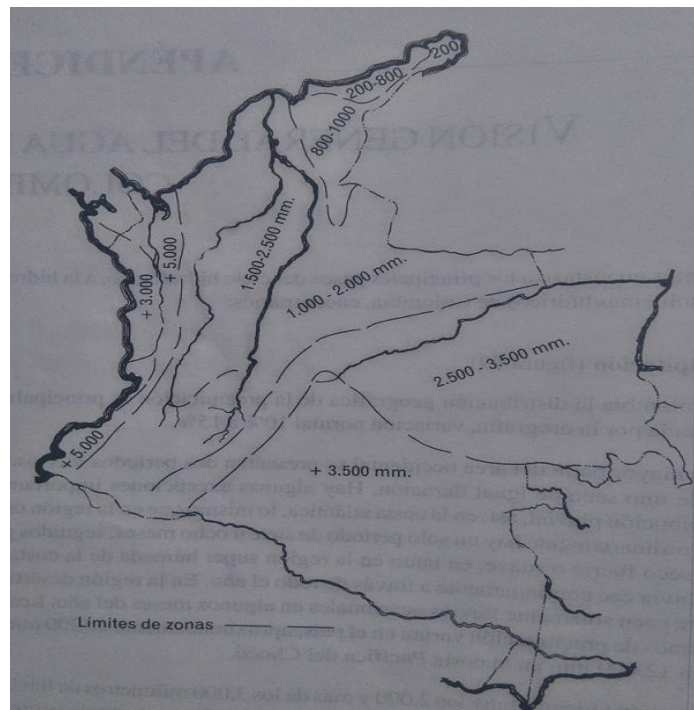
La distribución geográfica de la precipitación de aguas en Colombia es obtenida por la influencia de la orografía, la cual tiene una variación normal de 10% a 15%.

En la parte occidental de nuestro país se presentan dos períodos lluviosos, seguido de uno seco de igual duración, en esta distribución pluvial existen ciertas excepciones aun así en la costa Atlántica y en la región oriental del país, solo se presenta un solo período de siete a ocho meses, seguido de igual manera por un período seco suave o fuerte, en cuanto a la región bastante humedad del territorio colombiano hacia la costa pacífica, la lluvia es constante durante todo el año.

Hacia el departamento de la Guajira llueve ocasionalmente en algunos meses, los valores de precipitación del país cambian de 200mm en la Guajira a 13.000 mm en la costa pacífica, y en la región oriental entre los 2000 y más de 3000 milímetros de lluvia, esto se puede apreciar en la figura 24.

En cuanto a la humedad relativa media anual también cambia ampliamente del 40% al 100%, pero en la mayoría de las áreas, las probabilidades son del 70% al 80%. En la mayoría de las regiones húmedas, la nubosidad es intensa pero generalmente la luminosidad en todo el territorio colombiano es alta [24, p. 35].

Figura 24. Precipitación en Colombia.



Fuente: PRIETO BOLIVAR, Carlos Jaime; *El agua: sus formas, efectos, abastecimiento, usos, daño, control y conservación*. Bogotá. 2004.

2.1.5 Encuesta para determinar el consumo de agua potable en un núcleo familiar

Para determinar las necesidades de agua potable en una vivienda ubicada en zonas costeras de Colombia, se realizó una encuesta (Anexo B).

Los resultados obtenidos en la encuesta (Tabla 3) realizada en 10 viviendas ubicadas en el municipio de Juan de Acosta (Atlántico), se observó que existe una necesidad frente a este recurso vital.

Tabla 3. Resultados de la encuesta realizada en el municipio Juan de Acosta.

RESULTADOS DE LA ENCUESTA REALIZADA EN EL MUNICIPIO JUAN DE ACOSTA				
PROMEDIO DE CANTIDAD DE HABITANTES POR VIVIENDA	4.8 ≈ 5			
¿LA CALIDAD DE AGUA ES POTABLE?	SI		NO	
	5		5	
¿ALGUNA VEZ SE HA ENFERMADO POR BEBER AGUA DE LA LLAVE?	SI		NO	
	1		9	
¿QUE MÉTODOS UTILIZA PARA PURIFICAR EL AGUA?	HERVIR AGUA	FILTRO PURIFICADOR	AGUA EMBASADA	NINGÚN MÉTODO
	4	4	1	1
¿RECOLECTA USTED AGUAS LLUVIAS?	SI		NO	
	1		9	
CONSUMO DE AGUA DIARIO	COCINAR	ASEO PERSONAL	LIMPIEZA DE VIVIENDA	OTROS
	10	10	10	- plantas - vehículos
¿QUE ESTRATEGIAS INPLEMENTA PARA AHORRAR AGUA?	TANQUE DE ALACENAMIENTO		REUTILIZACIÓN DE AGUA EN BAÑOS Y PISOS	NINGUNA ESTRATEGIA
	4		3	3

Fuente: Autores.

2.1.6 Consumo de agua potable por habitante

Según la organización mundial de la salud, estableció una guía para determinar la cantidad de agua necesaria para cada ser humano (Figura 25).

Figura 25. Consumo doméstico del agua.



Fuente: Organización mundial de la salud (OMS); Organización panamericana de la salud (OPS/OMS). Consumo doméstico del agua. 2009.

En la tabla 4, se puede apreciar la necesidad básica requerida para una persona [25].

Tabla 4. Cantidad mínima de agua.

CANTIDAD MÍNIMA DE AGUA		
CUOTA	LITROS DE AGUA DIARIA	NECESIDAD
Cuota mínima de supervivencia (sostenible solo por pocos días)	7 litros de agua diaria por persona.	<ul style="list-style-type: none"> • Para beber 3 a 4 litros por persona. • Para preparación de comida 2 a 3 litros por persona.
Cuota a mediano plazo (sostenible por unos pocos meses)	15 a 20 litros de agua diaria por persona.	<ul style="list-style-type: none"> • Para beber 3 a 4 litros por persona. • Para preparación de comida 2 a 3 litros por persona. • Para higiene personal 6 a 7 litros diarios por persona. • Para lavado de ropa 4 a 6 litros diarios por persona.

Fuente: Organización mundial de la salud (OMS); Organización panamericana de la salud (OPS/OMS). Consumo doméstico del agua. 2009.

Hay que tener en cuenta que la función del dispositivo es abastecer las necesidades para una familia de 4 personas, dentro de las necesidades se tiene en cuenta la preparación de alimentos y el aseo personal con buenas prácticas de ahorro.

$$\text{Consumo familiar} = 4 * 7L$$

$$\text{Consumo familiar} = 28 L * \text{día}$$

Una de las limitaciones de este sistema es el factor económico, por lo que se considera fabricar el diseño a escala 1:50.

$$\text{Agua procesada} = \frac{28 L * \text{día}}{50}$$

$$\text{Agua procesada} = 560 \text{ cm}^3$$

$$\text{Agua procesada} = 0.56 L$$

2.2 PROCESOS DE DESALINIZACIÓN EXISTENTES

Los procesos de desalinización se pueden clasificar en dos grandes grupos:

2.2.1 Por cambio de fase (Energía térmica)

- Destilación solar.
- Congelación.
- Compresión de vapor.

2.2.2 Sin cambio de fase (Energía mecánica)

- Ósmosis inversa.
- Electrodialisis.

En la tabla 5, se determinaron las ventajas y desventajas de cada uno de los sistemas con el fin de escoger el más adecuado para la aplicación del prototipo.

Tabla 5. Métodos para desalinizar agua de mar.

MÉTODOS PARA DESALINIZAR EL AGUA DE MAR		
MÉTODO	VENTAJAS	DESVENTAJAS
ÓSMOSIS INVERSA	<ul style="list-style-type: none"> - Tiene aplicación industrial. - Produce grandes cantidades de agua. - El agua a tratar no necesita cambio de fase. 	<ul style="list-style-type: none"> - Requiere una alta inversión económica. - Necesita de bombas hidráulicas de alta presión. - Consumo alto de energía eléctrica.
ELECTRODIÁLISIS	<ul style="list-style-type: none"> - El agua a tratar no necesita cambio de fase. - Su desalinización es segura por sus cargas de iones para la obtención de la sal o salmuera. 	<ul style="list-style-type: none"> - Requiere de un riguroso tratamiento de filtrado. - Dependen de energía eléctrica para su funcionamiento. - Materiales de construcción costosos.
CONGELACIÓN	<ul style="list-style-type: none"> - Requiere en promedio 4 veces menos energía que los demás métodos. 	<ul style="list-style-type: none"> - Depende de una bomba centrífuga. - Su estudio no está muy avanzado.

COMPRESIÓN DE VAPOR	<ul style="list-style-type: none"> - Su aplicación puede ser tanto industrial como doméstica. 	<ul style="list-style-type: none"> - Requiere de una presión mecánica o una fuente de vapor externa. - Requiere una gran cantidad de energía para su proceso. - Materiales de construcción costosos.
DESTILACIÓN SOLAR	<ul style="list-style-type: none"> - Aplicación doméstica. - No necesita energía eléctrica para su funcionamiento. - Materiales de construcción son económicos. 	<ul style="list-style-type: none"> - Desaliniza de 1 a 4 litros por día. - Durabilidad está entre 5 a 10 años debido a la exposición de la carcasa condensadora al medio ambiente. - La mano de obra es costosa. - Su eficiencia máxima es de solo el 53%.

Fuente: MOYA ZARZ, Eduardo. Actos de I y II seminario del agua. Desalinización de agua del mar mediante energías renovables. Pág. 199-226.

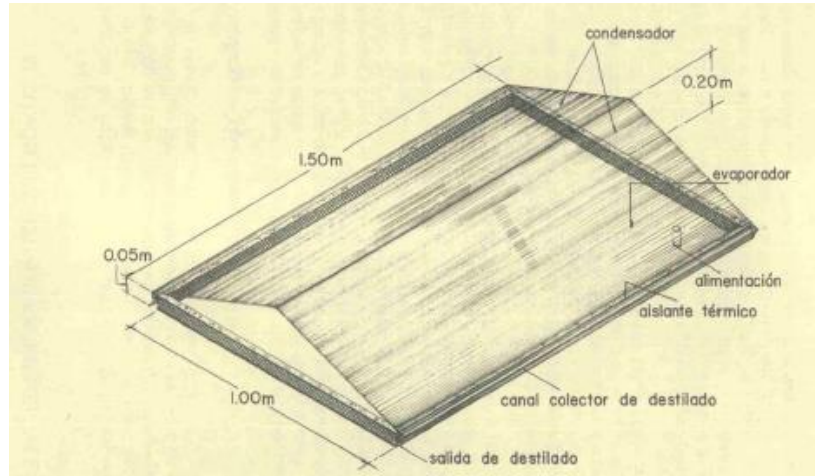
2.3 TIPOS DE DESTILADORES SOLARES

2.3.1 Destilador solar tipo caseta

Es el prototipo más adecuado para suministrar pequeños volúmenes de agua destilada a escala familiar (Figura 26). Su funcionamiento consta de tres partes importantes que son:

- a. **El colector**, es la base pintada de color negro mate para evitar la reflexión de la radiación solar.
- b. **La carcasa condensadora**, tiene como función recolectar el vapor de agua generado por el colector y condensarlo.
- c. **Canaleta**, donde se va a recolectar el agua procesada.

Figura 26. Destilador Solar tipo caseta.



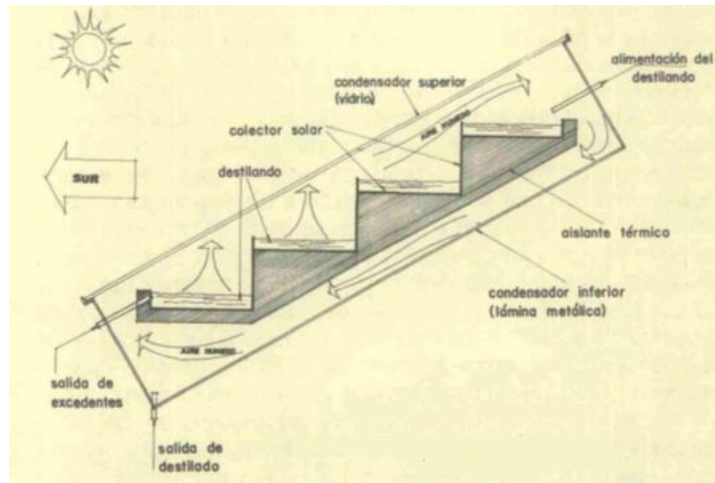
Fuente: HERMOSILLO VILLALOBOS, Juan José: Destilación solar. Guadalajara. 1989.

2.3.2 Destilador solar tipo escalera

Consta de varias bandejas a diferentes alturas en forma de escalera. La posición inclinada facilita la convección del aire húmedo en su interior, que sube al ser evaporado por el colector y baja al condensarse.

Su alimentación es en forma de cascada, comenzando por la bandeja superior, que al rebosar su nivel, pasa a la bandeja inferior y así sucesivamente hasta llegar a la última (Figura 27).

Figura 27. Destilador tipo escalera.

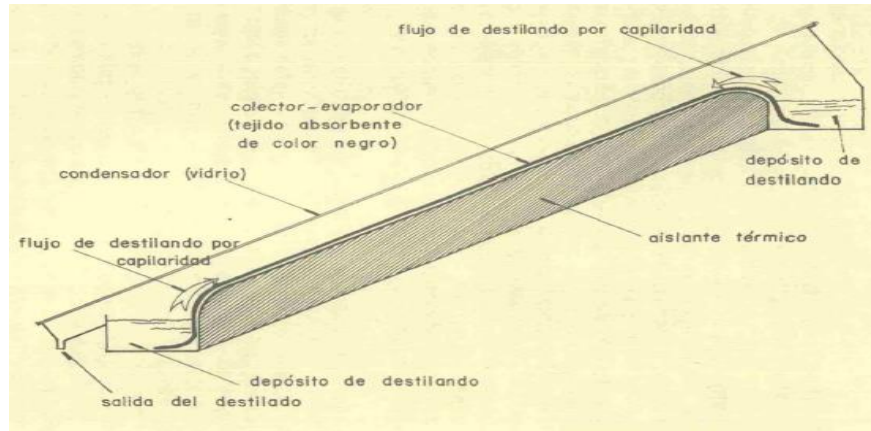


Fuente: HERMOSILLO VILLALOBOS, Juan José: Destilación solar. Guadalajara. 1989.

2.3.3 Destilador solar con evaporador de tela

Su funcionamiento depende de una tela teñida de color negro que funciona como colector solar. La tela se mantiene humedecida mediante un depósito que puede ser ubicado en la parte superior o inferior, se evapora por acción de la radiación solar, con ayuda de una cubierta de vidrio se condensa. En la figura 28 se puede apreciar el diseño de este tipo de destilador.

Figura 28. Destilador solar con evaporador de tela.

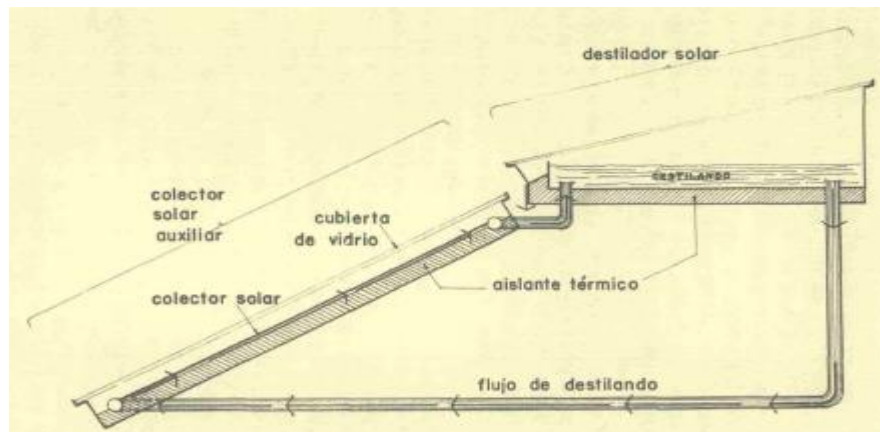


Fuente: HERMOSILLO VILLALOBOS, Juan José: Destilación solar. Guadalajara. 1989.

2.3.4 Destilador solar con colector solar auxiliar

Este modelo utiliza dos colectores solares, el primario tiene la función de calentar el agua y el secundario de evaporarla (Figura 29).

Figura 29. Destilador solar con colector solar auxiliar.



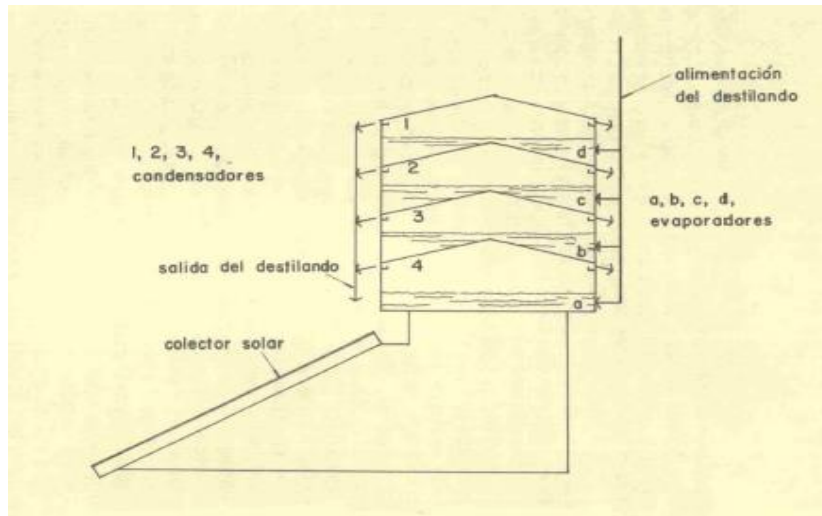
Fuente: HERMOSILLO VILLALOBOS, Juan José: Destilación solar. Guadalajara. 1989.

2.3.5 Destilador solar múltiple efecto

Se sabe que el calor trasferido por el vapor de agua al condensarse se pierde, pero por medio de este modelo se pretende aprovechar ese calor cedido. El diseño consiste en tener varias bandejas a diferentes temperaturas, para así transferir el flujo de calor de la bandeja más caliente en donde se produce el efecto de evaporación deseado a la más fría.

En la figura 30 se puede observar que las carcassas están unidas verticalmente lo cual facilita la transferencia de calor de la siguiente manera, la carcassas de la primera bandeja no transfiere su calor al ambiente, sino a la segunda bandeja y así sucesivamente. Obteniendo un incremento en su eficiencia.

Figura 30. Destilador solar múltiple efecto.



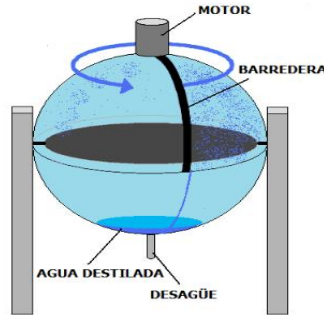
Fuente: HERMOSILLO VILLALOBOS, Juan José: Destilación solar. Guadalajara. 1989.

2.3.6 Destilador Solar Esférico

Este modelo (Figura 31), tiene como ventaja eliminar el problema de la luz reflejada por las gotas de agua que se forman en la carcassas condensadora de un destilador solar convencional, mediante un motor eléctrico que hace girar un elemento limpiador semejante a los que se utilizan en los parabrisas de los automóviles.

Lo que permite forzar el escurrimiento de las gotas de agua en la carcassas y tener una mejor colección de energía solar.

Figura 31. Destilador solar esférico.



Fuente: Sitio solar. Los destiladores solares. <http://www.sitiosolar.com/los-destiladores-solares/>.

2.4 GENERALIDADES DE ENERGÍA

La energía es una propiedad de la materia que utiliza para cambiar su forma o estado. El trabajo es la fuerza que se aplica para producir un desplazamiento, se puede hallar mediante la siguiente fórmula:

$$T = \vec{F} * \vec{\Delta S}$$

Donde:

\vec{F} : Magnitud de la fuerza aplicada $\vec{\Delta S}$: Magnitud de desplazamiento

La unidad de trabajo se puede representar en Julios, por definición un Julio es el trabajo que se realiza cuando la fuerza es de un Newton para desplazar la distancia de un metro.

La potencia se define como el trabajo realizado por unidad de tiempo mediante la siguiente fórmula:

$$P = \frac{T}{t}$$

Donde:

$T = Trabajo.$

$t = Tiempo.$

2.4.1 Tipos de energía

Las fuentes de energía se pueden clasificar en dos grandes grupos:

- a. **Energía no renovable**, se encuentran en la naturaleza con capacidad limitada. Se pueden dividir en combustibles fósiles y en combustibles nucleares [26].
- b. **Energía renovable**, su fuente es inagotable ya que se regeneran naturalmente [27]. Entre ellas están:

- **Energía hidráulica**
- **Energía solar**
- **Energía eólica**
- **Energía geotérmica**
- **Energía mareomotriz**
- **Energía undimotriz**
- **Biomasa**

2.5 GENERALIDADES DE LA ENERGÍA SOLAR

El sol se denomina un cuerpo negro a una temperatura aproximada de 5.762 K, este se encuentra a una distancia aproximada de 150 millones de kilómetros.

La energía que emite desde su núcleo, se obtiene de una fusión termonuclear en donde el hidrógeno se transforma en helio, esa energía se transporta por medio de radiación electromagnética y plasma [28].

2.5.1 Constante solar (Gsc)

La Irradiancia promedio que incide en la superficie de la atmósfera terrestre ha sido denominada como la **constante solar (Gsc)**.

$$G_{sc} = 1367 \frac{W}{m^2}$$

Puede tener variaciones por cambios de la distancia Tierra-Sol ya que la órbita de la Tierra-Sol es elíptica.

2.5.2 Distancia promedio tierra-sol

Debido a que el movimiento de la tierra alrededor del Sol es elíptica, se ha definido una distancia promedio por medio de la unidad astronómica (U.A.) que equivale a:

$$\text{Distancia promedio Tierra - Sol} = 149.46 * 10^6 \text{ km} = 1 \text{ U.A.}$$

2.5.3 Posición angular de la Tierra

La posición angular de la tierra es un parámetro importante para analizar qué tan cerca o lejos se encuentra la tierra del sol, para llevar a cabo ese cálculo se utiliza la siguiente ecuación:

$$\alpha = \frac{2\pi(nd - 1)}{365}$$

Donde:

$nd =$ Número del día del año.

2.5.4 Distancia Tierra-Sol para cálculos radiométricos

La distancia exacta de la tierra respecto al sol dependiendo del día del año se puede hallar mediante la siguiente ecuación:

$$\left(\frac{R_0}{R}\right)^2 = 1,00011 + 0,034221\cos\alpha + 0,00128\sen\alpha + 0,000719\cos 2\alpha + 0,000077\sen 2\alpha$$

Donde:

$\alpha =$ Posición angular de la tierra.

2.5.5 Radiación solar

Es la energía emitida por el núcleo del Sol que se propaga en todas las direcciones mediante ondas electromagnéticas y partículas. Se puede clasificar en:

- a. **Radiación difusa**, es la que sufre cambios de dirección debido a la reflexión y difusión que se produce por cambios en la atmósfera.
- b. **Radiación directa**, es la radiación recibida del sol sin que exista una desviación por la atmósfera.
- c. **Albedo**, es la radiación que se produce por la reflexión en el suelo y en otras superficies próximas.

Para medir la radiación solar se pueden utilizar dos conceptos que son:

- a. **Irradiancia**: Se denomina como la potencia de energía obtenida por unidad de área.

$$\text{Irradiancia} = \frac{\text{Potencia} \left[\frac{W}{m^2} \right]}{\text{Area}}$$

- b. **Irradiación**: Se denomina la energía obtenida por unidad de área teniendo en cuenta el tiempo.

$$\text{Irradiación} = \frac{\text{Energía} \left[\frac{W * h}{m^2} \right]}{\text{Area}}$$

La energía es transportada mediante ondas electromagnéticas de diferentes longitudes de ondas, se presenta en un rango de:

$$0.38\mu m < \lambda < 1.9\mu m$$

Se puede clasificar en tres grupos:

- La región ultravioleta ($\lambda < 0.38 \mu m$).
- La región visible ($0.38 \mu m < \lambda < 0.78 \mu m$).
- La región del infrarrojo ($\lambda > 0.78 \mu m$).

La energía incidente total en la Tierra está compuesta por:

- 7% Ultravioleta.
- 47.3% Visible.
- 45.7% Infrarrojo.

2.5.6 Variables necesarias para el estudio de la radiación solar

Se deben tener en cuenta los siguientes conceptos:

a. Latitud del lugar (ϕ)

Se define como el ángulo que se forma con respecto al plano del Ecuador, este valor es positivo cuando el lugar se encuentra al norte de la línea del Ecuador y es negativo cuando se encuentra al sur del Ecuador. El rango de la latitud está comprendido en:

$$-90^\circ \leq \phi \leq 90^\circ$$

b. La declinación solar (δ)

Es el ángulo formado por la línea del sol, la tierra y el plano del Ecuador.

$$\delta = 23.45 * \text{sen} \left(\frac{360 * (284 + n)}{365} \right)$$

Donde:

$n =$ Número del día del año ($1 < n < 365$).

Tabla 6. Estaciones.

Etapas	Fechas	Declinación
Equinoccio de Primavera	21 de Marzo	0°
Solsticio de Verano	21-22 de Junio (Día más largo del año)	+23.45°
Equinoccio de Otoño	23 de Septiembre	0°
Solsticio de Invierno	21-22 de Diciembre (Día más corto del año)	-23.45°

Fuente: IDEAM. Atlas de radiación solar de Colombia. Bogotá. 2005.

- **Solsticio:** Parada prolongada del Sol
- **Equinoccio:** Día y noche igual

c. Altura solar

Es la distancia angular entre el horizonte del observador en la tierra y el sol, está definida por la expresión:

$$h = \arcsen [\sen\phi * \sen\delta + \cos\phi * \cos\delta * \cos\alpha]$$

d. El ángulo horario (ω)

Es el desplazamiento angular del sol, debido a la rotación de la tierra alrededor de su eje.

$$\omega < 0^\circ \text{ en la mañana}$$

$$\omega > 0^\circ \text{ en la tarde}$$

$$\omega = -90^\circ \text{ Amanecer}$$

$$\omega = 90^\circ \text{ Atardecer}$$

e. Inclinación β (Beta):

Es la pendiente del plano sobre el cual incide la radiación inclinación respecto de la horizontal.

$$0^\circ \leq \beta \leq 90^\circ \text{ Superficie mirando hacia arriba}$$

$$90^\circ \leq \beta \leq 180^\circ \text{ Superficie mirando hacia abajo}$$

f. Ángulo del ocaso (W_s)

Es el ángulo por el cual el sol desaparece en un día:

$$W_s = \min [\arccos (-\tan\phi * \tan\delta), \arccos(-\tan(\phi - \beta)\tan\delta)]$$

Donde:

ϕ : Latitud del lugar.

δ : Declinación solar.

g. Horas teóricas

Son las horas en la que el sol transmite radiación solar activa, dependiendo del lugar donde este:

$$N = \frac{2}{15} * \omega_s$$

Donde:

ω_s : Ángulo del ocaso.

h. Factor Rb de medición de pérdida por el cambio de ángulo de incidencia de radiación solar en el transcurso del día.

$$Rb = \frac{[Sen\delta * Sen(\phi - \theta) * (t_2 - t_1)] + \left[\frac{12}{\pi} * Cos\delta * Cos(\phi - \theta) * [Sen(15t_1) - Sen(15t_2)] \right]}{[Sen\delta * Sen\phi * (t_2 - t_1)] + \left[\frac{12}{\pi} * Cos\delta * Cos\phi * [Sen(15t_1) - Sen(15t_2)] \right]}$$

Donde:

θ : Ángulo de inclinación de la cubierta (30° ideal).

ϕ : Latitud.

t_1 : Tiempo inicial medido 9am.

t_2 : Tiempo final medido 4pm.

δ : Ángulo de declinación Solar.

i. Índice de claridad horario (K_T)

Esta variable determina que tanta radiación deja pasar la atmósfera terrestre.

$$K_T = \frac{I}{I_0}$$

Donde:

I : Radiación global horaria.

I_0 : Radiación Solar extraterrestre horaria en superficie horizontal.

j. Radiación solar extraterrestre horaria en una superficie horizontal (I_0)

Es la radiación que incide en la atmósfera terrestre.

$$I_0 = [GSC * e_o * Sen\delta * Sen\phi * (t_2 - t_1)] + \left[\frac{12}{\pi} * Cos\delta * Cos\phi * (Sen15t_1 - Sen15t_2) \right]$$

Donde:

e_o : Corrección por excentricidad.

I_0 : Radiación solar extraterrestre horaria en superficie horizontal.

GSC: Constante solar.

ϕ : Latitud.

t_1 : Tiempo inicial medido 9am.

t_2 : Tiempo inicial medido 4pm.

δ : Declinación Solar.

k. Irradiación diaria solar promedio terrestre sobre superficie horizontal (I)

Es el resultado de la suma de la radiación directa y radiación difusa. Depende de:

- Altura del Sol.
- Transparencia de la atmósfera.
- Nubosidad.

$$I = I_0 * \left[a + \left(b * \frac{nT}{N} \right) \right]$$

Donde

nT : Número de horas solar real

$a = b$: Número de Angstrom.

N : Número de horas teóricas.

I_0 : Radiación solar extraterrestre horaria en superficie horizontal.

l. Irradiación solar difusa horaria

Ocurre cuando la radiación solar se topa con obstáculos que la difunden hacia todas las direcciones. Depende de:

- La altura del sol, a mayor altura mayor es el valor de radiación difusa.
- Obstáculos.
- Nubes blancas.
- Altura sobre el nivel del mar.

Se utilizan las siguientes ecuaciones por medio de la relación Orgill y Hollands (Tabla 7).

Tabla 7. Relación índice de claridad vs radiación solar difusa.

INDICE DE CLARIDAD (K_T)	RADIACION SOLAR DIFUSA (H_d)
$K_T \leq 0,17$	$\frac{H_d}{H} = 0,99$
$0,17 < K_T < 0,75$	$\frac{H_d}{H} = 4,648K_T^4 - 21,865 K_T^3 + 9,47K_T^2 - 2,272K_T + 1,188$
$0,75 < K_T < 0,80$	$\frac{H_d}{H} = -0,54K_T + 0,632$
$K_T \geq 0,80$	$\frac{H_d}{H} = 0,20$

Fuente: Fuente: IDEAM. Atlas de radiación solar de Colombia. Bogotá. 2005.

m. Radiación solar directa horaria (I_b)

Es la radiación que llega a la superficie de la Tierra sin cambios de dirección. Depende de:

- La constante solar.
- La altura del Sol.
- La transparencia atmosférica en presencia de gases absorbentes, nubes y niebla.

$$I_b = I - I_d$$

Donde:

I: Radiación global horaria.

I_d: Radiación solar difusa en la superficie horizontal.

n. Albedo

Es la relación entre la radiación reflejada y la radiación incidente sobre una superficie horizontal. Se debe tener en cuenta que el Albedo del suelo en general está comprendido entre un 10% al 30%. En la arena está en un 40%.

$$A\% = \frac{R}{H} * 100$$

Donde:

R: Flujo de radiación reflejada.

H: Radiación global.

o. Radiación directa sobre una superficie inclinada (I_T)

Es la radiación que no sufre ninguna alteración en su recorrido e incide sobre una superficie inclinada.

$$I_T = (I_b * R_b) + I_d * \left(\frac{1 + \cos\theta}{2}\right) + I * \left(\frac{1 - \cos\theta}{2}\right) P_d$$

2.6 ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

2.6.1 Generalidades

En 1839, el físico francés Edmund Becquerel fue el primero en descubrir que algunos materiales podían generar corrientes eléctricas cuando están expuestos a la luz.

Los materiales se pueden clasificar en tres grupos dependiendo su conductividad eléctrica en:

- **Conductores**, son materiales que en su capa externa poseen electrones libres (Electrones de valencia), que con ayuda de una diferencia baja de potencial, facilita el desplazamiento de un átomo a otro.
- **Aislantes**, este material necesita de una gran diferencia de potencial, ya que los electrones de valencia de estos materiales están fuertemente atados al núcleo.

- **Semiconductores**, estos materiales presentan átomos inestables, así que le cuesta lo mismo desprender 4 electrones que absorberlos [29].

Dentro de los materiales semiconductores se encuentra el silicio, que tiene 14 electrones y 14 protones, en su capa externa tienen 4 electrones. Para estabilizar el átomo, se debe presentar un enlace covalente. Los enlaces covalentes funcionan eficazmente a $-273\text{ }^{\circ}\text{C}$ ó 0 K (Temperatura del cero absoluto), a medida que se eleva la temperatura aumenta la agitación de los electrones, lo que genera que disminuya la eficiencia del enlace covalente.

Existen dos clasificaciones de semiconductores que son:

- **Semiconductor intrínseco:** Compuesto por el mismo material.
- **Semiconductor extrínseco:** Compuesto por mezcla con otro material.

Los semiconductores extrínsecos se pueden dividir en dos:

- **Tipo P:** Son materiales que en su configuración les falta un electrón en su última capa.
- **Tipo N:** Son materiales que en su configuración le sobra un electrón en su última capa.

Se puede presentar un enlace covalente entre los dos materiales, porque al tipo n le sobra un electrón y al tipo p le falta uno. El tipo n al ceder un electrón se vuelve más positivo en cambio el tipo p al recibir un electrón se vuelve más negativo.

Obviamente para que ocurra este fenómeno debe haber un voltaje pequeño para romper esa barrera y se pueda realizar la unión.

- **Semiconductor Germanio (Ge):** 0.2 V
- **Semiconductor Silicio (Si):** 0.7 V

2.6.2 Mecanismos de generación y recombinación

Los mecanismos de generación son aquellos en los que la célula tiene ganancia de energía y conductividad de electricidad, mientras que los mecanismos de recombinación son aquellos que rompen las uniones del electrón y con los huecos.

Existen dos clases de semiconductores que funcionan mediante este principio:

- **GAP directo:** Arseniuro de galio (GaAs), es un material muy absorbente requiere capas delgadas para conducir.
- **GAP indirecto:** Silicio (Si), se necesita una capa más gruesa en comparación con el GaAs por que tiene una menor capacidad de absorción.

2.6.3 Tipos de sistemas fotovoltaicos

Se pueden clasificar en dos grandes grupos que son:

*a. **Sistemas fotovoltaicos autónomos**, estos sistemas necesitan utilizar baterías para almacenar su energía. Entre sus elementos se encuentran:*

- Módulo fotovoltaico
- Regulador
- Batería
- Inversor DC/AC

*b. **Sistemas fotovoltaicos conectados a la red**, son sistemas que generan electricidad, que por medio de un inversor inyecta energía a la red eléctrica. Entre sus elementos se encuentran:*

- Módulo fotovoltaico
- Regulador
- Batería
- Inversor
- Protecciones contadores
- Red eléctrica

2.6.4 Tipos de módulos fotovoltaicos

Está constituido por células fotovoltaicas en serie y en paralelo, que unidas se transforman en lo que llamamos panel o módulo fotovoltaico, el cual transforma la radiación solar en electricidad. En la figura 32, se pueden apreciar los diferentes tipos de célula fotovoltaicas, entre las más utilizadas en el mercado están:

*a. **Silicio Cristalizado***

Dentro de este material existen variaciones como:

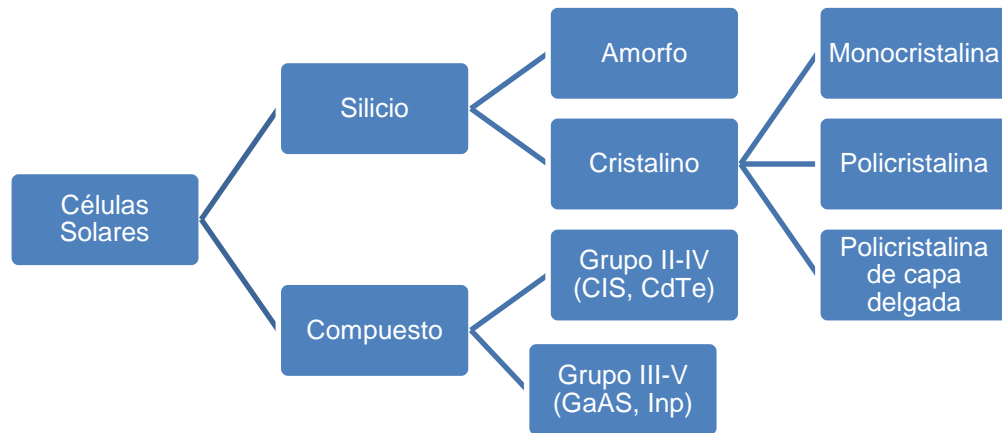
- **Silicio monocristalino**, consiste en una sola pieza de material puro, el proceso de fabricación consta de purificación, fundición y cristalización
- **Silicio policristalino**, son células que se obtienen a partir del proceso de fundición de silicio de baja calidad con otros materiales.

- **Silicio ribbon**, se obtiene mediante el estiramiento del silicio fundido.

b. Silicio Amorfo (Thin Film)

Este material presenta una característica interesante, la banda GAP es variable.

Figura 32. Tipos de células fotovoltaicas.



Fuente: CARTA GONZALEZ, José Antonio; CALERO PEREZ, Roque; COLMENAR SANTOS, Antonio; CASTRO GIL, Manuel Alonso. Centro de energías renovables. Madrid. 2009.

2.6.5 Parámetros de funcionamiento de la célula fotovoltaica

Según el libro “centrales de energía renovable”, los parámetros más importantes a analizar en las células fotovoltaicas se encuentran [29, p. 56]:

- **Corriente de cortocircuito (I_{sc}):** Es la corriente máxima que se puede obtener de la célula.
- **Voltaje de circuito abierto (V_{oc}):** Es el máximo voltaje que se puede obtener de la célula.
- **Factor de forma (F_f):** Se relaciona con la potencia, el máximo valor que puede tener es 1.

$$FF \equiv FF_o = \frac{V_{oc} - \ln(V_{oc} + 0.72)}{V_{oc} - 1}$$

- **Potencia máxima (P_{max}):** Multiplicación entre el voltaje y corriente máxima.

$$P_{max} = I_{sc} * V_{oc} * F_f$$

- **Eficiencia (n):** Define el funcionamiento de la célula solar, está determinada por la siguiente ecuación:

$$n = \frac{I_{sc} * V_{oc} * F_f}{A * P_{sol}} * 100$$

Donde:

P_{sol} : Potencia del sol.

A : Área de la célula.

- **Factor de sombra (d):** Debe estar en un rango en el que sea lo suficientemente bajo para permitir el paso de la luz y suficientemente alto para que la resistencia en serie mantenga niveles aptos para la conducción. Se puede determinar la distancia indicada para resolver este problema mediante la siguiente ecuación.

$$d = \frac{h}{\tan(67^\circ - \text{latitud})}$$

Donde:

h : Altura del objeto.

- **Voltaje real del panel:** Un exceso de temperatura en el módulo fotovoltaico puede reducir su eficiencia ya que por cada aumento de un grado centígrado este disminuye su voltaje en 33mV.

$$\text{Voltaje}_{panel} = 14,1 V - [33mV * (Ta - 27^\circ C)]$$

Donde:

Ta : Temperatura ambiente.

2.6.6 Batería

Los tipos de baterías más utilizadas en el mercado, se describen en la tabla 8.

Tabla 8. Tipos de Baterías.

TIPO DE BATERÍA	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Batería de Plomo-ácido	<ul style="list-style-type: none">Costo asequible.Fácil de fabricar.	<ul style="list-style-type: none">Alto pesoNo soportan sobrecargas ni descargas profundas.
Baterías de níquel-cadmio (Ni-Cd)	<ul style="list-style-type: none">Admiten descargas profundas.Soportan altas temperaturas.	<ul style="list-style-type: none">Alto pesoSu eficiencia se ve afectada por el efecto memoria.
Baterías de iones de litio (Li-ion)	<ul style="list-style-type: none">Más capacidad de almacenamiento de energía por menos peso.	<ul style="list-style-type: none">No soportan altas temperaturas.No admiten descargas profundas.

Fuente: TODO SAI 2.0. Baterías tipos y usos. <https://todosai.com/blog/baterias-tipos-y-usos-b50.html>.

2.6.7 Regulador

Los reguladores neutralizan los voltajes evitando de esta manera sobre cargas en baterías y equipos electrónicos, los tipos utilizados en el mercado de reguladores de voltaje se pueden apreciar en la tabla 9.

Tabla 9. Tipos de Reguladores.

TIPO DE REGULADOR	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Regulador PMW	<ul style="list-style-type: none">Mejor relación costo-beneficio.	<ul style="list-style-type: none">Utiliza el voltaje requerido por la batería o la carga.
Regulador MPPT	<ul style="list-style-type: none">Utilizan toda la intensidad que produzca el panel solar, reduce las pérdidas en un 30%.	<ul style="list-style-type: none">Alto costo.

Fuente: SACLIMA. Regulador PMW o MPPT. <http://www.saclimafotovoltaica.com/energia-solar/reguladores-pwm-o-mppt/>.

2.6.8 Inversor

Adaptan la energía para que la carga pueda utilizarse optimizando su paso y transformando de energía DC a energía AC. Poseen protección contra:

- Cortocircuitos
- Voltaje fuera de rango
- Corriente fuera de rango
- Perturbaciones
- Alarma de descarga

Existen diferentes tipos de inversores en la tabla 10 se puede apreciar los diferentes tipos con sus características.

Tabla 10. Tipos de inversor.

TIPO DE INVERSOR	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Inversor de onda cuadrada	<ul style="list-style-type: none">▪ Mejor relación costo-beneficio.	<ul style="list-style-type: none">▪ Uso en equipos que requieren poca cantidad de energía eléctrica.
Inversor de onda sinusoidal modificada	<ul style="list-style-type: none">▪ El ancho de onda puede ser modificado obteniendo una mejor eficiencia	<ul style="list-style-type: none">▪ No siempre son compatibles con el equipo eléctrico.▪ Ruidosos▪ Incrementa las temperaturas de los dispositivos.
Inversor de onda sinusoidal pura	<ul style="list-style-type: none">▪ Tiene un gran de rendimiento	<ul style="list-style-type: none">▪ Alto costo

Fuente: SUN FIELDS. Inversor solar fotovoltaico. <https://www.sfe-solar.com/noticias/articulos/equipos-solares-ondulador-o-inversor-fotovoltaico/>.

2.7 TERMODINAMICA

El destilador posee pérdidas a través de las paredes y de la base a pesar de tener un aislante térmico, pero estas pueden ser despreciables debido a sus dimensiones. La transferencia de calor se presenta mediante [30]:

2.7.1 Conducción

Es la propiedad para conducir calor cuando dos cuerpos están en contacto directo.

$$\dot{Q}_{\text{conducción}} = K_b A_s (T_s - T_a)$$

Donde:

K_b : Conductividad térmica del material

A_s : Área de superficie

T_s : Temperatura de la superficie

T_a : Temperatura ambiente

2.7.2 Convección

Es la transferencia de calor en la que interviene la conducción con movimiento de gas o de fluidos.

$$\dot{Q}_{\text{convección}} = h A_s (T_s - T_\infty)$$

Donde:

h : Coeficiencia de transparencia de calor por convección

T_∞ : Temperatura del fluido

2.7.3 Radiación

Es un fenómeno volumétrico que todos los sólidos, líquidos y gases emiten, absorben o transmiten.

$$\dot{Q}_{\text{radiación}} = \varepsilon \sigma A_s T_s^4$$

Donde

ε : Emitancia del material

σ : Constante de Stefan Boltzman ($5,6697 * 10^{-8}$) $\left[\frac{W}{m^2 * K^4} \right]$

3. DISEÑO DEL DESTILADOR SOLAR

3.1 SELECCIÓN TIPO DE DESTILADOR SOLAR

Como el proyecto tiene la finalidad de que sea auto sostenible y de abastecer a una familia de agua en necesidades puntuales, el método escogido es el de destilación solar, ya que este utiliza la radiación solar para llevar a cabo su proceso, evitando gastos de energía eléctrica. Otra ventaja es que sus elementos de construcción son económicos favoreciendo el presupuesto para la fabricación del dispositivo.

En el campo de la destilación solar o solar-stills como se conocen también, existe una gran variedad de tipos los cuales se analizan para poder determinar el más indicado.

Teniendo en cuenta la información presentada se elaboró la tabla 11, en la que se han considerado parámetros claves para seleccionar el más adecuado.

Tabla 11. Matriz de ponderación destiladores solares.

DESTILADOR	2.3.1	2.3.2	2.3.3	2.3.4	2.3.5	2.3.6
MATERIALES	20	16	17	10	12	13
MANO DE OBRA	10	3	10	3	10	5
FACILIDAD DE PURGA	15	20	8	9	5	18
ACCESIBILIDAD DE RESPUESTOS	20	15	18	12	13	10
IMPLEMENTACIÓN DE RESISTENCIA TÉRMICA	20	10	10	15	15	5
VIDA ÚTIL	12	12	12	11	12	8
ARMADO	15	12	8	7	5	16
EMBALAJE	11	10	10	9	3	12
AUTOSOSTENIBLE	20	20	20	20	20	0
TOTAL	143	118	113	96	95	87

Fuente: Autores.

Se determinó que el destilador tipo caseta es el indicado, ya que fue el que obtuvo el resultado mayor, en el análisis de los parámetros más relevantes respecto a la necesidad.

3.2 CÁLCULOS ESTRUCTURALES DEL SISTEMA

3.2.1 Características de la Estructura soporte

Tabla 12. Características de perfil laminado.

PERFIL DE ACERO LAMINADO	MEDIDAS	UNIDADES
Dimensiones	25,4 * 25,4 * 3,175	cm
Radio de giro (r)	0.51	cm
Área transversal	1.52	cm ²
Peso	1.19	kg/m
Momento de inercia	0.92	cm ⁴
Centroide ($\bar{x} = \bar{y}$)	0.76	cm

Fuente: CERNICA, John: *Strenght of materials*. New York .1995.

3.2.2 Factor de seguridad de la estructura

Con base en la teoría de columnas se tiene en cuenta:

Relación de esbeltez para extremos empotrados $k = 0.5$

Donde:

$$\frac{kL}{r} = \frac{(0.5)(100)}{0.51} = 98$$

3.2.3 Factor por material

$$C_e = \sqrt{\frac{2\pi^2 * E}{\sigma_y}} \rightarrow \sqrt{\frac{2\pi^2 * 30 * 10^6 \text{ psi}}{36000 \text{ psi}}}$$

$$C_e = 128.25$$

$$\frac{kL}{r} < C_e = \text{Columna intermedia}$$

3.2.4 Esfuerzo admisible

El esfuerzo admisible según AISC (American Institute for Steel construction) es:

$$[\sigma] = \left[1 - \frac{\left(\frac{kL}{r}\right)}{2 * Ce^2} \right] \frac{\sigma_y}{N}$$

σ_y = Esfuerzo de fluencia

N = Factor de seguridad de la columna

Despejando la ecuación anterior podemos decir que:

$$N = \frac{5}{3} + \frac{1}{8} * \frac{\left(\frac{kL}{r}\right)}{Ce} - \frac{3}{8} \left(\frac{\left(\frac{kL}{r}\right)}{Ce}\right)^3$$

Reemplazando:

$$N = \frac{5}{3} + \frac{1}{8} * \frac{98}{128.25} - \frac{3}{8} \left(\frac{98}{128.25}\right)^3$$

$$N = 1.595$$

Reemplazando el valor del factor de seguridad se obtiene:

$$[\sigma] = \left[1 - \frac{98}{2 * 128.25^2} \right] \frac{2532.76}{1.595}$$

$$\sigma_y = 2532.76 \text{ Kg/cm}^2$$

$$E = 21090000 \text{ Kg/cm}^2$$

$$[\sigma] = 1580 \text{ Kg/cm}^2$$

3.2.5 Esfuerzo axial de cada perfil

$$W = 5.6 \text{ Kg}$$

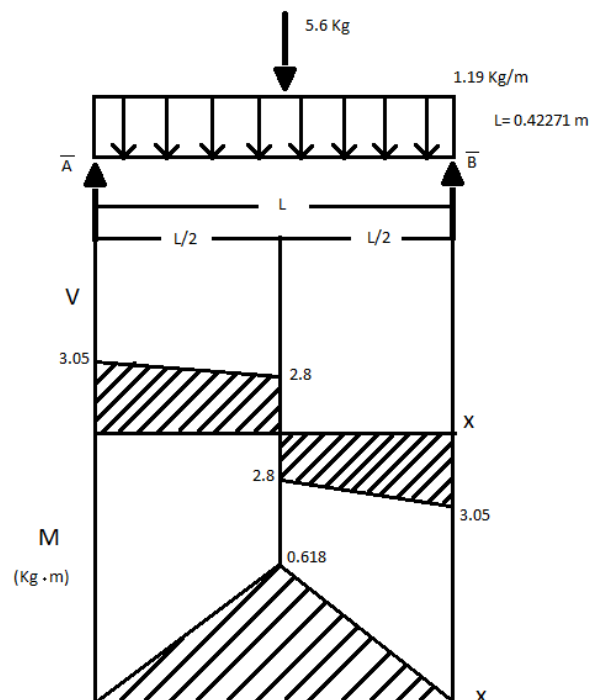
$$\sigma = \frac{5.6}{1.52} = 3.684 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$$

No existe riesgo de pandeo en los perfiles de la estructura ya que el esfuerzo axial es menor al esfuerzo admisible del material.

3.2.6 Diagrama de momento flector y fuerza cortante

Según la teoría del libro diseño de elementos de máquinas de Virgil Faires, se realizaron los cálculos correspondientes para determinar el esfuerzo de flexión en los perfiles soporte de la cabina.

Figura 33. Diagrama de momento flector y fuerza cortante.



Fuente: Autores.

$$\sum MA = 0; -5.6 \text{ kg} + \left(1.19 \frac{\text{kg}}{\text{m}} * 0.42271 \text{ m}\right) * (0.211355 \text{ m}) + \bar{B}(0.42271 \text{ m}) = 0$$

$$\bar{B} = \bar{A} = 3.05 \text{ kg}$$

a. Cuando $0 \text{ m} \leq X \leq 0.211355 \text{ m}$

$$V = 3.05 - 1.19X \quad V_L = 2.8 \text{ kg}$$

$$M = 3.05X - \frac{1.19}{2}x^2 \quad M_L = 0.618 \text{ kg.m}$$

b. Cuando $0.211355 \text{ m} \leq X \leq 0.42271 \text{ m}$

$$V = 2.8 - (X - 0.211355) * (1.19)$$

$$M = 3.05X - 0.251(X - 0.1056775) - 5.6(X - 0.211355) - \left(\frac{1.19}{2}\right) * (X - 0.211355)^2$$

$$V_L = 3.05 \quad M_L = 0$$

$$M_{m\acute{a}x} = 0.618 \text{ kg.m}$$

3.2.7 Esfuerzo flector

$$\sigma_f = \frac{MC}{I}$$

$$\sigma_f = \frac{(0.618 \text{ kg.m}) * (0.76 * 10^{-2} \text{ m})}{0.92 * 10^{-4} \text{ m}^4}$$

$$\sigma_f = 51.05 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

Como $\sigma_f \ll \sigma_y$, no existe riesgo de falla por flexión.

3.2.8 Esfuerzo de contacto de las ruedas

Para el cálculo se asume contacto entre la rueda y el perímetro

$$\sigma_c^2 = \frac{\frac{F}{r}}{\pi b \left[\frac{1-\mu_1^2}{E_1} + \frac{\mu_2^2}{E_2} \right]}$$

Donde:

F: Fuerza aplicada sobre la rueda → 5.6 kg

b: Ancho de la rueda → 2.54 cm

r: Diámetro de la rueda → 5,08 cm

El material de la rueda es polietileno el cual tiene las siguientes características:

$$\mu = 0.38 \qquad E = 0.042 * 10^5 \frac{kg}{cm^2}$$

Donde

μ: Coeficiente de deformación transversal

E: Módulo de elasticidad

La superficie va a ser considerada en contacto con el pavimento, teniendo las siguientes características [31]:

$$\mu = 0.40 \qquad E = 130 \frac{kg}{cm^2}$$

3.2.9 Esfuerzo por compresión de la rueda

$$\sigma_c^2 = \frac{\frac{5.6 * 2 \text{ kg}}{5.08 \text{ cm}}}{\pi (2.54 \text{ cm}) * \left[\frac{1-0.38^2}{0.042 * 10^5} + \frac{1-0.4^2}{130} \right]}$$

$$\sigma_c = 6.4384 \frac{kg}{cm^2}$$

$$\sigma_{\text{compresion para el polietileno}} = 28 \frac{kg}{cm^2}$$

Ya que son 4 ruedas y la estructura total pesa aproximadamente 22 kg las ruedas no sufrirán por el peso de la estructura.

3.3 COMPORTAMIENTO DEL SOL

Teniendo en cuenta el Apéndice A y B del libro “Atlas de radiación solar” del IDEAM, año 2005, se tomaron ciertas fórmulas y variables para analizar el comportamiento del sol en la ubicación donde será probado el dispositivo.

La instalación del prototipo se realizó en el conjunto residencial Playa Mendoza, ubicado en el departamento del Atlántico, el cual consta de las siguientes coordenadas:

Latitud (φ) = 10.9°

Longitud(λ) = -75.04

Inclinación óptima del lugar = 11°

Desorientación = 0

Para realizar los cálculos se hizo una revisión al atlas solar facilitado por el IDEAM, en el cual se pudo determinar que el mes más desfavorables por cuestiones climáticas es el mes de octubre, en la tabla 13 se puede apreciar los datos de los diferentes meses del año.

Tabla 13. Comportamiento del sol año 2016.

Mes	Brillo solar [hrs]	Días sin brillo solar [días/mes]	Radiación solar [W/m^2]	Radiación ultravioleta [IUV]
Enero	7.5	0.3	4750	5.5
Febrero	7.5	0.3	5250	7.5
Marzo	6.5	1.5	4750	9.5
Abril	6.5	1.5	4250	8.5
Mayo	5.5	2.5	4750	7.5
Junio	6.5	2.5	4750	7.5
Julio	6.5	1.5	4750	5.5
Agosto	6.5	1.5	4750	6.5
Septiembre	5.5	1.5	4750	6.5
Octubre	5.5	1.5	4250	7.5
Noviembre	6.5	1.5	4250	6.5
Diciembre	7.5	0.5	4750	5.5

Fuente: Altas solar.

Para el diseño del destilador solar es importante analizar el comportamiento del sol en el lugar de instalación. Los parámetros más relevantes son:

- Posición angular.
- Distancia tierra- sol.
- Declinación solar.
- Altura del sol.
- Duración astronómica del día.
- Ángulo ocaso del sol.
- Radiación solar extraterrestre incidente.
- Radiación solar diaria fuera de la atmósfera terrestre.
- Índice de claridad.
- Radiación solar difusa sobre superficies horizontales.
- Radiación global diaria promedio mensual sobre una superficie inclinada.

3.3.1 Posición angular de la Tierra

$$\alpha = \frac{2\pi(nd - 1)}{365}$$

Donde:

nd = Número del día del año

Resolviendo la ecuación para los días promedios del año se puede apreciar los resultados en la tabla 14 de la siguiente manera, tomando en cuenta que cuando el valor es cercano a 0° la tierra se encuentra más cerca del sol :

Tabla 14. Posición angular.

Mes	Número promedio de cada mes (nd)	Posición angular(α)[Grados]
Enero	16	0.26
Febrero	45	0.76
Marzo	75	1.27
Abril	106	1.81
Mayo	136	2.32
Junio	166	2.84
Julio	197	3.37
Agosto	228	3.90
Septiembre	258	4.42
Octubre	289	4.96
Noviembre	319	5.47
Diciembre	350	6.01

Fuente: Autores.

3.3.2 Distancia Tierra-Sol

$$R = \frac{a(1 - e^2)}{1 + e \cos \alpha}$$

Donde:

α : Unidad astronómica ($\alpha = 149.46 * 10^6 \text{ km}$)

e : Excentricidad de la órbita terrestre ($e = 0,01673$)

α = Posición angular

3.3.3 Distancia Tierra-Sol (Cálculos radiométricos)

$$\left(\frac{R_o}{R}\right)^2 = 1,00011 + 0,034221 \cos \alpha + 0,00128 \sin \alpha + 0,000719 \cos 2\alpha + 0,000077 \sin 2\alpha$$

Tabla 15. Distancia tierra-sol.

Mes	Número promedio de cada mes (nd)	Distancia Tierra-Sol $(R_o/R)^2$ [U.A.]
Enero	16	1.03
Febrero	45	1.02
Marzo	75	1.01
Abril	106	0.99
Mayo	136	0.97
Junio	166	0.96
Julio	197	0.96
Agosto	228	0.97
Septiembre	258	0.99
Octubre	289	1.01
Noviembre	319	1.02
Diciembre	350	1.03

Fuente: Autores.

3.3.4 Declinación solar

Es en el ángulo formado por la línea del sol, la tierra y el plano del Ecuador. Permite localizar la posición angular del sol. Se halla mediante la siguiente ecuación:

$$\delta = 23.45 * \text{sen} \left(\frac{360 * (284 + n)}{365} \right)$$

En la tabla 16 con la ayuda de la herramienta de Microsoft Excel se obtienen los cálculos necesarios para dimensionar los materiales para nuestro sistema fotovoltaico.

Tabla 16. Declinación Solar.

Mes	Número promedio de cada mes (nd)	Declinación solar (δ) [Grados]
Enero	16	-21.10
Febrero	45	-13.62
Marzo	75	-2.42
Abril	106	9.78
Mayo	136	19.03
Junio	166	23.31
Julio	197	21.35
Agosto	228	13.45
Septiembre	258	2.22
Octubre	289	-9.97
Noviembre	319	-19.15
Diciembre	350	-23.37

Fuente: Autores.

3.3.5 Altura del sol

Es la distancia angular entre el horizonte del observador y del sol, que se obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$h = \arcsen [\text{sen}\varphi * \text{sen}\delta + \text{cos}\varphi * \text{cos}\delta * \text{cos}\alpha]$$

Tabla 17. Altura Solar.

Mes	Número promedio de cada mes (nd)	Altura solar (h) [°C]
Enero	16	56.58
Febrero	45	37.70
Marzo	75	64.08
Abril	106	22.38
Mayo	136	0.02
Junio	166	69.14
Julio	197	-32.76
Agosto	228	-77.25
Septiembre	258	10.01
Octubre	289	48.87
Noviembre	319	-34.83
Diciembre	350	-68.33

Fuente: Autores.

3.3.6 Duración astronómica del día

$$N = \frac{2}{15} * \arccos(-\tan\varphi * \tan\delta)$$

Tabla 18. Duración astronómica.

Mes	Número promedio de cada mes (nd)	Duración astronómica del día (N) [hrs]
Enero	16	11.43
Febrero	45	11.65
Marzo	75	11.94
Abril	106	11.54
Mayo	136	11.09
Junio	166	10.86
Julio	197	10.95
Agosto	228	11.34
Septiembre	258	11.84
Octubre	289	11.77
Noviembre	319	11.51
Diciembre	350	11.36

Fuente: Autores.

3.3.7 Ángulo ocaso del sol

$$Ws = \min[\arccos(-\tan\varphi * \tan\delta), \arccos(-\tan(\varphi - \beta) * \tan\delta)]$$

Tabla 19. Ángulo de ocaso del sol.

Mes	Número promedio de cada mes (nd)	Ángulo de ocaso del sol (W) [Grados]
Enero	16	85.74
Febrero	45	87.40
Marzo	75	89.61
Abril	106	86.56
Mayo	136	83.19
Junio	166	81.43
Julio	197	82.16
Agosto	228	85.05
Septiembre	258	88.84
Octubre	289	88.33
Noviembre	319	86.35
Diciembre	350	85.25

Fuente: Autores.

3.3.8 Radiación solar extraterrestre incidente

$$I_n = \bar{I}_o * \left(\frac{R_o}{R}\right)^2$$

Tabla 20. Radiación solar extraterrestre incidente.

Mes	Número promedio de cada mes (nd)	Radiación solar extraterrestre incidente (In) [W/m ²]
Enero	16	1413.73
Febrero	45	1402.50
Marzo	75	1381.76
Abril	106	1356.96
Mayo	136	1336.26
Junio	166	1323.75
Julio	197	1322.15

Agosto	228	1332.37
Septiembre	258	1351.40
Octubre	289	1375.90
Noviembre	319	1398.02
Diciembre	350	1412.47

Fuente: Autores.

3.3.9 Radiación solar diaria fuera de la atmósfera terrestre

$$I_o(n) = \frac{24}{\pi} * \bar{I}_o * \left(\frac{R_o}{R}\right)^2 * [(Cos\varphi * Cos\delta * Sen\omega) + \left(\left(\frac{2\pi * \omega}{360}\right) * Sen\delta * Sen\varphi\right)]$$

Tabla 21. Radiación solar diaria fuera de la atmósfera terrestre.

Mes	Número promedio de cada mes (nd)	Radiación solar diaria fuera de la atmósfera terrestre (Ho) [W/m ²]
Enero	16	9679.36
Febrero	45	10107.16
Marzo	75	10339.46
Abril	106	10097.85
Mayo	136	9571.50
Junio	166	9203.67
Julio	197	9313.32
Agosto	228	9780.27
Septiembre	258	10148.33
Octubre	289	10123.15
Noviembre	319	9773.18
Diciembre	350	9495.06

Fuente: Autores.

3.3.10 Índice de claridad

$$K_t = \frac{\bar{H}}{H_0}$$

Tabla 22. Índice de claridad.

Mes	Número promedio de cada mes (nd)	Índice de claridad (Kt) [-]
Enero	16	0.49
Febrero	45	0.52
Marzo	75	0.46
Abril	106	0.42
Mayo	136	0.50
Junio	166	0.52
Julio	197	0.51
Agosto	228	0.48
Septiembre	258	0.47
Octubre	289	0.42
Noviembre	319	0.43
Diciembre	350	0.50

Fuente: Autores.

3.3.11 Radiación solar difusa sobre superficies horizontales

Tabla 23. Relación índice de claridad vs radiación solar difusa.

INDICE DE CLARIDAD (Kt)	RADIACION SOLAR DIFUSA (Id)
$K_T \leq 0,17$	$\frac{I_d}{I} = 0,99$
$0,17 < K_T < 0,75$	$\frac{I_d}{I} = 4,648K_T^4 - 21,865 K_T^3 + 9,47K_T^2 - 2,272K_T + 1,188$
$0,75 < K_T < 0,80$	$\frac{I_d}{I} = -0,54K_T + 0,632$
$K_T \geq 0,80$	$\frac{I_d}{I} = 0,20$

Fuente: Fuente: IDEAM. Atlas de radiación solar de Colombia. Bogotá. 2005.

Tabla 24. Radiación solar difusa sobre superficie inclinada.

Mes	Número promedio de cada mes (nd)	Radiación solar difusa sobre superficie inclinada (I_d, β) [W/m^2]
Enero	16	189.01
Febrero	45	1788.18
Marzo	75	985.82
Abril	106	619.79
Mayo	136	1342.61
Junio	166	1567.27
Julio	197	1487.10
Agosto	228	1217.86
Septiembre	258	1059.27
Octubre	289	627.14
Noviembre	319	723.78
Diciembre	350	1387.30

Fuente: Autores.

3.3.12 Radiación global diaria promedio mensual sobre una superficie

$$\bar{I}(\beta) = \bar{I} * \bar{R}$$

Tabla25. Radiación global diaria promedio mensual sobre una superficie.

Mes	Número promedio de cada mes (nd)	Radiación global diaria promedio mensual sobre una superficie (I) [W/m^2]
Enero	16	6615.69
Febrero	45	6515.36
Marzo	75	5525.53
Abril	106	4500.83
Mayo	136	4759.17
Junio	166	4656.03
Julio	197	4705.44
Agosto	228	4937.33
Septiembre	258	5340.89
Octubre	289	5265.01
Noviembre	319	5663.94
Diciembre	350	6388.96

Fuente: Autores.

3.3.13 Radiación solar en superficie inclinada (Carcasa condensadora)

$$I_T = I_b R_b + I_d * \left(\frac{1 + \cos\theta}{2} \right) + I * \left(\frac{1 - \cos\theta}{2} \right) \rho_d$$

Tabla 26. Radiación solar en superficie inclinada.

Mes	Número promedio de cada mes (nd)	Radiación directa sobre una superficie inclinada (It) [W/m^2]
Enero	16	8133.74
Febrero	45	7080.21
Marzo	75	5516.52
Abril	106	4014.45
Mayo	136	3975.50
Junio	166	3795.11
Julio	197	3880.44
Agosto	228	4304.76
Septiembre	258	5116.80
Octubre	289	5666.71
Noviembre	319	6667.04
Diciembre	350	7682.06

Fuente: Autores.

3.4 CÁLCULOS PARA LA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA

El consumo de la resistencia térmica debe ser abastecido mediante un sistema fotovoltaico aislado, por lo cual se requiere hacer un análisis matemático para determinar las necesidades potenciales de su funcionamiento [32].

3.4.1 Consumo energético

La resistencia térmica que se va a usar tiene una potencia:

$$P_{Resistencia} = 100W$$

Por lo tanto la energía eléctrica requerida

$$E_{necesaria} = P_{Resistencia} * Horas\ de\ uso$$

$$E_{necesaria} = 100W * 4Hr$$

$$E_{necesaria} = 400W/Hr$$

Para el sistema de captación se escogió un panel solar de 90W, su hoja técnica arroja los siguientes datos:

Tabla 27. Hoja técnica del módulo fotovoltaico.

Datos importantes del módulo fotovoltaico		
Corriente corto circuito (Isc)	5.41	A
Voltaje circuito abierto (Voc)	22.5	V
Voltaje nominal (Vn)	12	V
Potencia máxima (Pmáx)	90	W
Voltaje máximo (Vmáx)	18	V
Corriente máxima (Imáx)	5	A
Peso (W)	6,8	kg
Dimensiones	1.2m * 0.52m * 0.3m	
Energía (E)	1000	W/m ²
Temperatura ideal (Tc)	25	°C
Clase	Clase A	
Tolerancia	± 5	%
Marca	Solar Plus Energy	

Fuente: Autores.

3.4.2 Rendimiento del panel fotovoltaico

Para el rendimiento del panel fotovoltaico se deben tener en cuenta las diferentes pérdidas que sufre el sistema, puede definir mediante la siguiente fórmula:

$$R = [1 - K_b + K_c + K_v] * \left(1 - \frac{K_a * N}{P_d}\right)$$

$$R = (1 - 0.1 - 0.1 - 0.1) * \left(1 - \frac{0.005 * 4}{0.7}\right)$$

$$R = 0,68$$

Donde:

K_a = Coeficiente de autodescarga diaria

K_b = Coeficiente de pérdidas por rendimiento del acumulador

K_c = Coeficiente de pérdidas del inversor

K_v = Coeficiente de pérdidas varias

N = Número de días de autonomía

P_d = Profundidad de descarga diaria de la batería

3.4.3 Consumo energético real

Se obtiene del análisis de la energía requerida por la carga y el rendimiento que va a tener el panel fotovoltaico.

$$E = \frac{E_T}{R}$$

$$E = \frac{400Whr}{0.68}$$

$$E = 588.23 Whr$$

3.4.4 Necesidades del usuario

Para el dimensionamiento de energía fotovoltaica se debe tener en cuenta que siempre debe existir una cantidad de energía excedente para verificar que cumpla con todos los requerimientos de la carga a la que va a ser expuesta, este excedente es del 20%.

$$NU = E * 1.20$$

$$NU = 588.23 Whr * 1.20$$

$$NU = 705.88 Whr$$

3.4.5 Capacidad máxima

$$C_{\text{máx}} = \frac{NU}{R}$$
$$C_{\text{máx}} = \frac{705.88 \text{ Whr}}{0.68}$$
$$C_{\text{máx}} = 1038.06 \text{ Whr}$$

3.4.6 Energía del panel

La energía producida por el panel solar se puede obtener mediante el producto de la potencia del módulo fotovoltaico, las horas solares pico y la eficiencia de transmisión de energía del panel.

$$E_p = P_p * HPS * n_p$$
$$E_p = 90W * 5.5hrs * 0.90$$
$$E_p = 445.5 \text{ Whr}$$

3.4.7 Número de paneles fotovoltaico

Se puede obtener del cociente entre la capacidad máxima requerida por el sistema y la energía producida por el panel solar.

$$n_{\text{paneles}} = \frac{C_{\text{máx}}}{E_p}$$
$$n_{\text{paneles}} = \frac{1038.06 \text{ Whr}}{445.5 \text{ Whr}}$$
$$n_{\text{paneles}} = 2.33$$

El proyecto por cuestiones de presupuesto se va a diseñar pensando en que se va a utilizar 4 días a la semana, entonces para esto

$$n_{\text{paneles}} = \frac{C_{\text{máx}} * \text{Dias de uso}}{E_p * 7(\text{Dias de la semana})}$$
$$n_{\text{paneles}} = \frac{1038,06 \text{ Whr} * 4 \text{ dias}}{445.5 \text{ Whr} * 7 \text{ dias}}$$
$$n_{\text{paneles}} = 1.33$$

3.4.8 Inversor

Se debe tener en cuenta de que el inversor debe cumplir unos parámetros especiales para su funcionamiento ya que la energía de entrada debe ser igual a la energía de salida más las pérdidas de 20% que se toman en cuenta para el proceso de transformación.

$$V_{in} * I_{in} = V_{out} * I_{out} + \text{Perdidas (20\%)}$$

$$12V * I_{in} = 400W + 80W$$

$$I_{in} = \frac{480W}{12V}$$

$$I_{in} = 40A$$

Como la corriente necesaria para que el prototipo cumpla con su función es relativamente pequeña se puede utilizar el tipo de inversor de onda cuadrada que soporte la potencia y el amperaje requerido.

3.4.9 Batería

Para la instalación es recomendable utilizar:

- Base de poliestireno expandido (Icopor) para protegerla herméticamente
- Vaselina para proteger los bornes
- Regulador para amortiguar la carga y descarga

Se deben tener en cuenta los siguientes parámetros de funcionamiento:

a. Corriente almacenable

Es la corriente que debe ser almacenada para satisfacer la energía requerida por la carga.

$$\text{Corriente almacenable} = \frac{588,23 \text{ Wh}}{12 \text{ V}}$$

$$\text{Corriente almacenable} = 49 \text{ Ah}$$

b. Corriente de batería

Se obtiene del cociente entre la corriente almacenable y 0,3 ya que como se había dicho antes la corriente real de una batería es solo el 30% que esta indica en su ficha técnica, por lo tanto se utiliza la siguiente ecuación:

$$\text{Corriente de batería} = \frac{49 \text{ Ah}}{0.3}$$

$$\text{Corriente de batería} = 163.33 \text{ Ah}$$

c. Descarga diaria

$$C_{\text{batería}} \geq \frac{C_{\text{máx}} * \text{Días de autonomía}}{\text{Profundidad de descarga}}$$

$$C_{\text{batería}} \geq \frac{1038.06 \text{ Whr} * 4 \text{ días}}{0.7}$$

$$C_{\text{batería}} \geq 5931.78 \text{ Whr}$$

Con este valor se aconseja no dejar descargar la batería hasta cierto porcentaje, ya que las descargas profundas en la batería repercuten en su vida útil, a continuación se indica el porcentaje de batería.

$$\text{Descarga diaria} = \frac{C_{\text{máx}}}{C_{\text{batería}}} * 100$$

$$\text{Descarga diaria} = \frac{1038.06 \text{ Whr}}{5931.78} * 100$$

$$\text{Descarga diaria} = 17.5 \%$$

La profundidad de descarga recomendada para la batería es la siguiente:

$$PD = \frac{C_{\text{máx}} * \text{días de autonomía}}{C_{\text{batería}}} * 100$$

$$PD = \frac{1038.06 \text{ Whr} * 4 \text{ días}}{5931.78} * 100$$

$$PD = 70\%$$

3.4.10 Regulador

El panel que va a ser utilizado trabaja a un voltaje de $12 V_{DC}$ así que el regulador que cumple con estos requerimientos es el regulador PWM de $12 V_{DC}/24 V_{DC}$ a 40 A.

3.5 CÁLCULOS TERMODINAMICOS DEL SISTEMA

El destilador solar aprovecha la radiación y el flujo de calor generado por la resistencia térmica, para el proceso de transferencia de masa y calor, teniendo en cuenta el

La radiación al tener contacto con el vidrio sufre de tres fenómenos que son:

- Reflexión
- Absorción
- Transmitancia

La radiación que ingresa al destilador se puede representar mediante la siguiente formula:

$$I_t * \alpha_g$$

Donde:

α_g : Coeficiente que indica la reflexión y absorción del vidrio respecto a la radiación solar

I_t : Radiación directa sobre una superficie inclinada.

La radiación absorbida por el vidrio se puede representar mediante la siguiente formula

$$I_t * \alpha_g * \alpha_a$$

Donde:

α_a : Coeficiente que indica la reflexión y absorción generada por el agua sumado la reflexión por el fondo de la superficie.

Para cálculos teóricos se tienen en cuenta los siguientes valores

$$\alpha_g = 0.1$$

$$\alpha_a = 0.3$$

La tabla 28 describe cada una de las variables que inciden en el funcionamiento termodinámico del sistema.

Tabla 28. Variables necesarias para el análisis termodinámico.

VARIABLE	VALOR	UNIDAD
Temperatura media del agua	60	°C
Temperatura ambiente	35	°C
Temperatura del vidrio	47	°C
Temperatura de la resistencia térmica	88	°C
Espesor del vidrio	0,006	m
Espesor del AISI 316	0,0047625	m
Calor específico del vidrio	1	J/m.K
Calor específico del aire		J/m.K
Calor específico del agua	$4,186 * 10^3$	J/m.K
Calor latente de evaporación	$2257 * 10^3$	J/kg
Constante de Stephan Boltzman	$5,67 * 10^{-8}$	W/(m ² .K ⁴)
Coeficiente de conductividad térmica AISI 316	16.3	W/(m.K)
Velocidad promedio del viento	2,8	m/s
Emitancia del vidrio	0,72	[-]
Emitancia del agua	0,96	[-]
Densidad del agua	1030	kg / m ³
Densidad del vidrio	2600	kg / m ³
Volumen del agua a destilar	0,00056	m ³
Humedad relativa	0,86	[-]

Fuente: Autores.

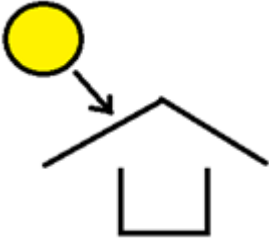


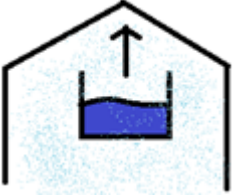
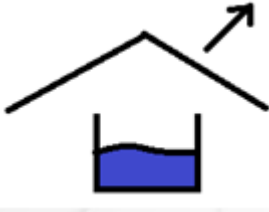
Para determinar la transferencia de calor del sistema se dice que:

$$\text{Si } T_a < T_s \quad \dot{Q}_{total} = \dot{Q}_{conv} + \dot{Q}_{rad}$$

$$\text{Si } T_a > T_s \quad \dot{Q}_{total} = \dot{Q}_{conv} - \dot{Q}_{rad}$$

En la tabla 29, se analiza los diferentes flujos de calor que intervienen en el prototipo, entre ellos se encuentran:

Tabla 29. Balance de energía del sistema.

BALANCE DE ENERGÍA DEL SISTEMA	
IRRADIACIÓN SOLAR SOBRE UNA SUPERFICIE INCLINADA	
FLUJO DE CALOR POR RADIACIÓN DEL AGUA	
FLUJO DE CALOR POR CONVECCIÓN DEL AGUA	
FLUJO DE CALOR POR EVAPORACIÓN DEL AGUA	
FLUJO DE CALOR POR RADIACIÓN DEL VIDRIO	

FLUJO DE CALOR POR CONVECCIÓN DEL VIDRIO	
FLUJO DE CALOR POR CONDUCCIÓN DE LA RESISTENCIA	
IRRADIACIÓN QUE ABSORBE EL AGUA	

Fuente: Autores.

3.5.1 Flujo de calor por radiación

$$\dot{q}_{\text{radiación, vidrio}} = \varepsilon \sigma (T_s^4 - T_c^4)$$

Donde:

ε = Emisividad

σ = Coeficiente de Stefan – Boltzman

T_s = Temperatura superficie $47^\circ\text{C} = 320\text{ K}$

T_c = Temperatura del cielo $34^\circ\text{C} = 307\text{ K}$

$$\dot{q}_{\text{radiación, vidrio}} = (0.72) \left(5.6697 * 10^{-8} \frac{\text{W}}{\text{m}^2 * \text{K}^4} \right) (320\text{ K}^4 - 307\text{ K}^4)$$

$$\dot{q}_{\text{radiación, vidrio}} = 65.43 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

3.5.2 Coeficiente de transferencia de calor convectivo

Se halla el coeficiente de transferencia de calor convectivo del vidrio según Watmuff [7, p. 86].

$$h_{convectivo,vidrio} = 2.8 + 3\vartheta$$

Donde:

$\vartheta = \text{velocidad del viento} \approx 2.8 \text{ m/s}$

$$h_{convectivo,vidrio} = 2.8 + 3 \left(2.8 \frac{\text{m}}{\text{s}} \right)$$
$$h_{convectivo,vidrio} = 11.2 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 * \text{K}}$$

3.5.3 Flujo de calor por convección del vidrio

$$\dot{q}_{convectivo,vidrio} = h_{convectivo,vidrio} * A_s(T_v - T_a)$$
$$\dot{q}_{convectivo,vidrio} = 11.2 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 * \text{K}} (320 \text{ K} - 308 \text{ K})$$
$$\dot{q}_{convectivo,vidrio} = 134.4 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

3.5.4 Flujo de calor de la resistencia térmica por conducción

Aplicando la ecuación por conducción obtenemos

$$\dot{q}_{conducción,resistencia} = K * \frac{(T_{resistencia} - T_{agua})}{L}$$

Donde:

K : Conductividad térmica $\rightarrow K_{ASI} = 16.3 \text{ W}/(\text{m} * \text{K})$

L : Espesor de lámina $\rightarrow L = 4.7624 * 10^{-3} \text{ m}$

T_{agua} : Temperatura del agua $\rightarrow 60^\circ\text{C} = 333 \text{ K}$

$T_{resistencia}$: Temperatura resistencia eléctrica $\rightarrow 88^\circ\text{C} = 361 \text{ K}$

Reemplazando

$$\dot{q}_{\text{conducción,resistencia}} = 16.3 \frac{W}{m \cdot ^\circ K} * \frac{(361 \text{ } ^\circ K - 333 \text{ } ^\circ K)}{4.7624 * 10^{-3} m}$$

$$\dot{q}_{\text{conducción,resistencia}} = 95832.02 \frac{W}{m^2}$$

3.5.5 Flujo de calor por radiación del agua

$$\dot{q}_{\text{radiación,agua}} = \frac{\sigma}{\frac{1}{\epsilon_w} + \frac{1}{\epsilon_v} - 1} (T_{\text{agua}}^4 - T_v^4)$$

Donde

ϵ_w : Emitancia del agua = 0.96

ϵ_v : Emitancia del vidrio = 0.8

$$\dot{q}_{\text{radiación,agua}} = \frac{5.6697 * 10^{-8}}{\frac{1}{0.96} + \frac{1}{0.8} - 1} [(333^\circ K)^4 - (320^\circ K)^4]$$

$$\dot{q}_{\text{radiación,agua}} = 79.47574712 \frac{W}{m^2}$$

3.5.6 Coeficiente de calor perdido por convección natural

$$h_{\text{convección,natural}} = 0.884 * \left[T_{\text{agua}} - T_v + \frac{P_{\text{agua}} - P_{\text{agua,vidrio}}}{268.9 * 10^3 - P_{\text{agua}}} * (T_w + 273) \right]^{1/3}$$

Donde:

P_{agua} : Presión de vapor a temperatura del agua $\rightarrow T_w = 19941 \text{ Pa}$

$P_{\text{agua,vidrio}}$: Presión de vapor a temperatura del vidrio $\rightarrow T_v = 12350 \text{ Pa}$

T_{agua} : Temperatura del agua $60^\circ C = 333 \text{ K}$

T_v : Temperatura del vidrio $47^\circ C = 320 \text{ K}$

Reemplazando en la ecuación decimos que:

$$h_{convección,natural} = 0.884 * \left[(333 - 320) + \frac{19941 - 12350}{268.9 * 10^3 - 19941} * (333 + 273) \right]^{1/3}$$

$$h_{convección,natural} = 2.791 \frac{W}{m^2 * K}$$

3.5.7 Coeficiente de radiación efectivo

$$h_{radiación,efectivo} = \frac{\epsilon_a * \sigma (T_v^4 - T_{agua}^4)}{T_v - T_{agua}}$$

Donde:

ϵ_a : Emisividad del acero AISI 316 ≈ 0.19

Reemplazando obtenemos:

$$h_{radiación,efectivo} = \frac{(0.19)(5.6697 * 10^{-8})(320^4 - 333^4)}{320 - 333}$$

$$h_{radiación,efectivo} = 1.50 \frac{W}{m^2 * K}$$

Como:

$$h_{radiación,efectivo} < h_{conveectivo,vidrio}$$

$$h_{convección,agua} = h_{conveectivo,vidrio} + \frac{3}{4} h_{radiación,efectivo}$$

$$h_{convección,agua} = 2.79 + \frac{3}{4} (1.50)$$

$$h_{convección,agua} = 3.92 \frac{W}{m^2 * K}$$

3.5.8 Flujo de calor por convección del agua

$$\dot{q}_{convección,agua} = h_{convección,agua}(T_{agua} - T_v)$$

$$\dot{q}_{convección,agua} = 3.92 (333 K - 320 K)$$

$$\dot{q}_{convección,agua} = 50.91 \frac{W}{m^2}$$

3.5.9 Coeficiente de transferencia de calor evaporativo

$$h_{evaporativo} = 0.013 * hT$$

$$h_{evaporativo} = 0.05 \frac{W}{m^2}$$

3.5.10 Flujo de calor evaporativo del agua

$$\dot{q}_{evaporativo} = h_{evaporativo} * (P_{agua} - P_{agua,vidrio})$$

$$\dot{q}_{evaporativo} = 0.05 \frac{W}{m^2} * (19941 - 12350)$$

$$\dot{q}_{evaporativo} = 386.48 W/m^2$$

3.5.11 Cantidad de calor necesario para evaporar el agua

$$\dot{Q}_{evaporar,agua} = \dot{x} * m_{agua} * \lambda$$

Donde:

\dot{x} : Fracción de agua a evaporar

λ : Calor latente de evaporación del agua

$$\dot{Q}_{evaporar,agua} = 1 * 0.56 \text{ kg} * 2257 * 10^3 \text{ J/kg}$$

$$\dot{Q}_{evaporar,agua} = 1.26392 * 10^6 \text{ J/3600s}$$

$$\dot{Q}_{evaporar,agua} = \mathbf{351.089 \text{ W}}$$

3.5.12 Cantidad de calor necesario para calentar el agua

$$\dot{Q}_{calentar,agua} = m_{agua} * C_{p_{agua}} (T_{agua} - T_v)$$

$$\dot{Q}_{calentar,agua} = 0.56 \text{ kg} * 4186 \frac{\text{J}}{\text{kg} * \text{K}} * (333 \text{ K} - 308 \text{ K})$$

$$\dot{Q}_{calentar,agua} = \mathbf{16.28 \text{ W}}$$

3.5.13 Cantidad de calor necesario para calentar el vidrio

$$\dot{Q}_{calentar,vidrio} = m_v * C_{p_v} (T_v - T_a)$$

$$\dot{Q}_{calentar,vidrio} = 13.12 \text{ kg} * 750 \frac{\text{J}}{\text{kg} * \text{K}} * (320 \text{ K} - 308 \text{ K})$$

$$\dot{Q}_{calentar,vidrio} = \mathbf{32.81 \text{ W}}$$

3.5.14 Calor necesario para calentar el vidrio y evaporar el agua

$$\dot{Q}_{necesario} = \dot{Q}_{calentar,vidrio} + \dot{Q}_{calentar,agua} + \dot{Q}_{evaporar,agua}$$

$$\dot{Q}_{necesario} = \mathbf{100.04 \text{ W}}$$

3.5.15 Calor absorbido por el sistema

Se debe tener en cuenta el calor almacenado en la carcasa condensadora de tal manera podemos decir que:

$$\dot{q}_{absorbido,exterior} = [q_{radiaci\`on,agua} + q_{convecci\`on,agua} + q_{evaporativo} + (\alpha g * I_T)] - [q_{radiaci\`on,vidrio} + q_{convecci\`on,vidrio}]$$

Reemplazando decimos que:

$$\dot{q}_{absorbido,exterior} = 217.60 \frac{W}{m^2}$$

Ahora se tiene que tener en cuenta el calor almacenado en el interior

$$\dot{q}_{absorbido,interior} = [I_T * \alpha g \alpha a] + q_{resistencia} - [q_{radiaci\`on,agua} + q_{convecci\`on,agua} + q_{evaporativo} + q c]$$

Reemplazando decimos que:

$$\dot{q}_{absorbido,interior} = 23869.93 W$$

3.5.16 Flujo de calor absorbido por el sistema

$$\dot{q}_{total,absorbido} = \dot{q}_{absorbido,interior} + \dot{q}_{absorbido,exterior}$$

$$\dot{q}_{total,absorbido} = 217.60 \frac{W}{m^2} + 23869.93 \frac{W}{m^2}$$

$$\dot{q}_{total,absorbido} = 24087.53 \frac{W}{m^2}$$

3.5.17 Capacidad de calor necesario para calentar y evaporar

$$\dot{Q}_{absorbido} = \dot{q}_{total,absorbido} * A_{bandeja}$$

$$\dot{Q}_{absorbido} = 24087.53 \frac{W}{m^2} * 0.04m^2$$

$$\dot{Q}_{absorbido} = 963.50 W$$

3.5.18 Energía total almacenada

$$\dot{Q}_{almacenado,sistema} = \dot{Q}_{necesario} + \dot{Q}_{absorbido}$$

$$\dot{Q}_{almacenado,sistema} = 100.04 W + 963.50 W$$

$$\dot{Q}_{almacenado,sistema} = \mathbf{1063.55 W}$$

3.5.19 Eficiencia del sistema

$$Eficiencia_{teorica} = \frac{Q_{almacenado,sistema}}{I_T} * 100$$

$$Eficiencia_{teorica} = \frac{1063.55 W}{(1371.5 \frac{W}{m^2} * 0.04m^2) + (95832.021 \frac{W}{m^2} * 0.04m^2)} * 100$$

$$Eficiencia_{teorica} = \mathbf{27.35 \%}$$

La falta de eficiencia fue provocada por las dimensiones de la bandeja superior, ya que al tener mayor área su eficiencia aumentara de manera significativa.

4. CONSTRUCCIÓN DEL DESTILADOR SOLAR

Para la construcción del destilador solar se realizó un estudio sobre las condiciones climáticas del lugar de funcionamiento, y de esta manera determinar los materiales adecuados a emplear teniendo en cuenta su mantenimiento y conservación.

4.1 MATERIAL DE ALMACENAMIENTO DE AGUA SALADA Y AGUA DESTILADA

Se tomaron en cuenta tres tipos de materiales para la construcción de los recipientes de almacenamiento del agua salada y desalinizada. En la tabla 30 se analizan las características más relevantes.

Tabla 30. Materiales para almacenamiento de aguas.

Material	Conductividad térmica	Densidad	Dureza	Coefficiente de expansión térmica
Acero inoxidable 316	16.3 (W/m.K)	7.96 (g/m ³)	85,0 – 91,1 – Rockwell C.	16 – 18 (10 ⁻⁶)/K
Nylon 6.6	0.24 – 0.28 W/m.K)	1.13 (g/m ³)	82 Rockwell C.	95 * 10 ⁻⁶ /K
Aluminio	237 (W/m.K)	2.70 (g/m ³)	175 Brinell .	23.5 * 10 ⁻⁶ /K

Fuente: GOOD FELLOW. Aluminio (Al). [En línea].<<http://www.goodfellow.com/S/Aluminio.html>>.

Se utilizaron bandejas construidas en Acero inoxidable AISI 316, ya que cumplía con las características físicas requeridas por el ambiente al que va a estar expuesto el dispositivo, este tipo de acero presenta un coeficiente de expansión térmica muy pequeña respecto a los otros materiales, además de resistencia a la corrosión producida por el agua.

4.2 AISLANTES

Evitar las pérdidas de calor es un tema importante en este proyecto, fue por eso que se utilizó un aislante térmico para disminuirlas y mantener el flujo de calor hacia la bandeja superior. En la tabla 31, se analizaron dos tipos de aislante con sus respectivas características. En el prototipo se utilizó fibra de vidrio encapsulada para la bandeja que recibe el agua salada, esta va alrededor de la resistencia permitiendo que el calor emitido se concentre en un solo punto.

Tabla 31. Aislantes térmicos.

Material	Rango de temperatura de operación	Corrosión	Conductividad térmica
Fibra de vidrio	538 °C	NO	a 23 °C= 0.037
Elastómero	104 °C	NO	a 32 °C = 0.039

Fuente: OWENS CORNING. Aislamiento para hornos de estufas, calentadores de gas y equipos de aire acondicionado. Ciudad de México. 2008.

4.3 FILTRO REMINERALIZADOR

El agua de mar desalinizada, mediante el proceso de evaporación-condensación puede llegar hacer H_2O puro siendo una desventaja para el consumo humano por su falta de minerales. Por esta razón se vio la necesidad de implementar un filtro remineralizador que neutralice los minerales necesarios para su consumo.

Figura 34. Características del filtro remineralizador.

FUNCIÓN PRINCIPAL	REMINERALIZACIÓN Y CORRECCION DE PH EN AGUAS ACIDAS	
DIMENSIONES	DIAMETRO	LONGITUD
	2"	10"
PESO	200 g	
CONEXIONES	¼" roscado hembra	
MATERIAL CONTENEDOR	POLIPROPILENO	
MEDIO FILTRANTE	GRANCAL	
CAUDAL MÁXIMO	1,8 LPM / 0.5 GPM	
PRESIÓN MÁXIMA	125 PSI / 8,6 BAR	
TEMPERATURA MINIMA	35°F / 2°C	
TEMPERATURA MÁXIMA	100°F / 38°C	
VIDA UTIL	1000 L / 260 G (EN FUNCIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL AGUA)	

Fuente: Monsolar. Filtro remineralizador
www.monsolar.com/pdf/ficha_postfiltro_remineralizador.pdf.

4.4 RESISTENCIA TÉRMICA

El ferroníquel es un material que gracias a su composición química de 80% de níquel y 20% de cromo aproximadamente, es capaz de convertir energía eléctrica en energía calórica. Es un alambre que se utiliza a temperaturas de operación de hasta 1200 °C y sirve para aplicaciones de calefactores domésticos e industriales, por esto se buscó la manera de adaptar un tipo de resistencia que cumpliera nuestras necesidades y condiciones con tres modelos de resistencia hechas de este material (Tabla 32) [33].

Tabla 32. Tipo de resistencia.

Tipo	Imagen	Ventajas	Desventajas
Resistencia tipo abrazadera cuadrada con conector tipo plancha		Reparte el calor uniformemente alrededor de la figura mostrada.	Tiene pérdidas de calor por su disipación hacia la parte exterior.
Resistencia de inmersión		Su diseño hace que se pueda sumergir en líquidos para calentarlos de manera más rápida y eficiente.	Si no se aísla correctamente puede generar un corto circuito.
Resistencia tubular		Se acomoda a las necesidades del fabricante para darle la forma deseada.	Puede haber pérdidas de calor por su disipación hacia todas las direcciones, ya que no es sumergible.

Fuente: ELECTRO SILVANIA. Línea de calefacción industrial. [En línea]. <<http://www.electrosilvania.com>>.

4.5 CARCASA CONDENSADORA

La transformación de vapor de agua a condensado se obtiene con la ayuda de la carcasa condensadora, ya que estando a temperatura ambiente, el vapor de agua sufre un cambio de estado al lograr el equilibrio térmico, generando así agua. Gracias a su inclinación por gravedad se acumula en la bandeja inferior.

Pese a la necesidad de aprovechar toda la cantidad de energía posible para el proceso de condensación de agua salada utilizamos un diseño de desalinizador tipo caseta el cual cuenta con un cristal que capta la luz emitida por el sol. En la tabla 33 se tienen en cuenta las características físicas de los posibles materiales que pueden cumplir esta función.

Tabla 33. Características de materiales para carcasa condensadora.

Material	Dureza	Coefficiente de dilatación lineal	Calor específico	Conductividad térmica
Vidrio crudo	4.5-6.0 MOHS	$(9 * 10^{-6})/K$	$0.72 * 10^3 J/(kg * K)$	$1 W/(m * K)$
Acrílico	Rockwell C 68-105	$(1.3 * 10^{-5})/K$	$1256,04 J/(kg * K)$	$1674,72 - 2512,08 W/(m * K)$

Fuente: EUROGLAS. Ficha técnica cristal templado. [En línea]. <<http://www.euroglas.net>>.

Pese a las características ofrecidas por los materiales en sus comportamientos térmicos seleccionamos el vidrio con un proceso adicional denominado templado, el cual ofrece las siguientes ventajas.

- Resiste 4 a 5 veces más que un cristal regular, puede ser de 120 MPa.
- Puede soportar un gradiente térmico de hasta 250 °C.
- Resiste hasta 170 kg de carga concentrada.
- Tiene 69 mm de deflexión volviendo a su estado natural al quitar una carga.

4.6 SISTEMA DE MOVIMIENTO

El prototipo funcional tiene que tener la capacidad de moverse con facilidad para que el usuario pueda trasladar el montaje completo hacia el lugar deseado o con mayor captación de luz solar, por esta razón se implementaron unos ruedas tipo rodachin en la base para su movilidad.

4.7 SISTEMA DE SEGURIDAD DEL VIDRIO CON LA ESTRUCTURA

El sistema tiene que garantizarnos que el vapor de agua a condensar no se salga y se repose en la bandeja principal, por esto se utilizaron diferentes clases de tornillos y accesorios los cuales nos ayudaron en la sujeción del vidrio templado hacia la estructura en acero inoxidable, teniendo en cuenta las necesidades para el proyecto sin afectar el agua a destilar y garantizando las condiciones en que será expuesto, con base en esto se definieron los siguientes componentes para su realización:

- Tornillo acero inoxidable 304 10 mm x 120 mm.
- Tuerca acero inoxidable 304.
- Arandela acero inoxidable 304.
- Dilatador de 2.465 cm x 4.44 cm en acero inoxidable 304.
- Tornillo de 1/4 x 1/2 en acero inoxidable 304.
- Cuadrado de 40 mm de ancho x 15 mm de alto x 49mm de grosor hecho en duraluminio 7075.

4.8 BASE PARA ESTRUCTURA

El mecanismo tiene que estar soportado sobre una base segura y confiable, se fabricó en un material tipo ángulo estructural teniendo en cuenta los cálculos estructurales obtenidos en el capítulo 3 (Sección 3.1).

4.9 PROCESO DE CONSTRUCCIÓN

Teniendo todas las piezas seleccionadas y fabricadas seguimos con el armado del prototipo, lo primero que tenemos que tener en cuenta es nivelar la base para garantizar que el agua decantara por el desagüe ubicado el centro de la bandeja inferior, y con ayuda de un nivel de burbuja aseguramos que la pieza está estable como se puede observar en la Figura 35.

Figura 35. Nivel tipo burbuja.



Fuente: Autores.

A continuación colocamos la bandeja inferior (Figura 36) sobre la base ya nivelada, para asegurar el contenido destilado se utilizó unos empaques tipo cauchos que ayudan a que el sistema quede hermético.

Figura 36. Empaques de caucho.



Fuente: Autores.

Siguiendo con el proceso de armado, introducimos la resistencia que se conecta por medio de dos cables que salen hacia la parte interna de dos de los tubos que sostienen la bandeja superior, así se podrá alimentar la resistencia para que genere el proceso de evaporación (Figura 37).

Figura 37. Resistencia eléctrica.



Fuente: Autores.

Colocando la carcasa condensadora sobre la bandeja inferior, se puede asegurar con ayuda de los accesorios hechos para sujetar las dos piezas (Figura 38), de esta manera garantizamos que no existirán fugas de vapor o condensado.

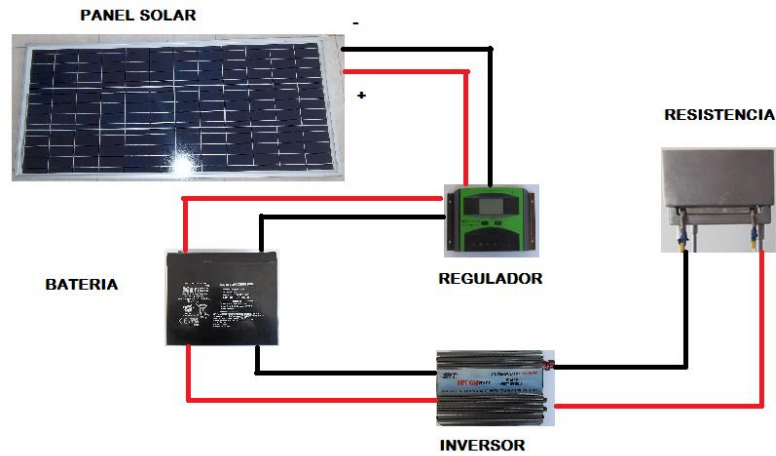
Figura 38. Sujeción carcasa condensadora.



Fuente: Autores.

Finalizando, conectamos el dispositivo al sistema fotovoltaico para alimentar la resistencia y poder dar inicio al funcionamiento de nuestro dispositivo (Figura 39).

Figura 39. Montaje eléctrico.



Fuente: Autores.

5. ZONA DE EXPERIMENTACIÓN

Se realizaron las pruebas en el departamento del Atlántico, en el conjunto residencial de Playa Mendoza, en donde se realizó una prueba piloto del mecanismo funcionando para verificar si se tenía algún escape en la bandeja superior e inferior (Figura 40), garantizando así que la separación del agua de mar con el agua procesada fuera confiable.

Figura 40. Funcionamiento del destilador solar.



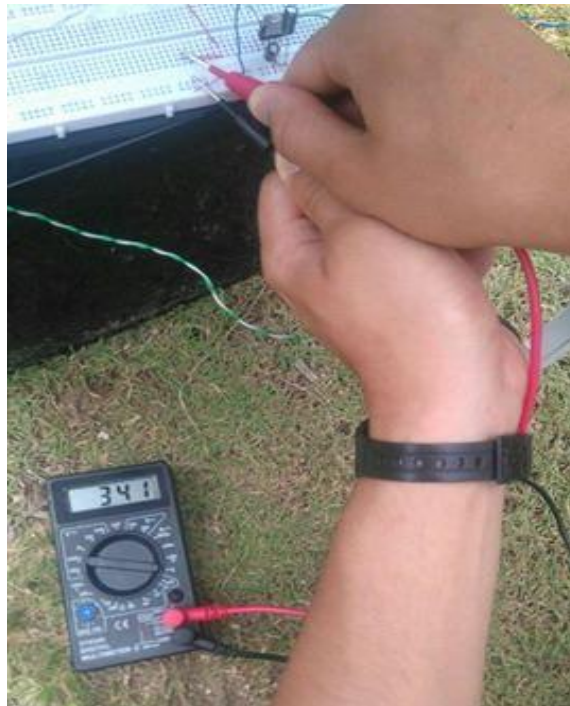
Fuente: Autores.

También se verificó que la resistencia térmica funcionara al 100% con la carga total de la batería, analizando su funcionamiento.

Para los cálculos termodinámicos se tomó como referencia una muestra por hora con ayuda de un sensor LM35 y un multímetro (Figura 41), se tomaron las mediciones de:

- Temperatura en el interior
- Temperatura ambiente
- Temperatura del agua
- Temperatura del vidrio
- Temperatura de la resistencia
- Temperatura de la Bandeja

Figura 41. Toma de muestras de la temperatura interior y exterior.



Fuente: Autores.

La prueba se realizó con medio litro de agua de mar, que se vertieron en el dispositivo para analizar su comportamiento, al cabo de 4 días.

Los días en los que se hicieron las pruebas tuvieron condiciones climáticas adversas, por lo cual el proceso demoró alrededor de 4 horas por día. Dando como resultado la condensación total de agua, con los residuos salinos en la bandeja superior (Figura 42).

Figura 42. Obtención de la sal marina.



Fuente: Autores.

A continuación se anexan las tablas con la fecha y las mediciones de la temperatura externa e interna del sistema.

Tabla 34. Mediciones 21 de abril del 2017.

HORA	TEMPERATURA EXTERNA (°C)	TEMPERATURA INTERNA (°C)
9:00 am	28	28
10:00 am	29.2	30
11:00 am	29.5	35.5
12:00 m	34	44.2

Fuente: Autores.

Tabla 35. Mediciones 22 de abril del 2017.

HORA	TEMPERATURA EXTERNA (°C)	TEMPERATURA INTERNA (°C)
8:00 am	34.5	45
9:00 am	35.5	46.2
10:00 am	34	46.5
11:00 am	34	45

Fuente: Autores.

Tabla 36. Mediciones 23 de abril del 2017.

HORA	TEMPERATURA EXTERNA (°C)	TEMPERATURA INTERNA (°C)
6:15 am	28	28
7:15 am	29.2	30
8:15 am	29.5	35.5
9:15 am	34	44.2

Fuente: Autores.

Tabla 37. Mediciones 24 de abril del 2017.

HORA	TEMPERATURA EXTERNA (°C)	TEMPERATURA INTERNA (°C)
9:00 am	33	44
10:10 am	34.5	46.9
11:10 am	34	46,4
12:10 am	34,2	46

Fuente: Autores.

6. RESULTADOS Y PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

6.1 PRUEBAS DE LABORATORIO

Según el decreto 1575 del 2007 y su resolución reglamentaria 2115 del 2007, se tienen que tener en cuenta ciertos parámetros para la aprobación del agua apta para el consumo humano en dos ramas

- Análisis microbiológico.
- Análisis fisicoquímico.

6.1.1 Análisis microbiológico

Es el procedimiento que determina la presencia o ausencia de microorganismos en el agua teniendo en cuenta los siguientes parámetros:

Tabla 38. Indicadores a evaluar en microorganismos presentes en el agua.

COLIFORMES	Indicador de contaminación microbiológica de agua para consumo humano
ESCHERICHIA COLI	Indicador microbiológico preciso de contaminación fecal en el agua para consumo humano

Fuente: Ministerio de la protección social .Resolución 2115 de 2007. Bogotá. 2007.

6.1.2 Análisis fisicoquímico

Este análisis evalúa las características físicas y químicas del agua, donde se tiene en cuenta los siguientes parámetros:

Tabla 39. Características físicas y químicas del agua.

DUREZA	Concentración de compuestos minerales en especial calcio y magnesio
CLORUROS	Los cloruros en grandes cantidades provocan un sabor salado.
PH	Medida de acidez o alcalinidad de una disolución

HIERRO	Elemento encontrado en el agua por agentes industriales y agrícolas en exceso puede ser perjudicial para la salud.
COLOR APARENTE	Color verdadero donde no hay turbiedad.
OLOR Y SABOR	Sensación del agua al ingerirse.
TURBIEDAD	Dificultad del agua para transmitir luz por causa de materiales insolubles.
CLORO RESIDUAL LIBRE	Concentración de cloro para la desinfección del agua.
NITRITOS	Se encuentran en pocos miligramos por litro iones que existen de manera natural.
SULFATOS	En grandes cantidades pueden convertirse en laxantes.
SUSTANCIAS FLOTANTES	Partículas sólidas externas como granos de arena o ramas.

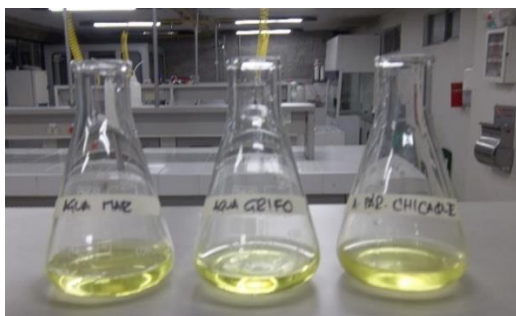
Fuente: Ministerio de la protección social .Resolución 2115 de 2007. Bogotá. 2007.

Teniendo en cuenta los parámetros anteriores, se trasladó el agua obtenida por el dispositivo a un laboratorio certificado por la ONAC y que tenga en cuenta los parámetros por la resolución 2115 del año 2007 para realizar estas pruebas, obteniendo los resultados adjuntos en el anexo C.

6.1.3 Análisis de muestras de agua

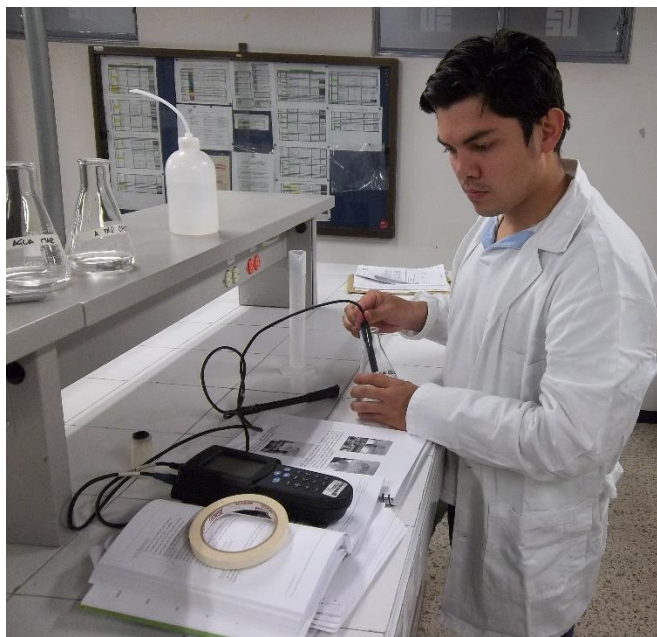
Con los resultados obtenidos mediante el laboratorio certificado (Anexo C), se realizaron comparaciones con tres tipos, agua de mar, agua de páramo chicaque y agua del grifo de Bogotá (Figura 43), los cuales fueron sometidas a diferentes pruebas realizadas en los laboratorios de calidad de agua de la Universidad Piloto de Colombia.

Figura 43. Tipos de agua analizada.



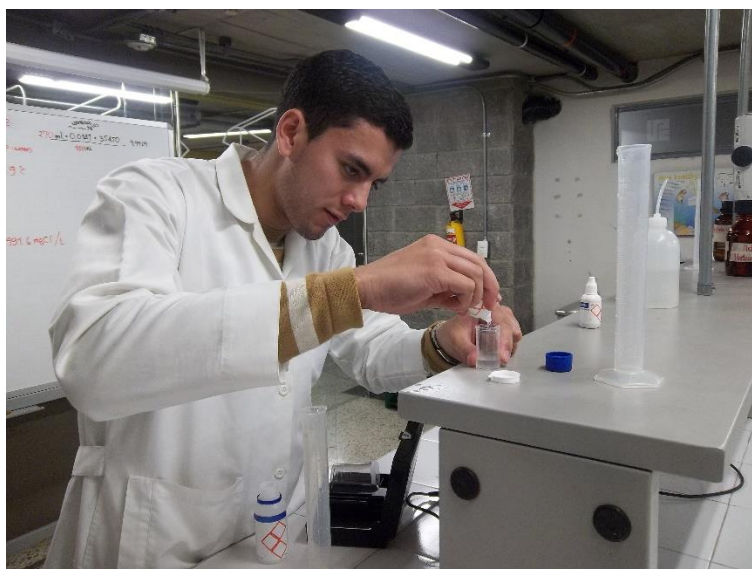
Fuente: Autores.

Figura 44. Análisis del PH.



Fuente: Autores.

Figura 45. Análisis de cloruros.



Fuente: Autores.

Figura 46. Análisis de turbiedad.



Fuente: Autores.

Tabla 40. Análisis de características fisicoquímicas.

PRUEBAS REALIZADAS	AGUA DE GRIFO	AGUA DE PÁRAMO	AGUA DE MAR
PH	6.5	6.2	8.6
Temperatura	18.1 °C	11.4 °C	15.9 °C
Dureza	72 mgCaCO ₃ /Lt	120 mgCaCO ₃ /Lt	6900 mgCaCO ₃ /Lt
Cloruros	9.99 mg * CL ⁻¹ /Lt	111.96 mg * CL ⁻¹ /Lt	26991.6 mg * CL ⁻¹ /Lt
Hierro	0.32 mg/Lt	0.14 mg/Lt	0.16 mg/Lt
Sulfatos	0 mgSO ₄ /Lt	0 mgSO ₄ /Lt	80 mgSO ₄ /Lt
Turbiedad	0 UNT	0.01 UNT	8.23 UNT
Conductividad	62.50 μs	45.35 μs	51.47 μs

Fuente: Autores.

7. RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS

El prototipo diseñado destila medio litro de agua en un tiempo aproximado de 4 horas en condiciones críticas, hay que tener en cuenta que este dispositivo es un primer modelo, por lo que en su diseño y construcción se pudieron observar y analizar mejoras que pueden ser aplicadas, como lo son:

- Ampliar el área de la bandeja y disminuir su altura, ya que esto facilitara que el agua tenga una mejor distribución y que el calor necesario para realizar el proceso sea menor, mejorando así su eficiencia.
- El dispositivo se debe instalar en una vivienda expuesta al sol, teniendo en cuenta que no puede estar sometida a la presencia de altas corrientes de aire, ya que al refrigerar el dispositivo, este disminuye su rendimiento.
- Debido al que el dispositivo va a estar expuesto a condiciones extremas, se recomienda utilizar acero inoxidable AISI 316 o un material resistente a la corrosión, fluctuación y dilatación térmica.
- Hay que tener en cuenta que este dispositivo fue diseñado y construido para destilar agua de mar, en posibles trabajo futuros se puede evaluar su uso para otros tipos de masa acuífera (Fluidos).
- Según el decreto 1575 del 2007 y su resolución reglamentaria 2115 del 2007, el agua potable debe contener una cantidad de cloro de 0.3 a 0.2 mg/L Cl₂. Se recomienda hacer el cálculo respectivo y adicionar la cantidad necesaria para cumplir con este requerimiento, ya que el agua obtenida no contiene cloro residual libre.
- Otro aspecto importante es verificar que el nivel instalado en la estructura se encuentre en su punto medio, ya que si no se tiene en cuenta esto, el agua condensada puede estancarse en alguno de sus extremos, provocando que el agua a destilar se deteriore.
- Para mejorar la transferencia de calor se recomienda que la base de la bandeja a calentar tenga rugosidades, incrementando así su eficiencia al generar más burbujas.

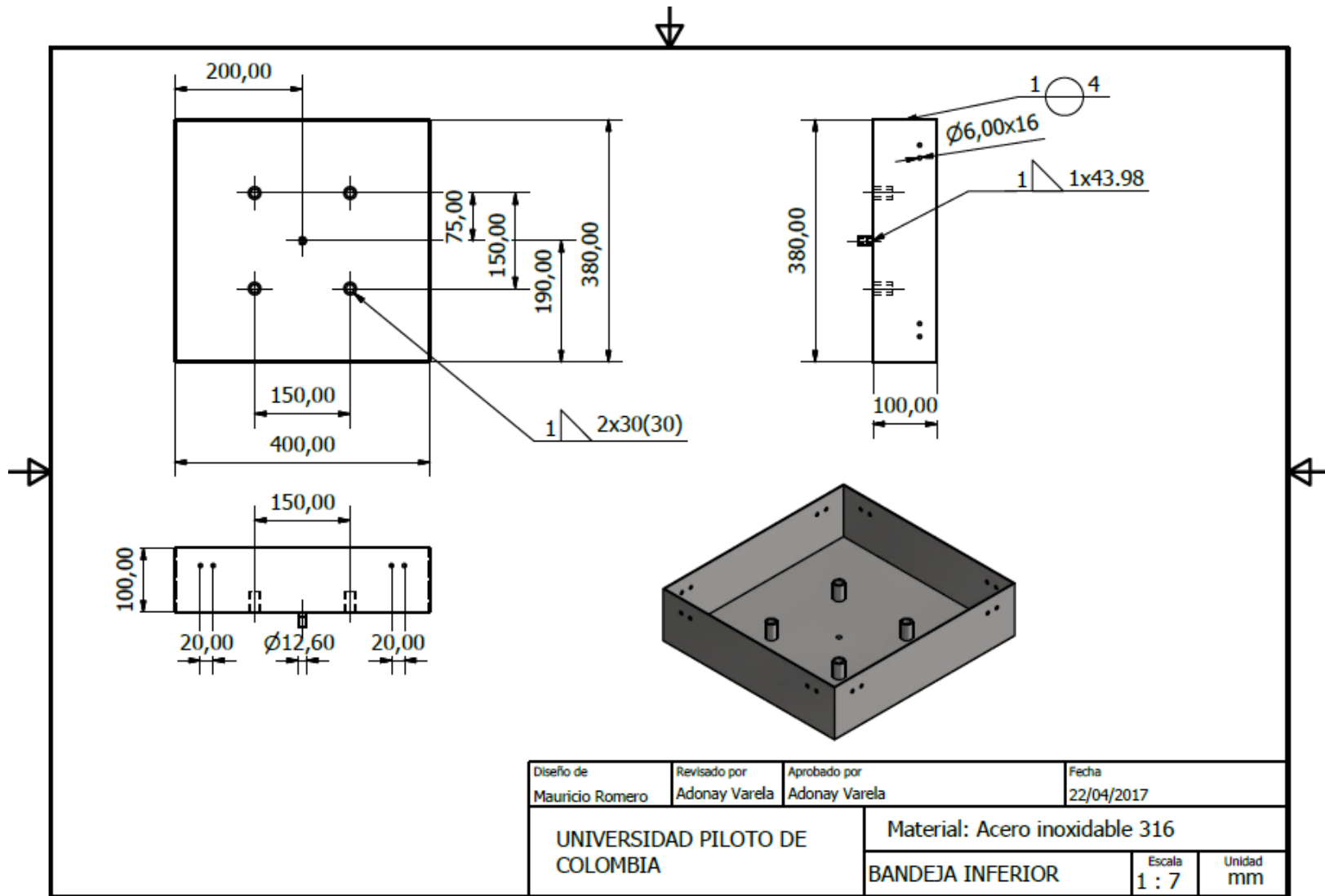
REFERENCIAS

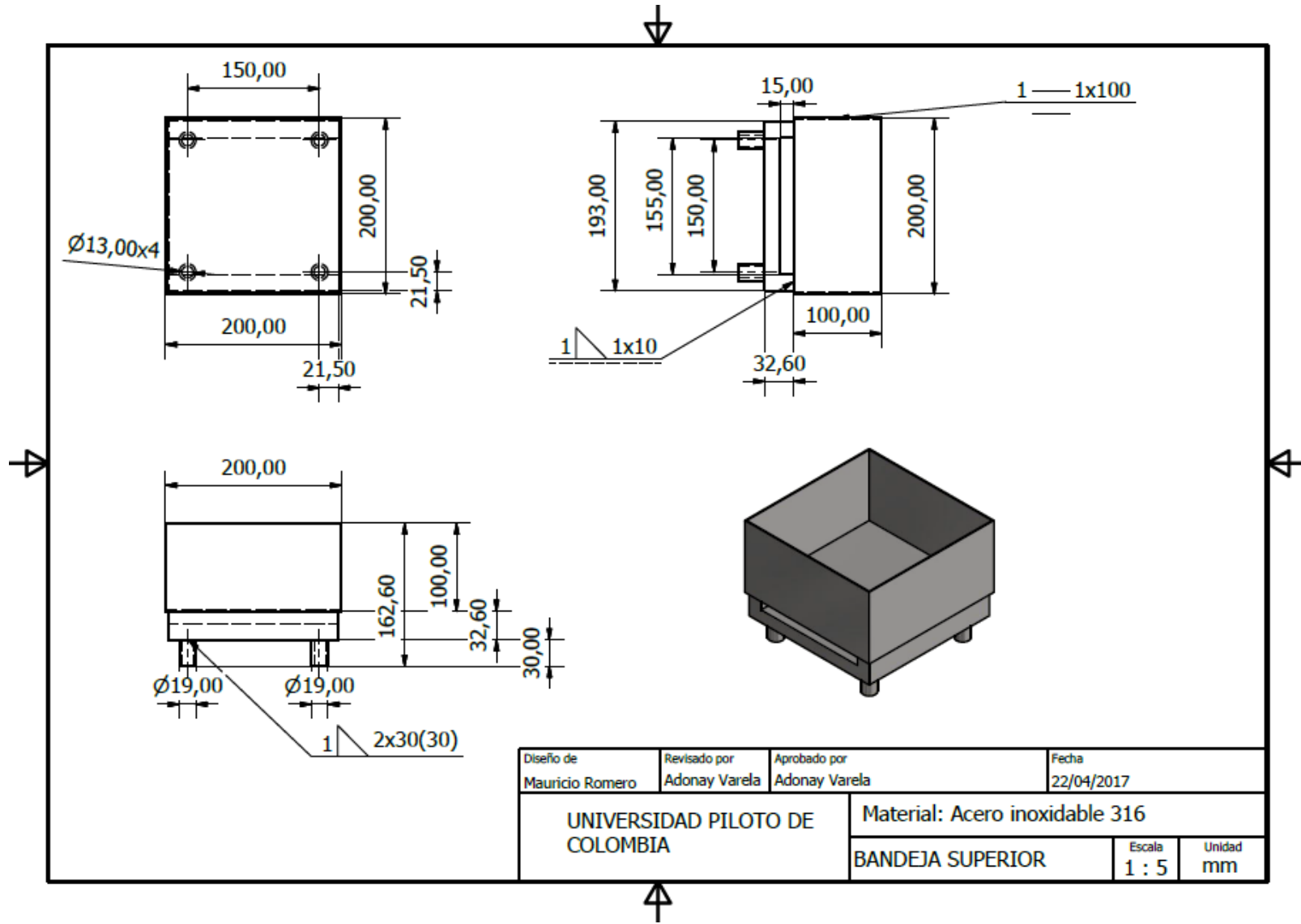
- [1] C. G. d. I. n. República, Estado de los Recursos Naturales y del Ambiente 2007-2008, Bogotá: Imprenta Nacional, 2008.
- [2] P. F. Montoya, Planta Piloto Potabilizadora de Agua de Mar con Energía Solar, Quito: Escuela Politécnica Nacional, 2009.
- [3] M. C. Téllez, Desarrollo y análisis energético de destiladores solares de agua con convección natural y conversión forzada, Ciudad de México: Universidad Autónoma de México, 2008.
- [4] I. Z. Paz, Purificación del agua por condensación provocada por calentador automático seguidor solar con supervisión de MINI-SCADA FAST-TOOLS, Arequipa: Universidad Católica de Santa María, 2015.
- [5] J. A. Nunes, Diseño conceptual de una planta portátil de desalinización de agua de mar con energía alterna, Sartenejas: Universidad Simón Bolívar, 2006.
- [6] y. S. A. K. Lorena Yael Horowicz, Potabilizador de agua para consumo familiar en zonas rurales, Buenos Aires: Universidad de Buenos Aires, 2011.
- [7] F. J. H. B. y. J. I. M. Urrutia, Diseño, construcción y validación de un destilador solar para uso en los laboratorio de la planta piloto en la escuela de ingeniería química, El Salvador : Universidad de El Salvador , 2012.
- [8] B. R. T. Miranda, Diseño y construcción de un destilador solar para agua de una capacidad de 200ml/día para los laboratorios CIVADAI, Quito: Universidad politécnica Salesiana, 2015.
- [9] J. P. V. y. A. S. Romero, Análisis del comportamiento de un prototipo de destilador solar en la ciudad de Cartagena, Cartagena: Universidad de Cartagena, 2015.
- [10] A. L. B. S. y. R. A. T. Susana Fonseca Fonseca, «Análisis exergetico del destilador solar,» *Tecnología Química*, vol. XXIX, nº 3, pp. 17-26, 2009.
- [11] J. M. R. Arcos, Desalinización de agua del mar mediante el uso de energía solar, Veracruz: Universidad Veracruzana, 2013.
- [12] N. E. J. A. y. S. A. R. Gereda, Diseño y contrucción de un colector solar de tubos al vacio, Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander , 2012.

- [13] R. C. F. Nicolalde, Diseño y construcción de un prototipo de destilador de agua, utilizando energía solar, Quito: Universidad politécnica salesiana, 2015.
- [14] W. C. Yavara, Estudio de dos tipos de destiladores solares pasivos para el tratamiento de aguas del río camuña en la región de Tarapacá, Iquique : Universidad Arturo Prat, 2013.
- [15] E. A. M. Ortega, Estudio de factibilidad de la implementación de un Destilador Solar como abastecedor de agua de bebida a partir de agua de mar para la base naval de baltra, Galapagos, Guayaquil : Escuela superior politécnica del litoral , 2002.
- [16] C. P. Rojas, Implementación de destiladores solares para la recuperación de agua desde piscinas de evaporación de Enaex planta Río Loa, Valparaíso: Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, 2015.
- [17] P. R. U. y. K. S. Eduardo Galves Soto, «Desalinizador solar de multiples efectos a la alta temperatura: Diseño, modelacion y simulacion,» *Facultad de ingeniería U.T.A*, vol. 11, nº 2, pp. 25-33, 2003.
- [18] J. A. A. Ulloa, Destilador solar para potabilizar el agua para una familia de 3 a 4 personas en el sitio bajo alto cantón el guabo provincia del oro, Machala: Unidad académica de Ingeniería civil , 2015.
- [19] A. G. L. Rojas, Diseño de un destilador solar destinado a la potabilización de agua de lluvia, Mexico D.F.: Instituto politécnico nacional, 2015.
- [20] M. Á. L. Carrera, Diseño e implementación de un sistema automático de purificación de agua por medio de energía, reflexión solar y luz ultravioleta, Quito : Escuela politécnica nacional , 2015.
- [21] C. M. y. E. Lam, «Evaluación de un sistema de desalinización solar, tipo concentrador cilíndrico parabólico de agua de mar,» *Avances en Ciencias e Ingeniería*, vol. VI, pp. 19-27, 2015.
- [22] C. Bernal, Metodología de la investigación, Bogotá: Prentice hall, 2010.
- [23] C. d. Johannesburgo. [En línea]. Available: <http://www.cinu.org.mx/eventos/conferencias/johannesburgo/documentos/pk/wssd4watersp.pdf>. [Último acceso: 15 Abril 2017].
- [24] C. J. Bolivar Prieto, El agua: sus formas, efectos, abastecimientos, usos, daños, control y conservación, Bogotá: Ecoe Ediciones, 2004.
- [25] O. m. d. I. salud, Cantidad minima de agua, Organizacion mundial de la salud , 2009.

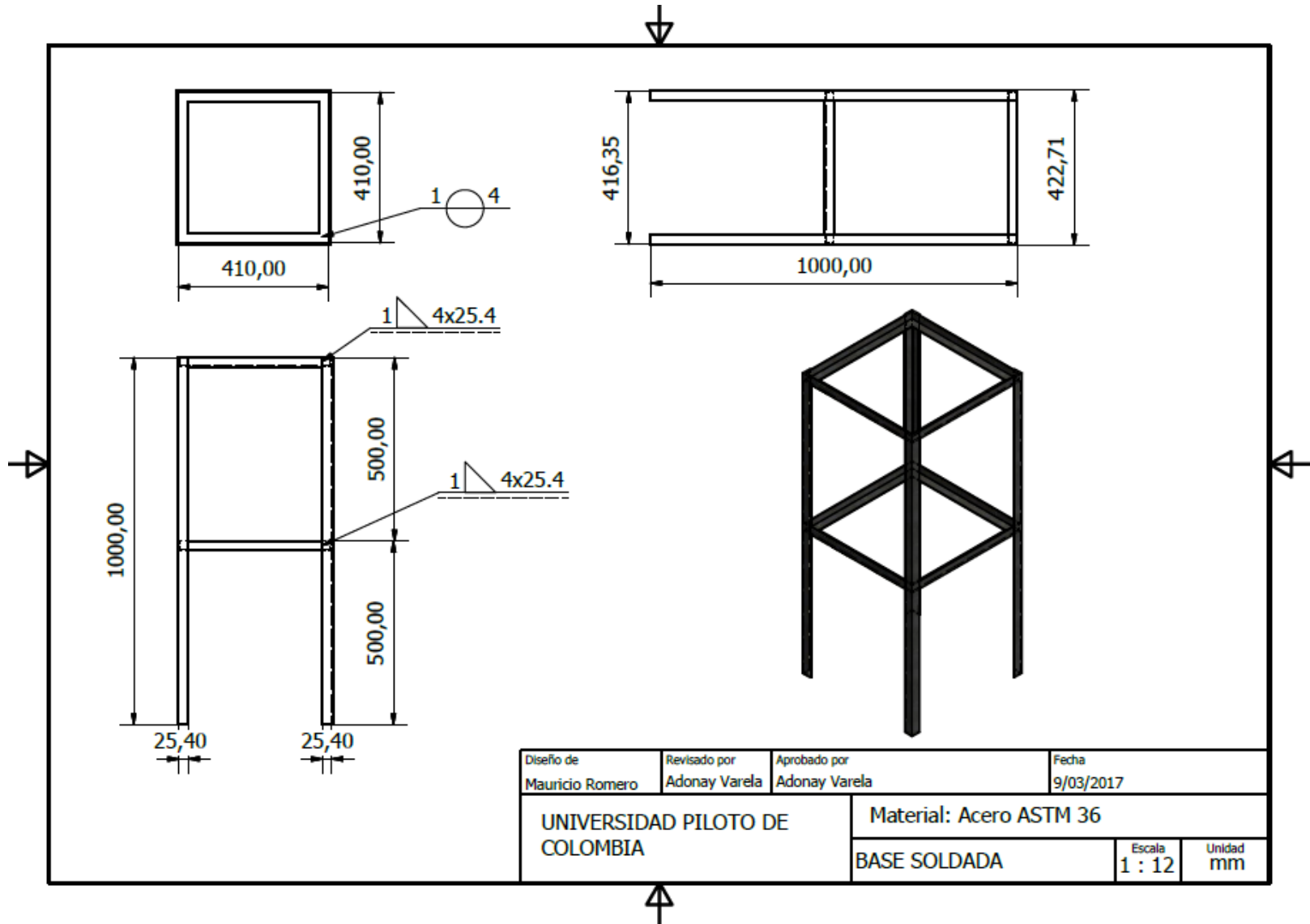
- [26] N. renovable, «Wikipedia. org,» [En línea]. Available: https://es.wikipedia.org/wiki/Energ%C3%ADa_no_renovable. [Último acceso: 29 Marzo 2017].
- [27] Renovable, «Wikipedia. org,» [En línea]. Available: https://es.wikipedia.org/wiki/Energ%C3%ADa_renovable. [Último acceso: 25 Marzo 2017].
- [28] v. y. d. t. IDEAM (Ministerio de ambiente, Atlas de radiación solar de colombia, Bogotá, 2005.
- [29] R. C. P. A. C. S. y. M.-A. C. G. José Antonio Carta González, Centrales de energia renovables (Generacion electrica con energias renovables), Madrid : Pearson Prentice hall, 2009.
- [30] Y. A. Cengel, Transferencia de calor y masa, Ciudad de Mexico: Mc Graw hill, 2007.
- [31] V. Faires, Diseño de elementos de máquinas, México: LIMUSA, 1995.
- [32] «Laboral2tecnologia.wikispaces.com,» [En línea]. Available: <https://laboral2tecnologia.wikispaces.com/file/view/PROCESO%2520AISLADAS%5B1%5D.pdf..> [Último acceso: 15 03 2017].
- [33] «Alloy wire,» [En línea]. Available: http://www.alloywire.com/spanish/products_RW80.html. [Último acceso: 18 Abril 2017].

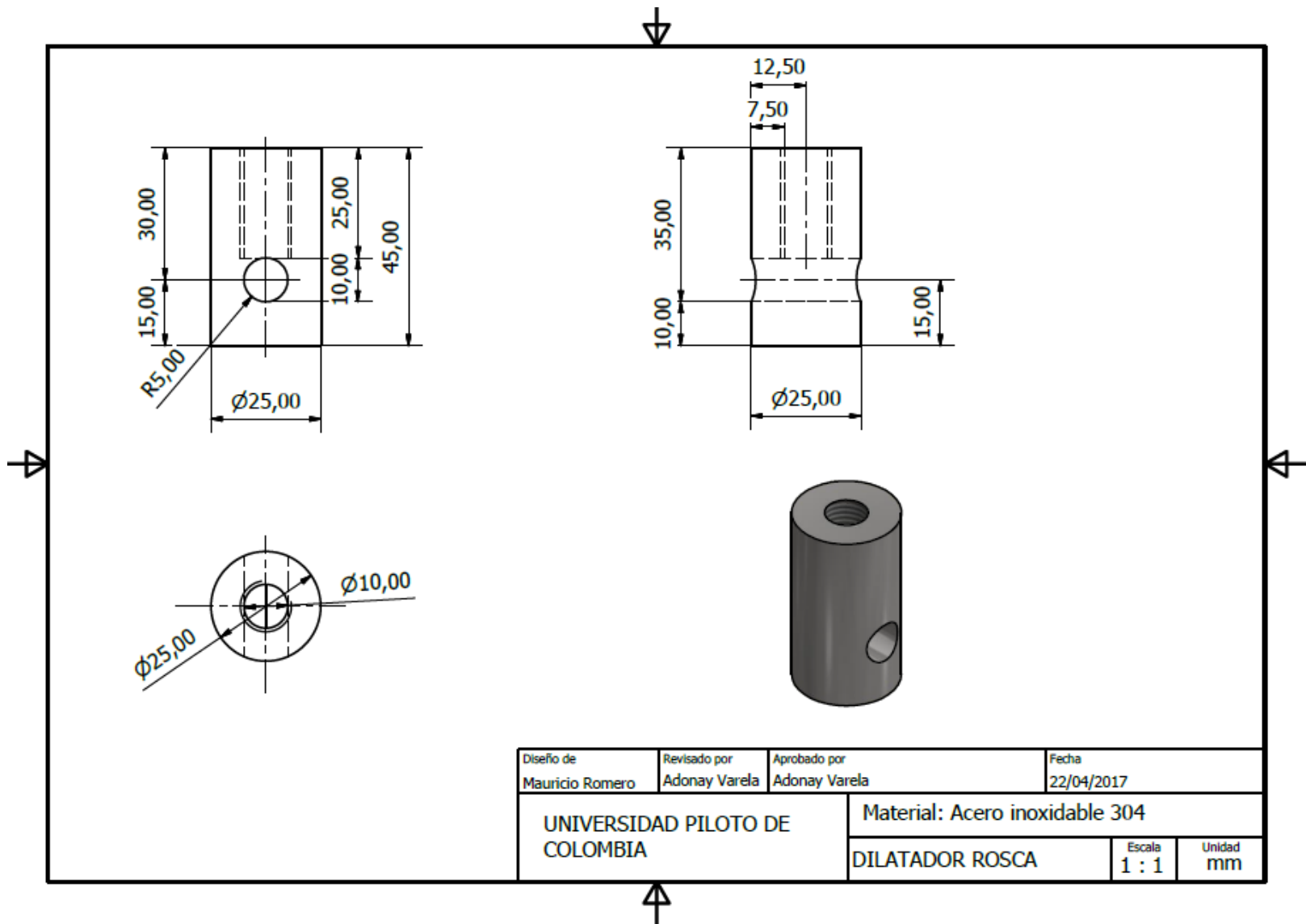
8. ANEXO A. PLANOS MECÁNICOS



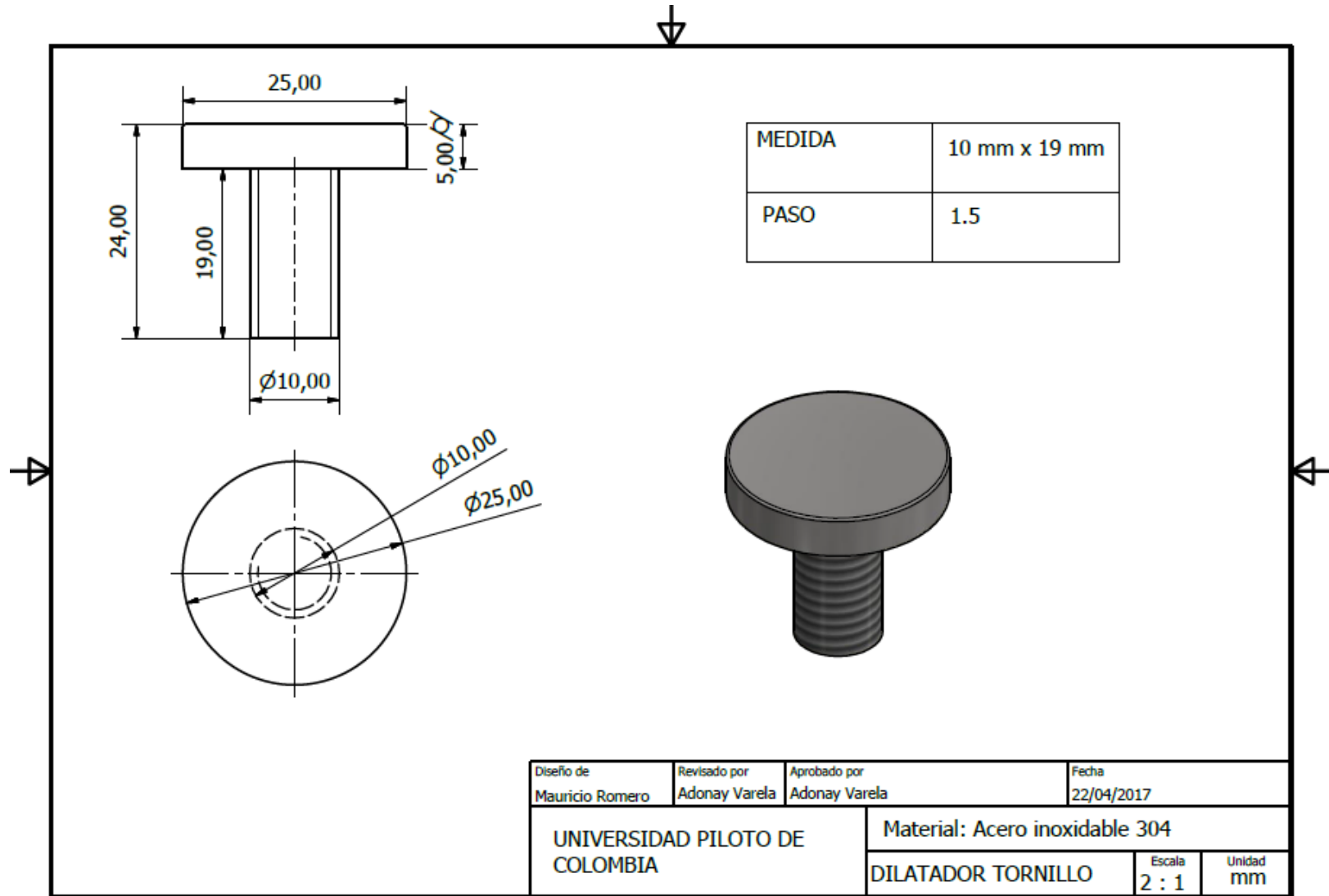


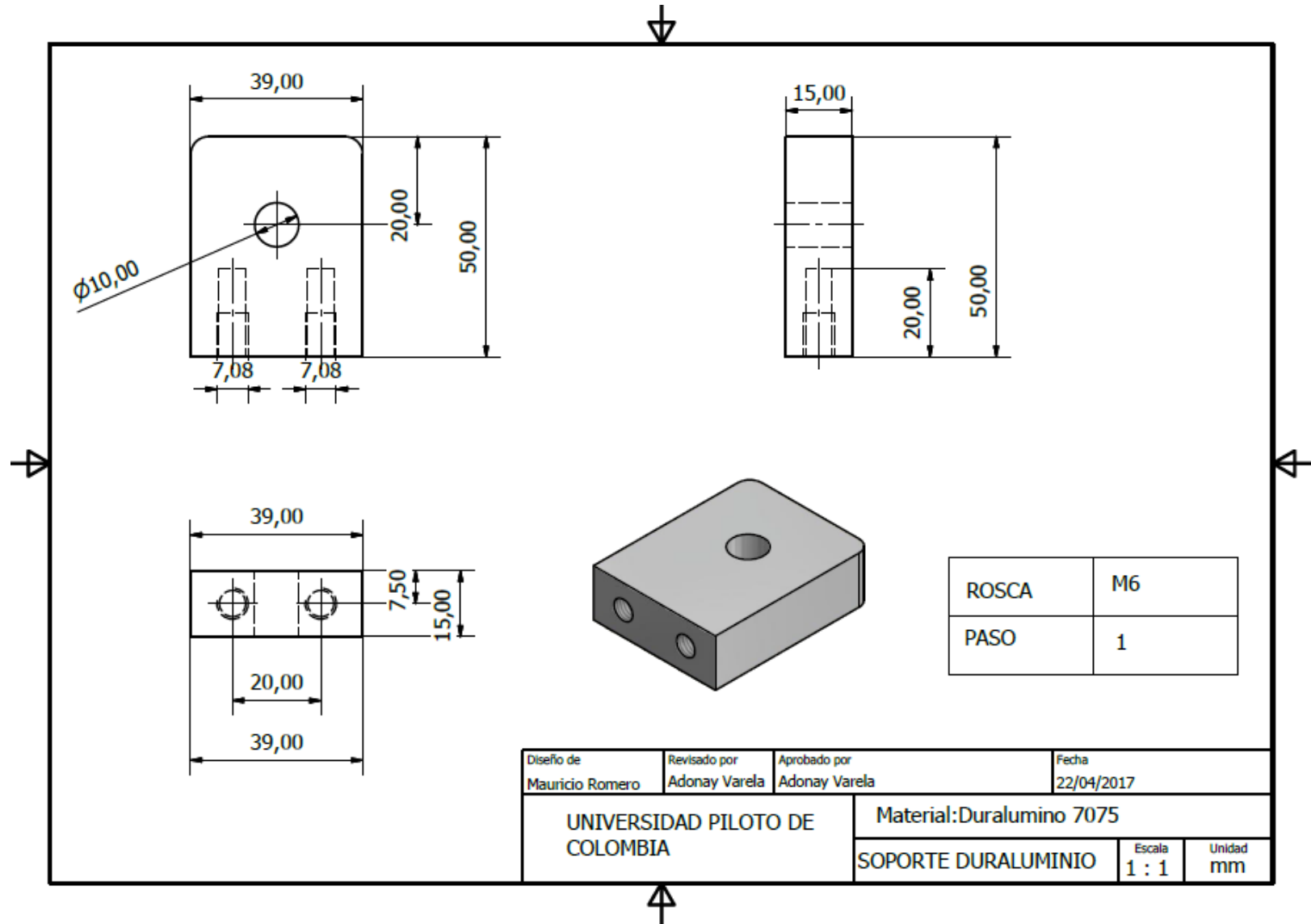
Diseño de Mauricio Romero	Revisado por Adonay Varela	Aprobado por Adonay Varela	Fecha 22/04/2017
UNIVERSIDAD PILOTO DE COLOMBIA		Material: Acero inoxidable 316	
		BANDEJA SUPERIOR	Escala 1 : 5
			Unidad mm

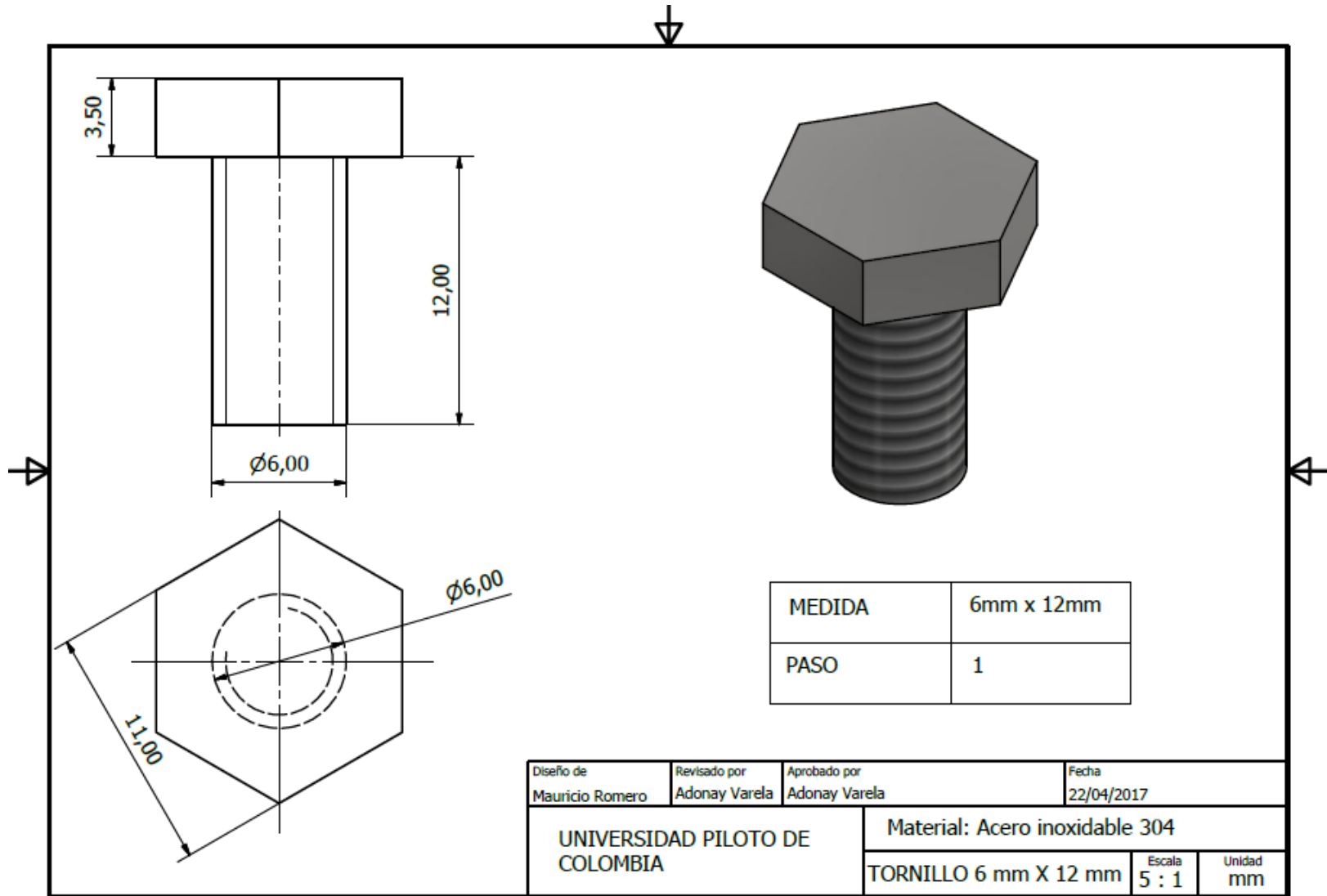


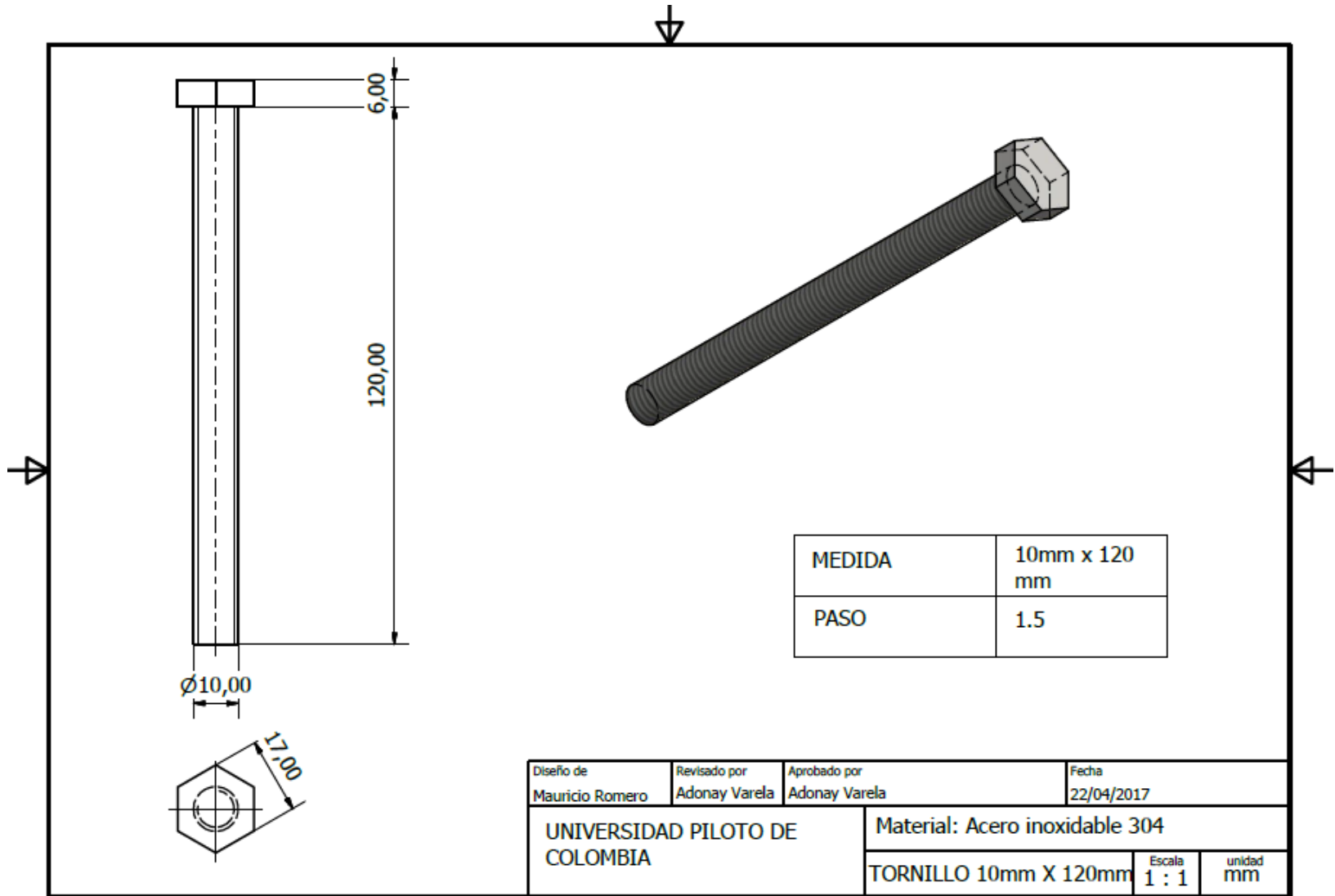


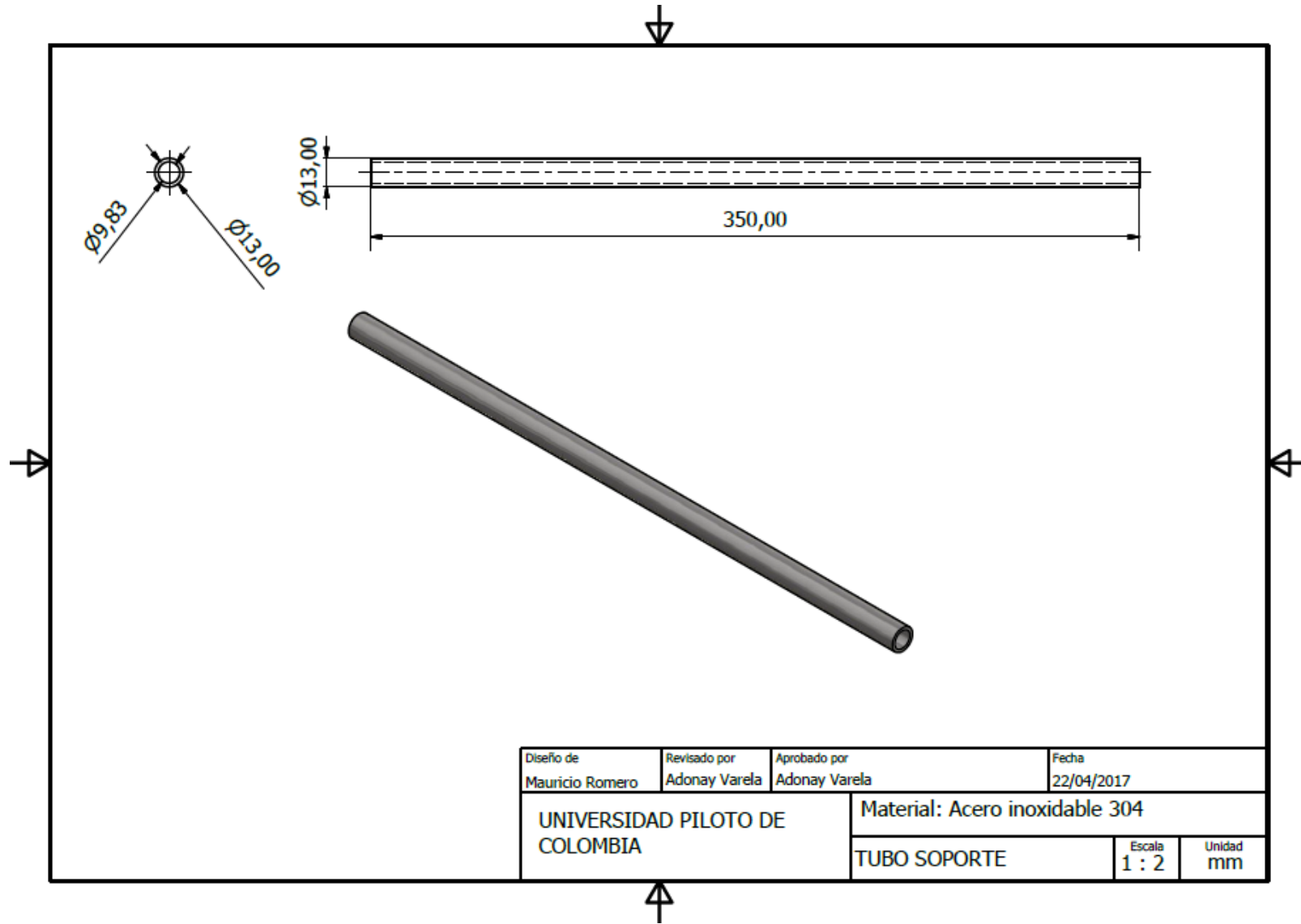
Diseño de Mauricio Romero	Revisado por Adonay Varela	Aprobado por Adonay Varela	Fecha 22/04/2017
UNIVERSIDAD PILOTO DE COLOMBIA		Material: Acero inoxidable 304	
		DILATADOR ROSCA	Escala 1 : 1
			Unidad mm



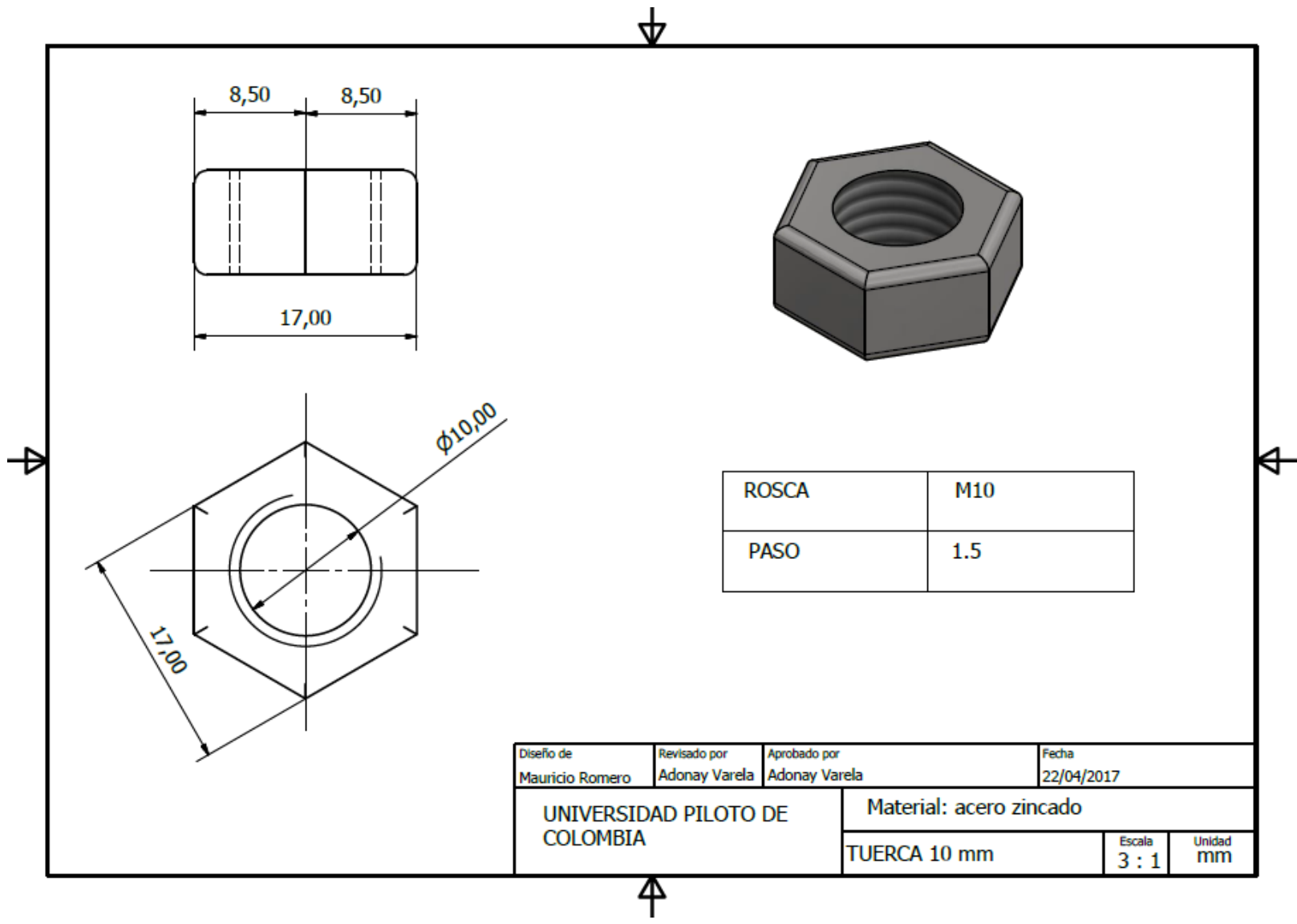






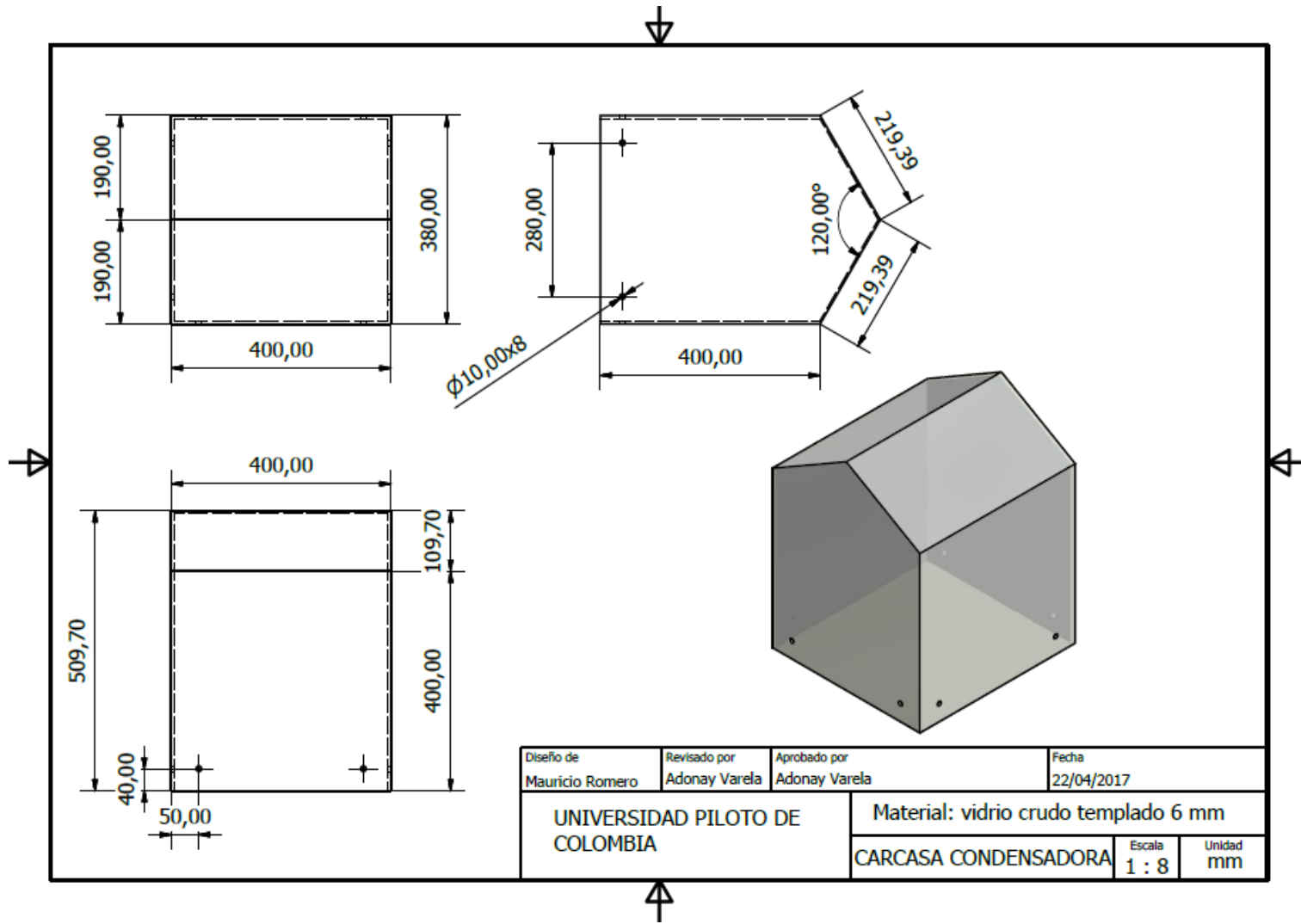


Diseño de Mauricio Romero	Revisado por Adonay Varela	Aprobado por Adonay Varela	Fecha 22/04/2017
UNIVERSIDAD PILOTO DE COLOMBIA		Material: Acero inoxidable 304	
		TUBO SOPORTE	Escala 1 : 2
			Unidad mm




ROSCA	M10
PASO	1.5

Diseño de Mauricio Romero	Revisado por Adonay Varela	Aprobado por Adonay Varela	Fecha 22/04/2017
UNIVERSIDAD PILOTO DE COLOMBIA		Material: acero zincado	
		TUERCA 10 mm	Escala 3 : 1
			Unidad mm



9. ANEXO B. FORMATE DE ENCUESTA

	ENCUESTA NECESIDADES DE AGUA POTABLE EN UNA VIVIENDA ESTÁNDAR UBICADA EN ZONAS COSTERAS DE COLOMBIA		
Nombre	Edad	Dirección	INGENIERIA MECATRONICA
Apellido	Sexo	Departamento	
Cédula	Fecha	Ciudad o Municipio	
Encuesta			
1	¿Cuántas personas viven en su hogar?		
	<input type="radio"/> 1 - 3 <input type="radio"/> 4 - 6 <input type="radio"/> 7 o mas		
2	¿Cuántos adultos conforman su grupo familiar?	¿Cuántos niños conforman su grupo familiar?	
	<input style="width: 50px; height: 20px;" type="text"/>	<input style="width: 50px; height: 20px;" type="text"/>	
3	¿Actualmente la comunidad tiene un servicio de acueducto y alcantarillado?		
	<input type="radio"/> SI <input type="radio"/> NO <input type="radio"/> NO SABE		
4	¿Usted cree que el agua que consume es potable?		
	<input type="radio"/> SI <input type="radio"/> NO <input type="radio"/> NO SABE		
5	¿De que manera se abastecen de agua ?		
6	¿Alguna vez se ha enfermado por beber agua ?		
	<input type="radio"/> SI <input type="radio"/> NO		
7	¿Que estrategias utiliza para que el agua sea apta para el consumo humano?		
8	¿ Recolecta usted aguas lluvias para uso domestico?		
	<input type="radio"/> SI <input type="radio"/> NO		
9	¿En que emplea su familia diariamente el agua que consumen al día?		Otros:
	<input type="radio"/> Cocinar <input type="radio"/> Aseo personal <input type="radio"/> Limpieza de la casa		
10	¿Aplica usted algun estretegia para ahorrar agua?		Cuáles:
	<input type="radio"/> SI <input type="radio"/> NO		
Firma encuestador:		Firma entrevistado:	

10. ANEXO C. RESULTADOS DE LABORATORIO PRUEBAS POTABILIDAD DE AGUA



ISO/IEC 17025:2005
15-LAB-040



INFORME DE LABORATORIO No.A-187005-01-MB

FECHA DEL INFORME: 2017-05-08
 FECHA DE TOMA: 2017-04-28
 FECHA LLEGADA: 2017-04-28
 FECHA ANÁLISIS: 2017-04-28
 PROCEDENCIA: Mauricio Romero
 REMITENTE: Mauricio Romero
 RESPONSABLE TOMA DE MUESTRA: Cliente *
 DIRECCIÓN: Planta
 MUESTRA: AGUA DE DESTILADOR

ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO DE AGUAS POTABLES MB

PARAMETRO	MÉTODO	RESULTADO	VALOR REFERENCIA
Recuento de Coliformes totales**	SM 9222B Ed. 22/2012**	<1 UFC/100ml	<1 0 - UFC/100ml
Recuento de Escherichia coli**	SM 9222B Ed. 22/2012**	<1 UFC/100ml	0 - UFC/100ml

* Resolución 2115 / 2007.

El resultado <1 se interpreta como 0 según lo establecido en la presente norma de comparación.

** Método acreditado

Los resultados son válidos únicamente para la muestra analizada.
 Prohibida su reproducción sin autorización.

CALIDAD MICROBIOLÓGICA: CONFORME

ELABORADO POR:

Sindy Lorana Romero Aguilar
 Coordinadora Operativa Interna

REVISADO POR:

Fabio Andres Vega Arias
 Director Operativo

APROBADO POR:

Ofara Cárdenas
 Gerente General

FIN DEL INFORME



INFORME DE LABORATORIO No.A-22803-01-FQ

FECHA DEL INFORME: 2017-05-11
 FECHA DE TOMA: 2017-04-28
 FECHA LLEGADA: 2017-04-28
 FECHA ANÁLISIS: 2017-04-28
 PROCEDENCIA: Mauricio Romero
 REMITENTE: Mauricio Romero
 RESPONSABLE TOMA DE MUESTRA: Cliente *
 DIRECCIÓN: Planta
 MUESTRA: AGUA DE DESTILADOR

ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO DE AGUAS POTABLES FQ

PARAMETRO	METODO	RESULTADO	UNIDADES	VALOR REFERENCIA
Dureza Total	Volumétrico	32	mg/L CaCO ₃	Máx. 300 mg/L CaCO ₃
Cloruros	Volumétrico	41	mg/L Cl ⁻	Máx. 250 mg/L Cl ⁻
pH	Potenciométrico	6,3	***	6,5 - 9,0 ***
Hierro	Espectrofotométrico	0	mg/L Fe	Máx. 0,3 mg/L Fe
Color aparente	Espectrofotometría	9	UPC	Máx. 15 UPC
Olor y Sabor	Prueba umbral	NO ACEPTABLE	***	ACEPTABLE ***
Turbiedad	Turbidimétrico	1	UNT	Máx. 2 UNT
Cloro residual libre	Volumétrico	0	mg/L Cl ₂	0,3 - 2,0 mg/L Cl ₂
Nitritos	Espectrofotometría	0	mg/L NO ₂	Máx. 0,1 mg/L NO ₂
Sulfatos	Turbidimétrico	0	mg/L SO ₄ 2-	Máx. 250 mg/L SO ₄ 2-
Sustancias flotantes	Prueba Umbral	PRESENTES	***	AUSENTES ***

* Resolución 2115/07 para Aguas de consumo humano

OBSERVACIONES:

El agua analizada presenta pH bajo, olor no característico similar a azufre y ausencia de cloro residual, adicionalmente se observaron partículas medianas, color café y algunas ramas pequeñas. Si el agua tiene un proceso de destilación, se sugiere revisar dicho proceso, en cuanto a estado del equipo, mantenimiento y otros, y también revisar en qué estado entra el agua antes del destilador.

Los resultados son válidos únicamente para la muestra analizada.

Prohibida su reproducción sin autorización.

Resultados válidos para los parámetros que aplica la norma.

Análisis realizado por el laboratorio Kolbe Internacional. Yaneth Alvarez, Química Directora Técnica - MP PQ 1119


CALIDAD FÍSICOQUÍMICA: NO CONFORME

ELABORADO POR:



Eliana Maria Restrepo H.
Analista Profesional

REVISADO POR:



Fabio Andres Vega Arias
Director Operativo

APROBADO POR:



Clara Cárdenas
Gerente General

FIN DEL INFORME

INFORME ORIGINAL

BOGOTÁ, D.C. CARRERA 47A No. 91-85 - TELÉFONO: 257 0722 - TELEFAX: 236 6930
E-mail: servicioalcliente@bioquilab.com - COLOMBIA

PÁGINA 1 DE 1