



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
DIRECCIÓN DE POSGRADOS

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO
EN OPCIÓN AL GRADO ACADÉMICO DE
MAGISTER EN GESTIÓN DE ENERGÍAS

TEMA:

DIAGNÓSTICO DEL CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN EL PROCESO DE DESTILACIÓN DE AGUA EN LOS LABORATORIOS DE CIENCIAS DE LA VIDA DE LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA, SEDE QUITO, CAMPUS GIRÓN, DURANTE EL AÑO 2014. IMPLEMENTACIÓN DE UN DESTILADOR SOLAR TÉRMICO.

Autor: QUITIAQUEZ Sarzosa William Giovanni

Tutor: RETIRADO Mediaceja Yoalbys PhD.

LATACUNGA – ECUADOR
Junio – 2015



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
UNIDAD DE POSGRADO
Latacunga – Ecuador

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

En calidad de Miembros del Tribunal de Grado, aprueban el presente informe e Investigación de posgrados de la Universidad Técnica de Cotopaxi; por cuanto, el maestrante: Quitiaquez Sarzosa William Giovanni, con el título de tesis: “Diagnóstico del consumo de energía eléctrica en el proceso de destilación de agua en los Laboratorios de Ciencias de la Vida de la Universidad Politécnica Salesiana, Sede Quito, Campus Girón, durante el año 2014. Implementación de un destilador solar térmico”. Han considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de Defensa de Tesis.

Por lo antes expuesto, se autoriza realizar los empastados correspondientes, según la normativa institucional.

Latacunga, Junio 2015.

Para constancia firman:

.....
M.Sc. Verónica Paulina Freire Andrade
PRESIDENTE

.....
M.Sc. Fabián Salazar Corrales
MIEMBRO

.....
M.Sc. Xavier Alfonso Proaño Maldonado
MIEMBRO

.....
PhD. Gustavo Rodríguez Barcenás
OPONENTE



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
UNIDAD DE POSGRADO
Latacunga – Ecuador

AVAL DEL DIRECTOR DE TESIS

Latacunga, Junio 2015

En mi calidad de Director de la Tesis presentada por Quitiaquez Sarzosa William Giovanni, Egresado de la Maestría en Gestión de Energías, previa a la obtención del mencionado grado académico cuyo título es “Magister en Gestión de Energías”.

Considero que dicho trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación pública y evaluación por parte del tribunal examinador.

Atentamente,

.....
Ing. Yoalbys Retirado Mediaceja PhD.

DIRECTOR DE TESIS



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
UNIDAD DE POSGRADO
Latacunga – Ecuador

RESPONSABILIDAD POR LA AUTORÍA DE TESIS

El contenido de la presente Tesis de Grado, es original y de mi exclusiva responsabilidad.

Atentamente

.....
Ing. William Giovanni Quitiaquez Sarzosa

C.C. 1721609764

AGRADECIMIENTO

En primer lugar doy gracias a Dios por regalarme la vida y permitirme ser mejor cada día, a mi madre Susana por apoyarme a cada momento de mi vida, a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a todos los docentes de la Maestría en Gestión de Energías por haber impartido sus conocimientos los cuales se plasman en el presente trabajo de investigación, a toda mi familia por darme las fuerzas necesarias para seguir adelante en el proceso de formación académica de cuarto nivel, a mi tía Patricia que desde el cielo me protege. A los docentes MSc. Paulina Freire, MSc. Xavier Proaño, MSc. Fabián Salazar por ayudarme durante el transcurso de la investigación, a mi estimado amigo el PhD. Yoalbys Retirado Mediceja por ser la persona que me brindó su ayuda en varios aspectos de la tesis con su experiencia y conocimientos.

DEDICATORIA

El presente trabajo es dedicado a todas las personas que desde un inicio confiaban en mí, las cuales me brindaron su apoyo día a día y sabían que lo iba a lograr, gracias por esas palabras de aliento que cuando estaba decaído, recordaba cada una de aquellas frases que siempre las llevaré en mi mente y corazón este trabajo es para ustedes, muchas gracias a todos.

ÍNDICE GENERAL

CONTENIDO	PÁGINA
Portada.....	
Aprobación del tribunal de grado.....	II
Aval del director de tesis.....	III
Responsabilidad por la autoría de la tesis.....	IV
Agradecimiento.....	V
Dedicatoria.....	VI
Índice general.....	VII
Índice de tablas.....	XII
Índice de figuras.....	XIII
Índice de anexos.....	XV
Certificación de los créditos que avalan la tesis.....	XVI
Resumen.....	XVII
Abstract.....	XVIII
INTRODUCCIÓN.....	1
Situación problemática.....	2
Justificación de la investigación.....	3
Objeto y problema de la investigación.....	4
Objeto de estudio.....	4
Formulación del problema de la investigación.....	4
Campo de acción y objetivo general de la investigación.....	4
Campo de acción.....	4
Objetivo general.....	4
Hipótesis de investigación.....	4
Objetivos específicos de la investigación.....	5
Sistema de tareas por objetivos específicos.....	5
Visión epistemológica de investigación.....	10
Paradigma o enfoque epistemológico.....	10

Nivel de investigación.....	11
Alcance de la investigación.....	11
Descripción de los capítulos que conforman la investigación.....	11
CAPÍTULO I.....	13
MARCO CONTEXTUAL Y TEÓRICO SOBRE LA ENERGÍA SOLAR TÉRMICA Y EL PROCESO DE DESTILACIÓN.....	13
1.1. Introducción.....	13
1.2. Caracterización detallada del objeto.....	13
1.3. Marco teórico de la investigación.....	14
1.3.1 Antecedentes de la investigación.....	14
1.4. Fundamentación de la investigación.....	20
1.4.1. Operacionalización de las variables.....	22
1.4.2. Fundamentación legal.....	22
1.5. Aspectos teóricos fundamentales.....	25
1.5.1. Fuentes de energía.....	25
1.5.1.1. Fuentes no renovables de energía.....	25
1.5.1.2. Fuentes renovables de energías.....	25
1.5.2. Energía solar.....	26
1.5.2.1.Energía solar térmica. Tipos de aprovechamiento.....	26
1.5.3. Distribución espectral de la radiación solar.....	27
1.5.4. Constante solar.....	28
1.5.5. Radiación solar sobre la superficie terrestre.....	29
1.5.5.1. Factores astronómicos.....	29
1.5.5.2. Factores climáticos.....	29
1.5.6. Radiación global.....	29
1.5.6.1. Radiación directa.....	29
1.5.6.2. Radiación difusa.....	29
1.5.6.3. Radiación reflejada.....	30
1.5.7. Posición solar.....	30
1.5.8. Instrumentos de medición de la radiación solar.....	31
1.5.8.1. Heliógrafos.....	31

1.5.8.2. Pirheliómetros.....	32
1.5.8.3. Piranómetros.....	33
1.5.9. Fundamentos básicos de transferencia de calor para la utilización de energía solar.....	35
1.5.9.1. Transmisión del calor por conducción.....	35
1.5.9.2. Transmisión del calor por convección.....	36
1.5.9.3. Transmisión del calor por radiación.....	37
1.6. Proceso de destilación solar.....	37
1.6.1. Destilación solar en la naturaleza.....	38
1.6.2. Modelos de destiladores solares más empleados.....	42
1.6.2.1. Destilador solar de una vertiente.....	42
1.6.2.2. Destilador solar de invernadero.....	43
1.6.2.3. Destilador solar de cascada.....	44
1.6.2.4. Destilador solar esférico de barredera.....	44
1.6.2.5. Destilador solar de dos vertientes.....	46
1.6.3. Rendimiento de los destiladores solares.....	48
1.7. Proceso de diseño de un destilador solar.....	48
1.8. Conclusiones del capítulo.....	64
CAPÍTULO II.....	65
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	65
2.1. Introducción.....	65
2.2. Diseño de la investigación.....	65
2.2.1. Modalidad de la investigación.....	65
2.2.2. Tipo de investigación.....	66
2.2.3. Métodos.....	66
2.2.4. Técnicas e instrumentos.....	68
2.2.5. Población y muestra.....	70
2.2.6. Resultados de la encuesta.....	71
2.3. Conclusiones del capítulo.....	77

CAPÍTULO III.....	78
ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	78
3.1. Introducción.....	78
3.2. Destiladores GFL 2004 actualmente empleados.....	78
3.3. Principio de funcionamiento de los destiladores eléctricos.....	79
3.4. Parámetros de funcionamiento de los destiladores eléctricos.....	81
3.5. Consumos de electricidad en los destiladores eléctricos.....	83
3.6. Análisis económico en el proceso de generación de agua destilada.....	84
3.6.1. Consumo de agua.....	84
3.6.2. Consumo de electricidad.....	87
3.6.3. Gasto por concepto de mantenimiento.....	89
3.7. Conclusiones del capítulo.....	91
CAPÍTULO IV.....	92
PROPUESTA DE UN DESTILADOR PARA AGUA BASADO EN EL USO DE ENERGÍA SOLAR TÉRMICA.....	92
4.1. Introducción.....	92
4.2. Título de la propuesta.....	92
4.3. Justificación.....	92
4.4. Objetivo.....	93
4.5. Estructura de la propuesta.....	93
4.6. Análisis económico.....	103
4.7. Comprobación de la hipótesis.....	108
4.8. Conclusiones del capítulo.....	112
CONCLUSIONES GENERALES.....	113
RECOMENDACIONES.....	116
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	117

BIBLIOGRAFÍA	120
ANEXOS.....	122

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA	Página
Tabla 1.1. Causa – Efecto.....	22
Tabla 1.2. Parámetros iniciales de diseño.....	49
Tabla 1.3. Promedio de heliofanía anual en la ciudad de Quito.....	51
Tabla 1.4. Radiación directa y difusa promedio mensual.....	52
Tabla 2.1. Técnicas e instrumentos.....	68
Tabla 2.2. Población de los Laboratorios de Ciencias de la Vida.....	70
Tabla 3.1. Parámetros de funcionamiento de los destiladores.....	81
Tabla 3.2. Consumos específicos y totales de electricidad en los destiladores.....	83
Tabla 3.3. Tarifa aplicada por la Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento.....	84
Tabla 3.4. Gasto económico por concepto de consumo de agua.....	85
Tabla 3.5. Tarifas aplicadas por la Empresa Eléctrica Quito.....	87
Tabla 3.6. Gasto económico por concepto de consumo de electricidad.....	88
Tabla 3.7. Resumen consumo del destilador GFL 2004.....	90
Tabla 4.1. Costos de implementación destilador solar térmico.....	104
Tabla 4.2. Costos de producción.....	105
Tabla 4.3. Utilidad neta en el ejercicio.....	106
Tabla 4.4. Valor Actual Neto y Tasa Interna de Retorno.....	107
Tabla 4.5. Emisiones equivalentes de CO ₂ en los destiladores.....	110
Tabla 4.6. Factores de Emisión electricidad – GFL 2004.....	111

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA	Página
Figura 1.1. Árbol de problemas.....	20
Figura 1.2. Irradiancia solar espectral vs. Longitud de onda	28
Figura 1.3. Tipos de radiación solar que llegan a la tierra.....	30
Figura 1.4. Posicionamiento solar.....	31
Figura 1.5. Heliógrafos empleados para medir la duración de la luz solar.....	32
Figura 1.6. Pirheliómetros usados para la medición de la radiación directa.....	33
Figura 1.7. Piranómetros empleados para la medición de la radiación global, directa y difusa.....	33
Figura 1.8. Medidas piranométricas para diferentes condiciones ambientales.....	34
Figura 1.9. Esquema del ciclo del agua.....	39
Figura 1.10. Destilador solar en el desierto de Atacama.....	40
Figura 1.11. Funcionamiento de un destilador solar.....	41
Figura 1.12. Destilador solar de una vertiente.....	42
Figura 1.13. Destilador solar tipo invernadero.....	43
Figura 1.14. Sección del destilador solar de invernadero.....	43
Figura 1.15. Destilador solar de cascada.....	44
Figura 1.16. Destilador solar esférico de barredera.....	45
Figura 1.17. Destilador solar de dos vertientes.....	46
Figura 1.18. Destilador solar de dos vertientes 1.....	47
Figura 1.19. Analogía eléctrica del sistema.....	54
Figura 1.20. Esquema para el balance de energía sobre el vidrio.....	59
Figura 1.21. Esquema para el balance de energía en el agua.....	60
Figura 1.22. Balance global de energía en el destilador.....	61
Figura 2.1. Método científico.....	67
Figura 3.1. Incrustaciones en el destilador provocadas por las impurezas del agua.....	79
Figura 3.2. Destilador GFL 2004 empleado en los laboratorios de Ciencias de la vida de la Universidad Politécnica Salesiana.....	80
Figura 3.3. Horas de trabajo del destilador.....	82

Figura 3.4. Consumo de agua en m ³ en los meses de año.....	82
Figura 3.5. Consumo de electricidad.....	84
Figura 3.6. Costo por consumo de agua.....	86
Figura 3.7. Costo por consumo de electricidad.....	89
Figura 3.8. Filtros empleados en el destilador GFL 2004.....	90

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO	Página
Anexo 1. Créditos aprobados.....	123
Anexo 2. Modelo de encuesta.....	124
Anexo 3. Validación de instrumentos.....	126
Anexo 4. Operacionalización de las variables.....	135
Anexo 5. Manual destilador eléctrico GFL 2004.....	137
Anexo 6. Factura de agua UPS.....	142
Anexo 7. Factura servicio eléctrico UPS.....	143
Anexo 8. Proforma InstruLab.....	144
Anexo 9. Fotografías del destilador solar para agua.....	145
Anexo 10. Análisis de resultados.....	148
Anexo 11. Proceso de construcción.....	149
Anexo 12. Manual de mantenimiento.....	152



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
UNIDAD DE POSGRADO
Latacunga – Ecuador

**CERTIFICACIÓN DE LOS CRÉDITOS QUE AVALAN LA
TESIS**

Los créditos aprobados se indican en el Anexo 1



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
UNIDAD DE POSGRADO
Latacunga – Ecuador

TEMA: “DIAGNÓSTICO DEL CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN EL PROCESO DE DESTILACIÓN DE AGUA EN LOS LABORATORIOS DE CIENCIA DE LA VIDA DE LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE QUITO, DURANTE EL AÑO 2014. IMPLEMENTACIÓN DE UN DESTILADOR SOLAR TÉRMICO”.

Autor: QUITIAQUEZ Sarzosa William Giovanni

Tutor: RETIRADO Mediaceja Yoalby PhD.

RESUMEN

Para reducir la contaminación ambiental en el mundo es necesario utilizar nuevas fuentes de energías que sean renovables, es por esto que la presente investigación se encuentra enfocada en la energía solar, una fuente de energía limpia, la energía solar que se recibe del sol puede ser transformada y utilizada como energía eléctrica y como energía solar térmica, para obtener energía eléctrica se pueden utilizar paneles solares y para utilizar la energía solar térmica se pueden implementar destiladores solares. El propósito de la presente investigación es implementar una máquina que genere agua destilada utilizando únicamente energía solar. Este proyecto será implementado en la Universidad Politécnica Salesiana, en el campus Girón, en los Laboratorios de Ciencia de la Vida. En la investigación se utilizará el método científico para demostrar que la energía eléctrica puede ser reemplazada por la energía solar y además para determinar el consumo energético y de agua potable en el proceso de destilación de agua utilizando energía eléctrica y energía solar, para esto se utilizarán varias leyes una de ellas la primera ley de la termodinámica, Al realizar la investigación la Universidad Politécnica Salesiana se obtendrá mayor información sobre la energía utilizada por los destiladores para agua GFL 2004 y a la vez se producirá un importante ahorro de dinero en la factura eléctrica y de agua potable por la implementación de la máquina que utiliza energía limpia y, al mismo tiempo que contribuirá con el cuidado del medio ambiente.

PALABRAS CLAVES

Energía solar, destiladores para agua, radiación solar



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
UNIDAD DE POSGRADO
Latacunga – Ecuador

THEME: “DIAGNOSIS OF ENERGY CONSUMPTION IN THE WATER DISTILLATION PROCESS IN THE LIFE LABORATORY AT SALESIAN UNIVERSITY, QUITO, DURING THE 2014. IMPLEMENTATION OF A THERMAL SOLAR STILL”.

Autor: QUITIAQUEZ Sarzosa William Giovanni

Tutor: RETIRADO Mediaceja Yoalbys PhD.

ABSTRACT

To reduce environmental pollution in the world is necessary to look for renewable energy that is why; this research is focused in the solar power as a clean energy source, because solar energy that we receive from the sun can be transformed and used into electrical energy and thermal energy. For instance, to obtain electrical energy we can use solar panels, and to obtain thermal energy we can use solar stills. The purpose of this investigation is to implement a machine that produces distilled water taking into account the benefits of the sun. This project will be implemented at Salesian University, campus Giron in the Research and Valuation Center of Biodiversity. Therefore, this project will use scientific method, because it will be show how to replace the electrical energy by solar energy and also to determine the energy consumption in the water distillation process using electric energy and solar energy, which is demonstrated by the first law of thermodynamics. To recap, the investment in order to get this kind of machine at Salesian University will get more information about the energy that is used by the water stills GFL 2004 and will provide it a significant save of money in the electrical bill and at the same time it will contribute with the environment care.

KEY WORDS

Solar energy, water stills, solar radiation

INTRODUCCIÓN

La energía eléctrica actualmente se utiliza para el funcionamiento de varios equipos, uno de ellos lo constituyen los destiladores para agua. Este tipo de energía provoca contaminación ambiental a nivel mundial, es por este motivo que el uso de energías alternativas se está convirtiendo en parte fundamental del desarrollo de cada país. Un ejemplo de lo mencionado anteriormente se está viviendo en Ecuador, que actualmente se encuentra cambiando su matriz productiva y también la energética, con el uso de energías limpias. Las fuentes renovables de energía forman parte del cambio actual en la producción de energía que ayuda al país en su desarrollo.

La implementación de un destilador para agua que utilice energía solar y su posterior análisis energético es una de tantas investigaciones que se pueden realizar en el país, para disminuir el impacto ambiental que actualmente está generando cambios negativos en la naturaleza. En la presente investigación se analizará el consumo de energía eléctrica en el proceso de destilación de agua en los Laboratorios de Ciencias de la Vida de la Universidad Politécnica Salesiana (UPS) sede Quito, durante el año 2014. Los destiladores empleados son de modelo GFL 2004, los cuales producen agua destilada y para ello necesitan un gasto adicional de agua para el enfriamiento del equipo. En este proceso utilizan energía eléctrica para su funcionamiento.

La propuesta de la presente investigación consiste en la implementación de un destilador solar, el cual reducirá la contaminación ambiental, el consumo del agua de enfriamiento del equipo y los costos en la factura eléctrica, ya que el destilador propuesto solamente utiliza energía solar para su funcionamiento.

Situación problemática

En el mundo contemporáneo se hace extremadamente necesario el uso de la energía eléctrica. Esto implica un alto consumo de electricidad que en el futuro se prevé continúe aumentando, debido a las necesidades siempre crecientes de la humanidad. De acuerdo con lo anterior, se hace necesaria la implementación de buenas prácticas en la producción y consumo de la energía convencional, lo cual contribuirá a la sostenibilidad energética y al cuidado del medio ambiente.

En la actualidad existen varias fuentes renovables de energía, las cuales se encuentran a la espera de investigaciones que contribuyan a su implementación, con la consiguiente disminución del consumo de electricidad en el mundo. Estas fuentes renovables de energía se han constituido en una alternativa para el presente y el futuro cercano, siendo la energía solar una de ellas. En las últimas décadas el aprovechamiento de la energía proveniente del Sol ha experimentado un auge en su desarrollo y se ha convertido, a su vez, en una energía competitiva y viable en diferentes contextos.

El agotamiento de los combustibles fósiles cambiará radicalmente el modelo energético, económico y de estilo de vida del país y, en particular, de la población. Por cuanto, a los actuales niveles de consumo llegará el momento en el cual la generación de electricidad en el país no podrá satisfacer la demanda energética de la población y las empresas. Los laboratorios de Ciencias de la Vida de la UPS, cuentan con destiladores eléctricos para agua los cuales generan consumos energéticos y, a la vez, gastos de dinero ya que los estudiantes de la Carrera de Ingeniería en Biotecnología de los Recursos Naturales ocupan una cantidad considerable de agua destilada para realizar diferentes experimentos, prácticas de laboratorio y para el lavado de los equipos utilizados.

Los Laboratorios de Ciencias de la Vida, desde su creación en el año 2000 no han incorporado ningún tipo de maquinaria que utilice energías alternativas, motivo por el cual se hace necesaria la implementación de una máquina que utilice energías limpias, como es el caso de la solar térmica. Lo anterior constituirá la primera

experiencia que en este sentido se implementa en el referido laboratorio de investigación.

Si se continúa utilizando energía eléctrica en la producción de agua destilada, la contaminación ambiental seguirá aumentando debido al empleo de combustibles fósiles en las termoeléctricas. Lo anterior ocasionaría la no implementación de energía solar en el proceso de destilación de agua, todo esto conlleva a la continua dilapidación de dinero en la factura eléctrica y no existirá ningún ahorro económico por este concepto para la Universidad Politécnica Salesiana. En tales circunstancias los estudiantes seguirán utilizando los destiladores eléctricos para la generación de agua destilada y la idea de contribuir al cambio de la matriz energética en el país ya no se hará realidad. Además, se continuará gastando agua para el enfriamiento de los destiladores GFL 2004, y lamentablemente el calentamiento global y la destrucción del planeta continuarán con las tendencias actuales, con las consiguientes afectaciones a las futuras generaciones.

Justificación de la investigación

El uso y manejo de una energía renovable como lo es la solar térmica ayuda a disminuir los altos índices de contaminación ambiental, mediante su estudio y análisis. Una de las tantas aplicaciones de la energía solar se presenta en la fabricación de un prototipo de destilador para agua, el cual será de gran ayuda para los estudiantes de la UPS, ya que podrán contar con agua destilada, obtenida con energía limpia, para realizar sus prácticas de laboratorio. De esta manera se impulsan nuevas investigaciones y se contribuye con el cambio de la matriz energética que el Gobierno Ecuatoriano promueve actualmente.

Como se ha indicado, el consumo de energía eléctrica en el proceso de destilación de agua genera tarifas de dinero que deben ser canceladas por la UPS a la empresa eléctrica. La construcción de un destilador para agua que utilice energías limpias, posibilitará la reducción en los costos por concepto de consumo de electricidad y, además, contribuirá a la reducción de la contaminación ambiental en el Ecuador. Los aspectos antes mencionados conllevan a la conclusión de que el presente proyecto es factible.

Objeto y problema de la investigación

Objeto de estudio

- ✓ El proceso de destilación solar de agua

Formulación del problema de la investigación

- ✓ ¿Cómo incide el principio de funcionamiento de los destiladores para agua GFL 2004 en el consumo de energía eléctrica, en los Laboratorios de Ciencias de la Vida de la Universidad Politécnica Salesiana, Sede Quito, Campus Girón, durante el año 2014?

Campo de acción y objetivo general de la investigación

Campo de acción

- ✓ La eficiencia energética del proceso de destilación de agua.

Objetivo general

- ✓ Implementar un sistema de generación de agua destilada que utilice energía solar térmica para los Laboratorios de Ciencias de la Vida de la Universidad Politécnica Salesiana sede Quito, campus Girón, durante el año 2014; para la reducción del consumo de energía eléctrica.

Hipótesis de investigación

- ✓ La implementación de un sistema de generación de agua destilada que utilice energía solar térmica reducirá el consumo de energía eléctrica y agua, en los Laboratorios de Ciencias de la Vida de la Universidad Politécnica Salesiana sede Quito, durante el año 2014.

Objetivos específicos de la investigación

- ✓ Analizar el estado del arte de los diferentes tipos de destiladores solares utilizados para la destilación del agua.
- ✓ Diagnosticar el consumo de energía eléctrica en los destiladores existentes en los Laboratorios de Ciencias de la Vida de la Universidad Politécnica Salesiana.
- ✓ Construir un destilador para agua en el cual su principio de funcionamiento se base en el uso de energía solar térmica.
- ✓ Analizar los resultados obtenidos en el proceso de destilación en la ciudad de Quito; con el fin de determinar la zona de mayor rendimiento del destilador.

Sistema de tareas por objetivos específicos

Para la correcta ejecución del proyecto de investigación, a continuación, se coloca cada objetivo específico y se indica las acciones que se van a realizar por cada uno de ellos.

1. Analizar el estado del arte de los diferentes tipos de destiladores solares utilizados para la destilación del agua.
 - a. Realizar una búsqueda exhaustiva sobre las diferentes investigaciones relacionadas con la generación de agua destilada.

MÉTODO	PROCEDIMIENTO	TÉCNICA
Observación	Indagar información relevante sobre el proceso de generación de agua destilada	Observación

- b. Analizar cada uno de los abstracts realizados en los artículos científicos encontrados y determinar la parte fundamental de cada uno de ellos, para

luego de esto tener una idea bien definida sobre lo que se ha realizado en todo el mundo en relación al uso y generación de agua destilada.

MÉTODO	PROCEDIMIENTO	TÉCNICA
Observación Inductivo	Determinar la parte fundamental de cada uno de los abstracts investigados para poder analizar el estado del arte de los destiladores solares	Observación

2. Diagnosticar el consumo de energía eléctrica en los destiladores existentes en los Laboratorios de Ciencias de la Vida de la Universidad Politécnica Salesiana.

a. Buscar información sobre los destiladores para agua GFL 2004 utilizados actualmente para la generación de agua destilada.

MÉTODO	PROCEDIMIENTO	TÉCNICA
Observación Inductivo	Solicitar información sobre los destiladores a las autoridades de los Laboratorios de Ciencias de la Vida y a la empresa Instrulab, la cual realiza mantenimientos periódicos a los destiladores actualmente utilizados.	Observación

b. Indagar sobre el tiempo que son utilizados los destiladores eléctricos en los Laboratorios de Ciencias de la Vida, para que junto con la ayuda del manual de los destiladores GFL 2004 se pueda obtener un volumen estimado de agua destilada producida, mensualmente y anualmente.

MÉTODO	PROCEDIMIENTO	TÉCNICA
Observación Inductivo	Obtener el manual del destilador eléctrico para conocer sus características. Calcular el volumen de agua destilada producida por los destiladores eléctricos	Observación Medición Cálculo

- c. Solicitar información en el departamento financiero de la UPS sobre los valores cancelados en la planilla de luz, para determinar el costo de cada kWh utilizado para la generación de agua destilada, luego relacionar con el tiempo de uso de los destiladores eléctricos y entregar datos sobre consumo eléctrico producido por el uso de destiladores eléctricos.

MÉTODO	PROCEDIMIENTO	TÉCNICA
Observación	Solicitar las facturas de electricidad de la UPS para conocer el costo de cada kWh cancelado	Observación
Inductivo	Calcular el consumo eléctrico producido por el uso de los destiladores eléctricos GFL 2004	Medición Cálculo

- d. Solicitar información en el departamento financiero de la UPS sobre los valores cancelados en la planilla de agua potable, para determinar el costo de cada m³ utilizado para la generación de agua destilada, luego relacionar con el tiempo de uso de los destiladores eléctricos y entregar datos sobre consumo de agua potable para enfriamiento, producido por el uso de destiladores eléctricos.

MÉTODO	PROCEDIMIENTO	TÉCNICA
Observación	Solicitar las facturas de agua potable de la UPS para conocer el costo de cada m ³ cancelado.	Observación
Inductivo	Calcular el consumo de agua producido por el uso de los destiladores eléctricos GFL 2004, producido por el uso de agua para el destilado y para el enfriamiento del equipo	Medición Cálculo

- e. Analizar mediante gráficos estadísticos el consumo generado, de agua potable como de electricidad, de esta manera se podrá conocer el costo real de cada m³ de agua destilada.

MÉTODO	PROCEDIMIENTO	TÉCNICA
Observación	En función de los datos calculados en las tareas c y d plasmar en gráficos los resultados obtenidos.	Observación
Inductivo	Realizar una análisis de los gráficos estadísticos para conocer todos los detalles que ayuden en la investigación	Medición Cálculo

3. Construir un destilador para agua en el cual su principio de funcionamiento se base en el uso de energía solar térmica.

- a. Analizar los diferentes tipos de destiladores para agua existentes en el mundo, determinar el de mayor rendimiento y el más ecológico.

MÉTODO	PROCEDIMIENTO	TÉCNICA
Observación Deductivo	Investigar sobre los modelos de destiladores para agua y las características de cada uno de ellos.	Observación

- b. Realizar el diseño del destilador para agua el cual utilice energía solar térmica para su funcionamiento, en función de datos de radiación diaria recibida en la ciudad de Quito, además del cálculo de parámetros de declinación solar, horas reales de sol, entre otros, todo esto con la ayuda de una entidad pública dedicada al estudio del clima en el Ecuador, el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI).

MÉTODO	PROCEDIMIENTO	TÉCNICA
Observación Deductivo	Verificar datos del INAMHI sobre radiación solar, investigar toda la información sobre el cálculo de radiación, conocer información relevante sobre energía solar y transferencia de calor	Observación Medición Software Cálculo

- c. Dibujar en un software de diseño (Inventor) los planos del destilador para proceder a la construcción.

MÉTODO	PROCEDIMIENTO	TÉCNICA
Observación Inductivo	En función del diseño realizado en la tarea b, dibujar los elementos que conforman el destilador solar En el software AutoCAD Mechanical se realiza el diseño de elementos normalizados para la máquina	Observación Medición Software Cálculo

- d. Analizar los materiales que se van a utilizar para la construcción del destilador solar para agua.

MÉTODO	PROCEDIMIENTO	TÉCNICA
Observación Inductivo	Una vez realizadas las tareas b y c se procede a investigar el material adecuado para la construcción de la máquina uno de los más importantes es el INOX 304 calidad alimenticia	Observación Medición Software Cálculo

- e. Construir un destilador solar para agua en función de los parámetros antes mencionados.

MÉTODO	PROCEDIMIENTO	TÉCNICA
Observación Inductivo	Una vez realizadas las tareas a, b, c y d se procede a la construcción de la máquina tomando en consideración todos los parámetros calculados en el diseño y las simulaciones de elementos normalizados para la correcta ejecución del trabajo	Observación Medición Software Cálculo

4. Analizar los resultados obtenidos en el proceso de destilación en la ciudad de Quito; con el fin de determinar la zona de mayor rendimiento del destilador.
 - a. Transportar al destilador solar para agua a 3 puntos específicos en la ciudad de Quito (Norte, Centro y Sur), para mediante pruebas determinar el lugar de mayor generación de agua destilada.

MÉTODO	PROCEDIMIENTO	TÉCNICA
Observación Inductivo	Ensamblar el destilador solar para agua para que luego de esto pueda funcionar en 3 sectores de Quito (Calderón, Miraflores, Argelia), para determinar la zona de mayor rendimiento siendo esta Calderón. Para esto se realizaron 4 pruebas en días diferentes en cada una de las zonas antes mencionadas.	Observación Medición Software Cálculo

- b. Realizar una tabla de resumen la cual recopile los datos generados en las pruebas realizadas.

MÉTODO	PROCEDIMIENTO	TÉCNICA
Observación Inductivo	Reunir los resultados obtenidos en cada uno de los procedimientos realizados para colocarlos en un resumen en el cual se indique todos los parámetros, medidos, diseñados, calculados, del destilador solar para agua.	Observación Medición Software Cálculo

Visión epistemológica de investigación

Paradigma o enfoque epistemológico

Para la investigación se utilizará el enfoque cuali-cuantitativo, puesto que al momento del análisis de resultados se va a comparar el costo de cada litro de agua destilada, producida por el destilador solar térmico con relación al obtenido por los destiladores para agua GFL 2004, así como también la cantidad producida. De igual manera el paradigma actual es el de la mentalidad de las personas al no creer que

una fuente renovable de energía puede tener la misma utilidad que una fuente no renovable de energía y además se debe inculcar a las personas que para disminuir la contaminación actual en el mundo es necesario utilizar energías alternativas, un ejemplo de ello la energía solar, motivo de estudio en la presente investigación.

Nivel de investigación

(Morales, 2014) Señala que la investigación explicativa “Es aquella que se efectúa sobre un tema u objeto desconocido o poco estudiado”.

El tipo de investigación a utilizar será la investigación explicativa, dicha investigación se encarga de buscar el porqué de los hechos, mediante el establecimiento de relaciones causa – efecto, en este sentido los estudios explicativos pueden ocuparse tanto de la determinación de las causas, como de los efectos, mediante la prueba de la hipótesis, todo esto se realizará mediante la utilización de diferentes ecuaciones relacionadas directamente con la energía eléctrica y solar. La investigación explicativa intenta dar cuenta de un aspecto de la realidad, explicando su significatividad dentro de una teoría de referencia, a la luz de leyes que explican los fenómenos que se producen en determinadas condiciones.

Alcance de la investigación

Para la presente investigación se realizará el diseño, la construcción e implementación de un destilador solar para agua para el Centro de Investigación y Valoración de la Biodiversidad de la Universidad Politécnica Salesiana, Sede Quito, Campus Girón

Descripción de la estructura de los capítulos del proyecto de investigación

La presente investigación se divide en 4 capítulos en los cuales se realizan diferentes actividades para lograr cubrir todo el estudio que tiene como finalidad el diagnóstico de la eficiencia energética en el proceso de generación de agua destilada.

En el Capítulo I se exponen los antecedentes de la investigación y la fundamentación legal que ampara la misma, teniendo en consideración que el Estado Ecuatoriano promueve el Plan Nacional del Buen Vivir 2013 - 2017 y el mismo contiene objetivos que incentivan el uso de energías alternativas para un cambio profundo en la matriz energética. Además, en el referido capítulo se analiza el estado del arte en relación con los destiladores para agua, se investiga sobre los procesos de destilación y, a la vez, se estudia lo referente a dicho proceso cuando se emplea energía solar.

En el Capítulo II se realiza una descripción de la metodología empleada en la investigación. La misma consta de varias etapas de trabajo que incluyen la búsqueda de información, el análisis de la metodología usada, la modalidad y tipo de investigación y las técnicas e instrumentos utilizados a lo largo del presente trabajo.

El análisis e interpretación de resultados se presenta en el Capítulo III. En el mismo se consideran, entre otros, los siguientes aspectos: funcionamiento de los destiladores eléctricos, consumo total de agua, relación entre agua potable utilizada y agua destilada obtenida y el consumo total de energía eléctrica de los destiladores para agua modelo GFL 2004.

La implementación de un destilador para agua que utilice energía solar constituye la propuesta de la presente investigación, la cual se expone en el Capítulo IV. El uso de una energía limpia para el funcionamiento de la máquina y la reducción de la contaminación ambiental impulsan el diseño y la construcción del destilador solar. Para ello, se realizan los cálculos de la radiación solar, el análisis del consumo de energía y de agua para comparar con los destiladores convencionales y de esta manera se indicará a las autoridades de la Universidad Politécnica Salesiana el consumo real de energía de los destiladores que se ocupan en los Laboratorios de Ciencias de la Vida. Finalmente, se analiza la eficiencia energética del destilador solar y se determina el ahorro de electricidad y el correspondiente impacto económico-ambiental que se obtiene con la implementación del equipo.

CAPÍTULO I

MARCO CONTEXTUAL Y TEÓRICO SOBRE LA ENERGÍA SOLAR TÉRMICA Y EL PROCESO DE DESTILACIÓN

1.1. Introducción

Los antecedentes, la fundamentación legal en la cual se encuentran enmarcados los capítulos de la Constitución de la República del Ecuador, los objetivos del Plan Nacional del Buen Vivir 2013 – 2017, y la fundamentación teórica, ayudan e impulsan a la realización de la investigación. En actualidad el Gobierno Ecuatoriano impulsa el cambio de la matriz energética, fomentando el uso de fuentes alternativas de energía, el **objetivo** del presente capítulo es exponer los fundamentos teóricos necesarios para el estudio del proceso de generación de agua destilada mediante el uso de la energía solar, a partir de la sistematización del conocimiento científico establecido en la literatura especializada en la temática.

1.2. Caracterización detallada del objeto

El proceso de destilación solar de agua en los Laboratorios de Ciencias de la Vida, será una actividad novedosa para los estudiantes de la Carrera de Ingeniería en Biotecnología de los Recursos Naturales, ya que en los laboratorios ubicados en el Campus Girón solamente se utilizan destiladores para agua eléctricos desde sus inicios en el año 2 000, esta forma de generar agua destilada va a cambiar la forma de pensar no solamente de los estudiantes sino también de las autoridades del laboratorio ya que se va a implementar una tecnología nueva que, a su vez, es amigable con el medio ambiente, puesto que, se utilizará una fuente de energía renovable como lo es la energía solar de esta manera se podrá contar con una nueva alternativa para la obtención de agua destilada.

1.3. Marco teórico de la investigación

1.3.1. Antecedentes de la Investigación

Gálvez *et al.* (2003), diseñan, modelan y simulan un desalinizador de múltiples efectos a alta temperatura. El equipo funciona con una bandeja de doble fondo y cinco bandejas extras que actúan como evaporador y condensador a la vez. La simulación realizada en Matlab les permitió concluir que la producción de agua desalinizada del equipo supera los $20 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{día}$.

En el proceso de obtención de agua purificada en destiladores solares, un factor limitante es la precipitación de sales en la base del evaporador. Armendáriz (2004), realiza el estudio isotérmico a 333 °C de la precipitación de Carbonato de Calcio (CaCO_3) en un destilador experimental, utilizando como afluente agua subterránea con alto contenido de calcio. Realizó tres experimentos de la reacción entre el calcio con los iones bicarbonato. Durante las dos primeras horas en los tres experimentos se precipitaron 71,7; 253; 400,7 mg de CaCO_3 respectivamente, finalmente se indica que en el precipitado se encontró calcita como única fase cristalina

Fonseca *et al.* (2005), muestran el desarrollo de un prototipo de destilador solar, con vistas a la obtención de agua destilada para diferentes usos tales como agua para el transporte automotor, baterías, entre otros. Los autores presentan la construcción y evaluación de un destilador solar tipo caseta construido de fibra de vidrio y evalúan el funcionamiento del destilador, para ello miden la productividad diaria y la calidad del agua destilada. Luego, analizan los resultados obtenidos en la evaluación energética del equipo y valoran económicamente la posibilidad de su utilización.

Albert (2007), considera que en las instituciones de salud de la Provincia Holguín, en la República de Cuba uno de los equipos altamente utilizados son los destiladores para agua convencionales, indica también que los destiladores en su funcionamiento pierden energía en el agua utilizada para la transferencia de calor necesaria en la condensación. Finalmente, realiza un análisis en la especialidad de esterilización y

se indica que los 113 destiladores existentes tienen un consumo de 1 110 000 kW, lo que representa un índice de consumo de 9 910 kW.

Chinappi *et al.* (2007), señalan que el destilador solar para agua es una alternativa que permite obtener agua libre de impurezas, para determinar el costo de agua destilada con energía solar construyeron un destilador de 0,15 m² de área de captación, la producción del destilador solar construido en la investigación fue de 0,112 y 0,369 m³/año para los períodos húmedo y seco respectivamente; el costo de un litro de agua destilada con energía solar térmica fluctúa entre los valores 13,13 y 43,258 Bs/día·persona para los períodos seco y lluvioso, por ese orden. Además, analizaron el costo ambiental para una determinada población y el valor calculado fue de 189,675 Bs/día·persona, que representa el costo que se debe asumir al no poseer agua potable. Finalmente, considera que el proyecto es viable en base a los datos calculados.

Para el aprovechamiento del agua de mar Lechuga *et al.* (2007) consideran que es urgente desarrollar tecnología en base al uso de fuentes renovables de energía, realizan un análisis comparativo de varios procesos de desalinización de agua de mar e identifican a los que recuperan energía. Utilizan la metodología de inteligencia competitiva y tecnológica, basada en la búsqueda de información en bibliotecas digitales y catálogos de bibliotecas. Finalmente, encuentran que el proceso de ósmosis inversa para desalinización de agua de mar, tiene bajos costos de operación, se puede recuperar energía utilizando el agua de rechazo de las membranas de ósmosis y además, tiene un bajo impacto ambiental.

Con el objetivo de lograr mejoras en la producción de agua destilada Marchesi *et al.* (2008) calculan las eficiencias de un destilador de batea básico y de un destilador asistido con dos colectores solares planos, utilizando datos de la Provincia de Córdoba - Argentina, los resultados muestran la dependencia del comportamiento diario de los destiladores no solamente por las condiciones climáticas reinantes en el lugar sino también con las condiciones del día anterior. De igual manera observan que los valores de producción para un destilador solar asistido son mayores que los

del destilador básico, pero su eficiencia es menor debido a que la energía solar recibida por el mismo no es lo suficientemente bien aprovechada por el conjunto destilador – colectores.

La literatura recoge proyectos de diseño y construcción de destiladores solares para aguas residuales. Al analizar diferentes tecnologías se concluye que, para el caso específico del laboratorio de energías renovables de la Escuela Politécnica del Ejército de Quito, los destiladores de dos vertientes son los que poseen una mayor eficiencia térmica (alrededor del 22 %, con un volumen inicial de 3 litros de agua), bajos costos de fabricación, cumpliendo de esta forma con la mayoría de los requerimientos necesarios al momento de construir y montar un destilador con estas características (Rodríguez y Saavedra, 2008).

Cervantes (2009), presenta un análisis teórico de exergía de un destilador solar simple en estado permanente. Los resultados muestran que la irradiancia solar es el parámetro más influyente en los procesos de transporte dentro del destilador, seguido por el espesor del aislamiento térmico. Para una irradiancia solar que alcanza los $1\,000\text{ W/m}^2$, el colector cede 13 % del total de exergía que llega al agua salada. Finalmente, concluye que la relación energía - exergía muestra que el componente más eficiente en el destilador solar es la masa de agua salada con más del 90 % para cualquier valor de los parámetros estudiados mientras que el colector alcanza el 23 % para un valor de 1000 W/m^2 .

En otra de las investigaciones realizadas se presenta un prototipo de destilador solar de bandeja, construido de fibra de vidrio con la finalidad de obtener agua destilada para ser empleada en baterías. Se realiza un análisis termodinámico del equipo en cuestión, lo que conlleva el desarrollo de balances de masa, energía, entropía y exergía con el objetivo de evaluar el equipo, cuantificar las energías absorbida, perdida y perfeccionar su diseño. El balance exergético a su vez permitió calcular la eficiencia energética y exergética del destilador. La primera se encuentra entre los valores esperados, sin embargo, la segunda tiene un valor pequeño ya que el agua de salida presenta niveles bajos de temperaturas (Fonseca, 2009).

Nandwani (2009), demostró que el costo de 1 m³ de agua potable obtenida mediante la implementación de un sistema solar es entre 15 y 30 veces más cara que producida en una planta potabilizadora convencional y lo asocia a los grandes tamaños de las plantas, la consecuente alta inversión inicial, la tecnología centralizada y los subsidios ofrecidos por el estado al sistema convencional. Sin embargo, plantea que en lugares donde no existen tuberías de agua u otras opciones, la purificación del agua con energía solar es la mejor opción para las presentes y futuras generaciones, debido a que el uso de una fuente renovable de energía favorece al medioambiente. Al respecto, se debe especificar que en la medida en que se afiance la implementación del sistema solar los costos de producción del agua purificada deben ir reduciéndose, aspecto no considerado por el investigador.

La desalinización de agua se puede lograr de muchas formas, una de ellas es utilizando un destilador solar tubular (DST). Yabroudi *et al.* (2011), diseñan y operan un equipo con estas características en las condiciones ambientales del Estado Zulia en Venezuela, prepararon agua con concentraciones de 3 000; 10 000 y 30 000 mg/l de cloruros empleada como alimentación al DST, realizaron pruebas durante 20 días obteniendo que la calidad de agua producida muestra muy buen desempeño con eficiencias en la remoción de cloruros y sólidos disueltos totales > 99 %, además se obtuvo un volumen medio de 2,42 l/día, con un valor máximo de 3,34 l/día y un mínimo de 0,93 l/día.

Fonseca *et al.* (2012), realizan la modelación matemática para simular el comportamiento térmico de un destilador solar de bandeja mediante un sistema de tres ecuaciones diferenciales ordinarias del cual se obtiene su solución, la cual permite conocer los valores de la temperatura en la cubierta, el agua a destilar y la bandeja del destilador durante el día. También, determinan el volumen de agua destilada. Posteriormente, realizan la validación experimental del modelo propuesto lo que posibilita, mediante el empleo de un software, el estudio del comportamiento térmico del equipo bajo diferentes condiciones climáticas y características constructivas.

Huezo y Morán (2012), diseñan un destilador solar utilizando ecuaciones reportadas por Duffie & Beckmam (1981). Luego, proceden a la construcción del equipo y a la verificación de su funcionamiento. Los ensayos experimentales arrojaron la cantidad de agua adicionada al equipo y de agua destilada producida para un periodo de tiempo determinado. Finalmente, concluyen que al evaporarse el agua queda un material en la bandeja, que debido a la reducción de los parámetros, puede tratarse de sílice, y otras sales que pueden ser utilizadas para otras aplicaciones que eviten su disposición final.

Ibarra y Rojas (2012), hacen referencia a la relación existente entre los diferentes tipos de superficies, con su respectiva emisividad, dando como resultado que la hoja de aluminio posee una emisividad de 0,09 y analizan la absorptividad, reflectividad y transmisividad en los diferentes tipos de superficies. Los autores, conjugan métodos analíticos y experimentales para determinar la cantidad de radiación solar que recibe el prototipo de colector. Finalmente, corroboran que existe una diferencia del 15 %, entre los parámetros calculados analítica y experimentalmente. Aspecto que lo atribuyen a detalles constructivos, factores climáticos y a la limitación en el seguimiento continuo del colector al Sol.

La evaluación experimental de un Destilador Colector Solar Acumulador (DCSA) ha sido objeto de análisis de algunos investigadores. Al comparar las producciones y eficiencias del DCSA, con destiladores de batea y de batea asistido con un colector plano, los resultados obtenidos muestran que el DCSA tiene una producción superior en un 70 y 20 % con relación a los primeros y segundos, respectivamente (Esteban *et al*, 2002).

Al estudio de factibilidad de la implementación de destiladores solares como abastecedores de agua, a partir de agua de mar, se han dedicado algunas investigaciones. Una de ellas es la desarrollada por Maldonado (2012) quien realiza el análisis de una instalación para la Base Naval de Baltra, en Galápagos. En su trabajo el autor plantea que el proyecto constituye una viable alternativa a mediano y largo plazo que puede suplir la necesidad imperiosa de agua en la isla. Para eso

fundamenta su aplicación basándose en las adecuadas condiciones climáticas que existe en la región donde se implementará la instalación.

La investigación sobre Agua Caliente Sanitaria (ACS) realizada por Calle *et al.*, (2013) indica que el uso de la misma es una necesidad imperante debido a las condiciones de temperaturas bajas en la ciudad de Cuenca, posterior a esto señalan que la energía solar utilizada a través de colectores solares de tubos de vacío para la obtención de ACS, es una tecnología que aporta significativamente a disminuir la utilización de combustibles fósiles, finalmente concluyen con la verificación de la eficiencia del colector con el uso de datos ambientales y de localización de Cuenca.

Saettone (2013), evalúa la eficiencia, producción y costos para la obtención de agua desalinizada, compara el desempeño de dos tipos de concentradores solares lineales: cilíndrico parabólico y fresnel lineal, tomando en consideración que ninguno de los equipos cuenta con un sistema de seguimiento solar. Como resultado de los experimentos se pudo identificar que el concentrador cilíndrico parabólico es 21 % más eficiente que el concentrador fresnel líneal, sin embargo es casi 20 % más costoso.

El agua destilada se usa en los laboratorios para el lavado de equipos, realizar varios experimentos, entre otras aplicaciones, el consumo de energía para la generación del agua antes mencionada puede ser reemplazado por el uso de una fuente de energía limpia como la solar. Como parte de la presente investigación, Tabuada (2014), realiza el diseño y construcción de un destilador solar para agua con una capacidad de 200 ml/día, con lo cual se va a disminuir el consumo de electricidad en los laboratorios de Ciencias de la Vida de la Universidad Politécnica Salesiana, actualmente el mencionado investigador se encuentra en proceso de obtención del título de Ingeniero Mecánico finalmente concluye que la capacidad de generación de agua destilada depende de las condiciones climáticas de un día y, a la vez, impulsa la creación de nuevos proyectos que utilicen fuentes renovables de energía.

1.4. Fundamentación de la Investigación

El continuar utilizando energía eléctrica en el proceso de destilación de agua en lugar de la energía solar que es una energía renovable, se limita el desarrollo de investigaciones en el campo de energías limpias y se continúa contaminando más el planeta. En la figura 1.1 se muestra un árbol de problemas con las causas y efectos que se encuentran en la investigación.

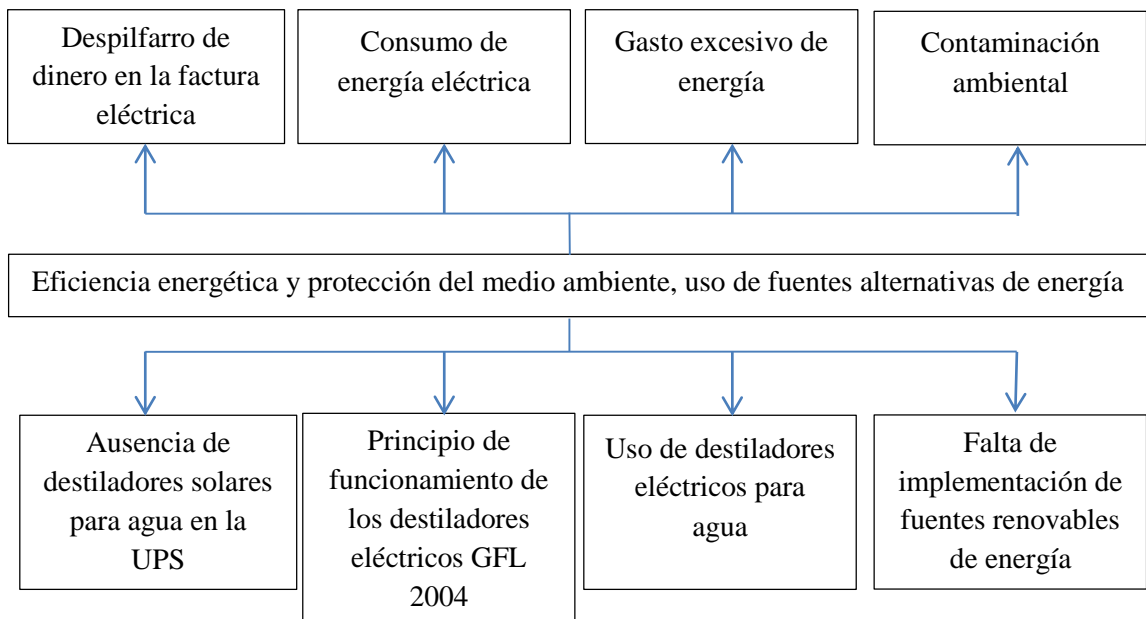


Figura 1.1. Árbol de problemas.

En el presente trabajo de investigación se determinaron las siguientes causas:

- ✓ Es insuficiente el uso de aplicaciones de las fuentes renovables de energía en el proceso de destilación de agua en el Ecuador, siendo la práctica más común el empleo de destiladores eléctricos.
- ✓ La ausencia de destiladores para agua que utilicen energía solar para su funcionamiento en los laboratorios de la Universidad Politécnica Salesiana, ya que solamente existen destiladores eléctricos que son utilizados para la generación de agua destilada.
- ✓ El principio de funcionamiento de los destiladores eléctricos para agua GFL 2004, son parte fundamental de la investigación ya que los mencionados

destiladores no solo consumen energía eléctrica para su funcionamiento sino también necesitan un gasto adicional de agua para el enfriamiento del equipo, factores que se deben cuantificar para determinar el costo asociado.

- ✓ Existe insuficiente conocimiento en el campo de las energías renovables ya que para la generación de agua destilada existen varios procedimientos, siendo uno de ellos la destilación solar el cual no ha sido implementado.

Las causas mencionadas anteriormente producen ciertos efectos, entre los cuales se encuentran los siguientes:

- ✓ El despilfarro de dinero en la factura eléctrica es constante ya que actualmente solo se tienen destiladores para agua eléctricos en los laboratorios de la UPS y además no existe ningún dato sobre el consumo energético de los mismos.
- ✓ El desperdicio de energía eléctrica generado por el uso exclusivo de destiladores eléctricos para agua.
- ✓ El consumo de energía eléctrica de los destiladores GFL 2004 se puede reducir gracias a la implementación de un destilador que utilice energía solar para su funcionamiento y, además, se podrá reducir el consumo de energía lo que representa un ahorro económico para la universidad.
- ✓ La contaminación ambiental originada por el uso, a nivel mundial, de energía eléctrica para el funcionamiento de máquinas. Por ello, un gran número de países promueven el uso de energías renovables que reduzcan el impacto ambiental que provocan las fuentes convencionales de energía.

Las causas y los efectos antes mencionados forman parte de las variables independientes y dependientes, respectivamente.

La causa principal para el presente estudio es el principio de funcionamiento de los destiladores eléctricos para agua GFL 2004 ya que, como se dijo anteriormente,

solamente se utiliza energía eléctrica para producir agua destilada, de acuerdo al análisis realizado se tiene que las variables para el presente proyecto son:

Tabla 1.1. Causa – Efecto

<i>Causa</i>	Variable independiente	Principio de funcionamiento de los destiladores para agua GFL 2004 en los Laboratorios de Ciencias de la Vida
<i>Efecto</i>	Variable dependiente	Consumo de energía eléctrica.

El problema mencionado al inicio de la presente investigación si puede ser resuelto con el uso de una fuente renovable de energía como la solar, mediante la construcción de un destilador solar para agua, a continuación se va a argumentar sobre la viabilidad práctica y teórica de la investigación.

1.4.1. Operacionalización de las variables

La matriz de operacionalización de las variables independiente y dependiente se expone en las tablas 1 y 2 del Anexo 4.

1.4.2. Fundamentación Legal

En la Constitución de la República del Ecuador existen leyes y reglamentos que resguardan a la biodiversidad, a los recursos naturales y al uso de recursos renovables. Además, el Estado Ecuatoriano fomenta el uso de energías limpias con el fin de disminuir la contaminación ambiental producida por el uso inapropiado y el mal manejo de combustibles fósiles.

La Constitución de la República del Ecuador y el Plan Nacional del Buen Vivir apoyan las investigaciones en el campo de las energías alternativas y su vez la Vicepresidencia comandada por el Ing. Jorge Glas se encuentra cambiando la matriz energética para no ser un país dependiente de los combustibles fósiles.

CONSTITUCIÓN DE LA REPÚBLICA DEL ECUADOR

TÍTULO VII: RÉGIMEN DEL BUEN VIVIR

CAPÍTULO SEGUNDO: BIODIVERSIDAD Y RECURSOS NATURALES

SECCIÓN SÉPTIMA

BIÓSFERA, ECOLOGÍA URBANA Y ENERGÍAS ALTERNATIVAS

Artículo 413.- El Estado promoverá la eficiencia energética, el desarrollo y uso de prácticas y tecnologías ambientalmente limpias y sanas, así como de energías renovables, diversificadas, de bajo impacto y que no pongan en riesgo la soberanía alimentaria, el equilibrio ecológico de los ecosistemas ni el derecho al agua. Las energías renovables deben ser aprovechables en el mayor porcentaje posible ya que esto dará lugar a futuras investigaciones.

En el Plan Nacional del Buen Vivir para los años comprendidos entre el 2013 y el 2017, el Estado Ecuatoriano propone una revolución del conocimiento, dicha revolución plantea una innovación en cualquier ámbito utilizando como bases principales la ciencia y la tecnología, esto llevará al Ecuador a no ser dependiente de recursos naturales no renovables como lo ha sido con el petróleo, se puede innovar en diferentes campos uno de ellos es utilizando energías limpias que ayuden a cambiar la matriz energética del país, un ejemplo de esto es la implementación de un destilador solar térmico.

PLAN NACIONAL DEL BUEN VIVIR 2013 - 2017

OBJETIVOS NACIONALES PARA EL BUEN VIVIR

OBJETIVO 7: GARANTIZAR LOS DERECHOS DE LA NATURALEZA Y PROMOVER LA SOSTENIBILIDAD AMBIENTAL, TERRITORIAL Y GLOBAL

7.7. Promover la eficiencia y una mayor participación de energías renovables sostenibles como medida de prevención de la contaminación ambiental.

- a. Implementar tecnologías, infraestructuras y esquemas tarifarios, para promover el ahorro y la eficiencia energética en los diferentes sectores de la economía.

- b. Promover investigaciones para el uso y la generación de energías alternativas renovables, bajo parámetros de sustentabilidad en su aprovechamiento.

Toda investigación que se realice contará con el apoyo del Estado Ecuatoriano ya que lo que se busca es el uso de energías alternativas, la investigación a realizar encajaría perfectamente en el objetivo 7 del Plan Nacional del Buen Vivir.

PLAN NACIONAL DEL BUEN VIVIR 2013 - 2017

OBJETIVOS NACIONALES PARA EL BUEN VIVIR

OBJETIVO 11: ASEGURAR LA SOBERANÍA Y EFICIENCIA DE LOS SECTORES ESTRATÉGICOS PARA LA TRANSFORMACIÓN INDUSTRIAL Y TECNOLÓGICA

11.1. Reestructurar la matriz energética bajo criterios de transformación de la matriz productiva, inclusión, calidad, soberanía energética y sustentabilidad, con incremento de la participación de energía renovable.

- a. Aprovechar el potencial energético basado en fuentes renovables.
- b. Fortalecer la investigación científica en los ámbitos energéticos, de industrias básicas y de generación y uso sustentable de energía renovable, para la industria, los hogares, el transporte y la producción.

Las investigaciones en ámbitos energéticos utilizando energías renovables deben ser fructíferas y de esto se debe aprovechar el mayor potencial energético posible, al incentivar las investigaciones con cualquier tipo de energía renovable, no solo se estaría ayudando a disminuir la contaminación ambiental, sino también se debe observar desde el ámbito social ya que varios estudiantes van a poder contar con agua destilada para sus prácticas de laboratorio, fruto del aprovechamiento de la energía solar.

1.5. Aspectos teóricos fundamentales

1.5.1. Fuentes de energía

La energía es la capacidad que tiene un determinado sistema para producir trabajo. Se mide en Joules, y a pesar de ser un fenómeno único puede manifestarse de diferentes formas como son: la mecánica, eléctrica, calorífica, entre otras. Todas las energías mencionadas anteriormente pueden transformarse unas en otras, manteniendo el principio fundamental de conservación el cual plantea que **la energía no se crea ni se destruye; solo se transforma** (Recio, 2014).

Las fuentes de energía se clasifican en dos grupos: las no renovables y las renovables. Esta última será motivo de investigación en el presente trabajo, ya que en el Ecuador se prevé que los combustibles fósiles lleguen a su fin en un futuro no muy lejano y las fuentes alternativas de energía serán las más empleadas. Las fuentes de energía generalmente son de origen hidráulico y químico, en este último campo se puede encontrar a los combustibles fósiles, los cuales se agotan a una velocidad acelerada. Es por ello que se requiere de la implementación de energías limpias y ecológicas que ayuden a disminuir la contaminación ambiental. A los elementos de la naturaleza que pueden suministrar energía se los denomina fuentes de energía, las que pueden ser renovables o no renovables.

1.5.1.1. Fuentes no renovables de energía

Son aquellas que proceden de combustibles fósiles que constituyen recursos naturales limitados y no renovables, entre ellos se destacan el carbón, el petróleo y el gas natural. Estas fuentes de energía también tienen como característica que sus reservas son limitadas y, por tanto, disminuyen a medida que son consumidas. Cuanto menores son las reservas, más difícil resulta su extracción y mayor es su coste.

1.5.1.2. Fuentes renovables de energías

Las fuentes renovables de energía son aquellas a las que se puede recurrir de forma permanente porque son inagotables como, por ejemplo el sol, el agua y el viento.

Además, se caracterizan por su impacto ambiental nulo en la emisión de gases de efecto invernadero. Entre las energías provenientes de fuentes renovables se tienen: la solar, eólica, geotérmica, de la biomasa, hidráulica, de las olas y mareomotriz.

1.5.2. Energía solar

La energía solar es la obtenida del sol. La radiación que incide en la superficie terrestre puede ser utilizada directamente como energía calorífica (Energía Solar Térmica). También, puede ser transformada por medio de paneles solares, en energía eléctrica (Energía Solar Fotovoltaica). Es de interés para la presente investigación la solar térmica.

Esta energía renovable tiene como base fundamental al sol que es la estrella más cercana a la tierra, posee un radio de 695 000 kilómetros, su temperatura media superficial se aproxima a los 6 000 °K, mientras que su periodo de rotación va desde los 25 días en el Ecuador hasta los 36 días cerca de los polos. Se debe tomar en cuenta que la energía solar está sometida a continuas fluctuaciones y a variaciones bruscas, en términos generales la intensidad de la energía solar disponible en un punto determinado de la tierra depende del día del año, de la hora y de la latitud, además la cantidad de energía que puede recogerse depende de la orientación y las características del dispositivo receptor.

1.5.2.1. Energía solar térmica. Tipos de aprovechamiento

La energía solar térmica se utiliza principalmente para calentar fluidos, normalmente agua. Dependiendo de la temperatura final alcanzada por el fluido a la salida, las instalaciones solares térmicas se dividen en: de baja, media y alta temperatura.

Instalaciones solares térmicas de baja temperatura: Son las más extendidas y se destinan a aquellas aplicaciones que no exigen temperaturas del agua superiores a los 363 °K, como, por ejemplo, la producción de agua caliente sanitaria para viviendas y polideportivos, apoyo a la calefacción de viviendas, calentamiento de agua para piscinas, entre otras. Los colectores que se utilizan en estas aplicaciones

son planos. Dentro de estos sistemas se pueden distinguir dos tipos de instalaciones: las de circulación forzada y las de circulación natural.

Instalaciones solares térmicas de media temperatura: Son destinadas a aquellas aplicaciones que exigen temperaturas del agua comprendidas entre los 363 °K y 523 °K, como, por ejemplo, el calentamiento de fluidos para procesos industriales y la desalinización de agua de mar, entre otras. A partir de los 363 °K los captadores planos convencionales presentan rendimientos bajos y cuando se pretende generar vapor entre 373 y 523 °K debe acudir a otro tipo de elementos de captación.

Instalaciones solares térmicas de alta temperatura: Se emplean en aquellas aplicaciones que requieran temperaturas superiores a 523 °K, como es la generación de vapor para la producción de electricidad en grandes centrales termosolares. Para este propósito, igualmente es imprescindible recurrir a un sistema de concentración de los rayos solares. Estos sistemas requieren de un dispositivo de seguimiento solar, de tal forma que siguen al sol en su recorrido diario, consiguiendo así una mayor captación de la radiación solar.

1.5.3. Distribución espectral de la radiación solar

La energía solar se transmite en forma de radiaciones electromagnéticas o luz que consiste en la combinación de campos eléctricos y magnéticos oscilantes, que se propagan a través del espacio transportando energía y cargas eléctricas de un lugar a otro.

Según Ibáñez *et al.* (2005), el sol emite radiación en toda la gama del espectro electromagnético, desde los rayos gamma hasta las ondas de radio. Pero debido al efecto de la fotosfera, que se encuentra próxima a los 6 000 °K, el flujo de energía emitida por el sol corresponde al de un cuerpo negro a esa temperatura.

La luz es la radiación que resulta visible al ojo humano. El 99 % de la radiación visible está comprendida entre 400 y 730 nm. La radiación cuya longitud de onda es inferior a 400 nm se denomina ultravioleta, y la de longitud de onda superior a 730 nm, infrarroja. El intervalo de la radiación ultravioleta se divide en tres: UV-A

(400 a 315 nm); UV-B (315 a 280 nm); UV-C (280 a 100 nm). En la figura 1.2 se muestra la Irradiancia solar espectral vs. Longitud de onda.

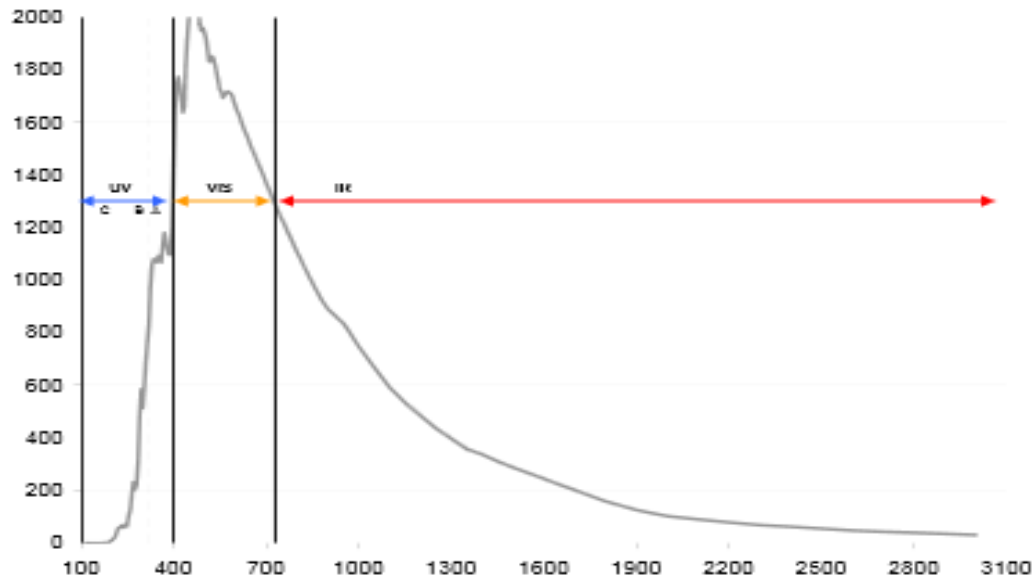


Figura 1.2. Irradiancia solar espectral vs. Longitud de onda.

Fuente: Williams, 1976.

1.5.4. Constante solar

La constante solar se define como la cantidad de energía recibida en forma de radiación solar por unidad de tiempo y de superficie, medida en la parte externa de la atmósfera terrestre en un plano perpendicular a los rayos del sol.

Desde el punto de vista energético, la masa solar que por segundo se irradia al espacio en forma de partículas de alta energía y de radiación electromagnética es aproximadamente de $5,6 \cdot 10^{35}$ GeV y de ella, la Tierra recibe en el exterior de su atmósfera un total de $1,73 \cdot 10^{14}$ kW, o sea $1,367 \text{ kW/m}^2$, que se conoce como constante solar y cuyo valor fluctúa en un $\pm 3 \%$ debido a la variación periódica de la distancia entre la Tierra y el Sol (Fernández, 2012). El valor definido anteriormente para la constante solar es el más aceptado por diferentes investigadores (Frohlich, 1977; Duffie & Beckman, 2013).

1.5.5. Radiación solar sobre la superficie terrestre

La radiación solar que llega a la tierra se ve afectada por dos factores: los astronómicos y los climáticos, a continuación se estudian cada uno de ellos.

1.5.5.1. Factores astronómicos

Son aquellos que dependen de la geometría tierra – sol, son función de la posición relativa sol – tierra y de las coordenadas geográficas del lugar, considerando latitud y longitud.

1.5.5.2. Factores climáticos

Son aquellos que atenúan la radiación que se espera en un determinado lugar, ya que para cada altura solar la radiación no suele tomar el valor esperado, los responsables de dicha atenuación son las nubes, el vapor de agua, los aerosoles y el ozono, entre otros gases atmosféricos.

1.5.6. Radiación global

También llamada radiación total, se puede expresar como la suma de la radiación directa, difusa y reflejada (Schallenberg *et al.*, 2008; Duffie & Beckman, 2013).

1.5.6.1. Radiación directa

Es la que llega a la tierra directamente del sol; sin haber incidido con nada por el camino y, por tanto, sin haberse desviado ni cambiado de dirección. Esta radiación es la que produce las sombras. Es el tipo de radiación predominante en un día soleado (Fernández, 2010; Pacco, 2010; Duffie & Beckman, 2013)

1.5.6.2. Radiación difusa

Es la que llega después de haber incidido con cualquier elemento de la atmósfera (polvo, nubes, contaminantes, entre otros), por lo que ha cambiado de dirección. Es el tipo de radiación predominante en un día nublado (Fernández, 2010; Pacco, 2010; Duffie & Beckman, 2013).

1.5.6.3. Radiación reflejada

Es la que refleja la superficie terrestre; cobra importancia en las zonas con nieve, agua (cerca del mar o de una presa) o cualquier otra zona donde la reflexión sea importante (Fernández, 2010; Pacco, 2010; Duffie & Beckman, 2013).

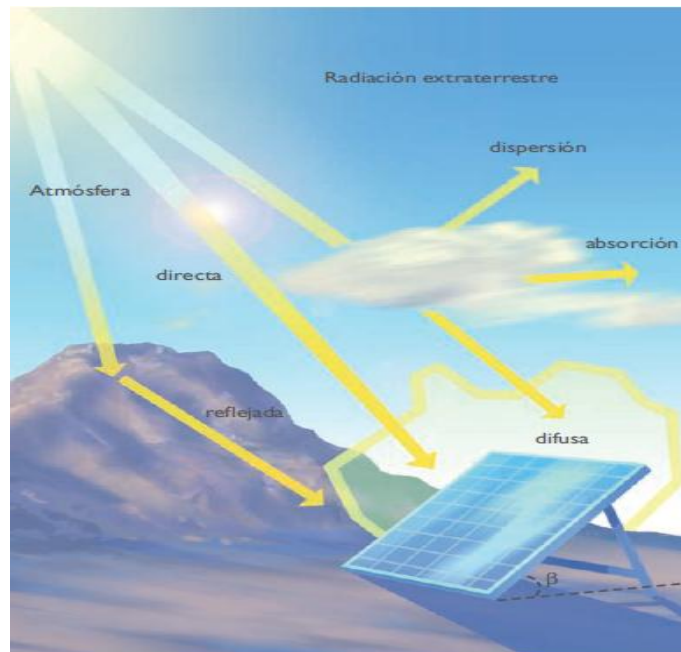


Figura 1.3. Tipos de radiación solar que llegan a la tierra.

Fuente: Schallenberg *et al.*, 2008.

1.5.7. Posición solar

Para el cálculo de la producción energética en una instalación solar es importante tomar en cuenta la trayectoria solar, la posición del sol se determina por la altura y el azimut del mismo, las dos variables antes mencionadas proporcionan la posición del sol referida al plano del horizonte.

La altura solar (α) es el ángulo formado por la superficie determinada por el horizonte. El azimut solar (ψ) es el ángulo de giro del sol medido sobre el plano horizontal mediante la proyección del rayo sobre dicho plano y tomando como origen el sur si la persona que analiza la posición solar se encuentra en el hemisferio norte y el norte si la persona que analiza la posición solar se encuentra en el hemisferio sur, por convenio se considera positivo la dirección hacia el oeste.

El ángulo cenital (Θ_z) es el ángulo formado por el eje vertical y la dirección de los rayos solares. La inclinación del captador (β) es el ángulo formado entre el captador con respecto a la horizontal. El ángulo de acimut del captador (γ) es aquel ángulo formado por el eje sur y la normal del captador en el plano horizontal. En la figura que se muestra a continuación se indica gráficamente cada uno de los ángulos descritos

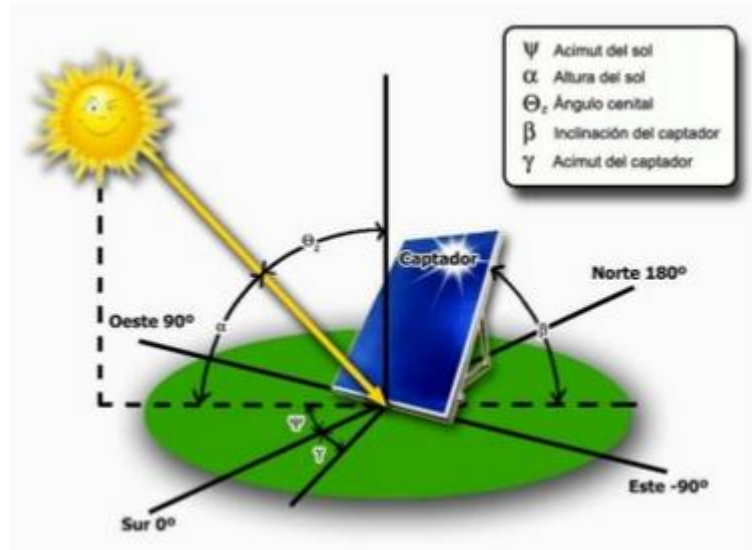


Figura 1.4. Posicionamiento solar

Fuente: Rodríguez *et al*, 2009

1.5.8. Instrumentos de medición de la radiación solar

Los instrumentos utilizados en la medición de la radiación solar, se clasifican según sea la medida a realizar, como por ejemplo la duración de la luz solar, la radiación directa, la radiación difusa y reflejada; a continuación se describen algunos de ellos.

1.5.8.1. Heliógrafos

Sirven para medir la duración de la luz solar, que se puede definir como el intervalo de tiempo durante el cual se observa el disco solar y determinan los períodos del día durante los cuales la intensidad de la radiación directa es superior a un cierto umbral, que está reconocido a nivel mundial con un valor de 120 W/m^2 . El intervalo de tiempo transcurrido entre la salida y la puesta de sol, define el

máximo tiempo de radiación solar diaria posible, para un día concreto del año y para un lugar determinado.

Los heliógrafos no comienzan a registrar la radiación solar hasta que la radiación directa es superior a un cierto valor, variable de un tipo de aparato a otro. El registrador de referencia intermedio de luz solar tiene un mínimo de intensidad de 210 W/m^2 , equivalente a $1/5$ de la máxima posible; debido a las variaciones entre los instrumentos, este umbral puede oscilar entre 7 y $28 \mu\text{W/cm}^2$. Entre los heliógrafos más utilizados se pueden destacar los de Campbell-Stokes y Denis-Jordan los cuales se muestran en la figura 1.5. Sus principios de funcionamiento se expone en la literatura consultada (Fernández, 2010)

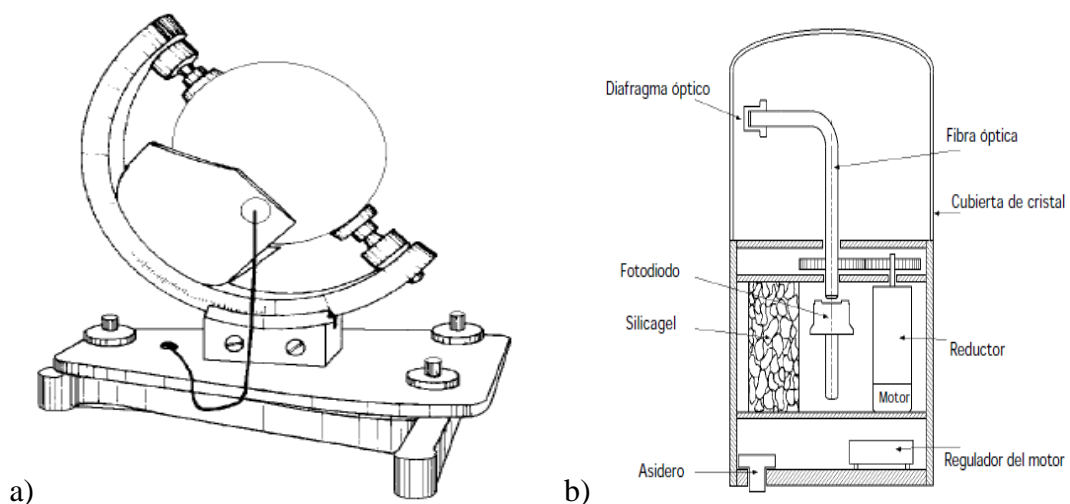


Figura 1.5. Heliógrafos empleados para medir la duración de la luz solar. a) Campbell-Stokes; b) Denis Jordan

Fuente: Fernández, 2010.

1.5.8.2. Pirheliómetros

Sirven para medir la radiación solar directa. Tienen una abertura colimada y una cara de recepción que debe permanecer siempre normal a los rayos solares como se indica en la figura 1.6. El pirheliómetro recibe energía sólo del disco solar y de un estrecho anillo de cielo contiguo, a través de un tubo largo; este aparato está dotado de un dispositivo automático de seguimiento del sol. El error provocado por una

apertura excesiva, aumenta en proporción a la cantidad de radiación admitida del cielo (Montgomery, 1994; Fernández, 2010).

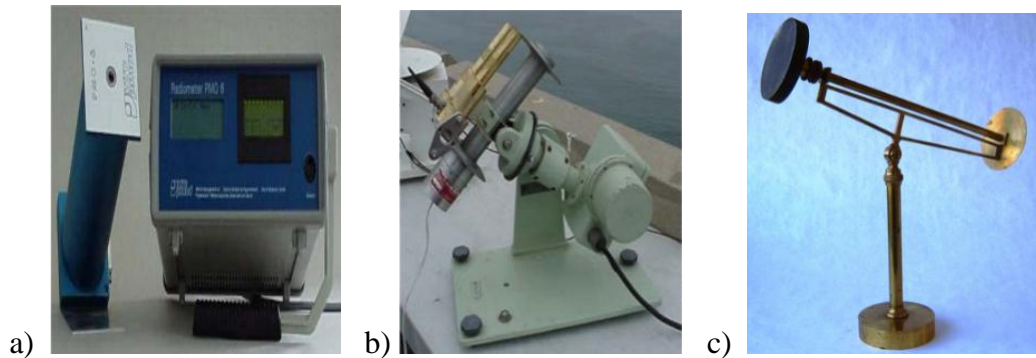


Figura 1.6. Pirheliómetros usados para la medición de la radiación directa. a) Digital; b) Compensador de Angstrom; c) Disco de Plata

Fuente: Schallenberg *et al.*, 2008.

1.5.8.3. Piranómetros

Sirven para medir la radiación global, directa y difusa, que se recibe en todas direcciones, dos modelos se indican en las figuras 1.7 a y b, por lo que el instrumento tiene que descansar sobre una base horizontal. Sin el anillo de sombra mide la radiación global mostrado en la figura 1.7 a; y con el mismo mide la radiación difusa como se indica en la figura 1.7 b. La radiación directa se elimina poniendo el aparato a la sombra, con ayuda de una pantalla, para que la superficie sensible del piranómetro capte sólo la radiación difusa.

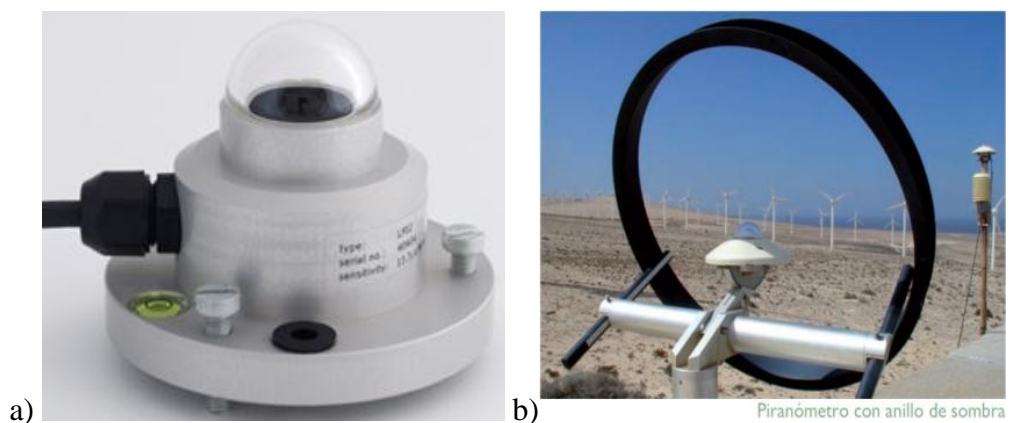


Figura 1.7. Piranómetros empleados para la medición de la radiación global, directa y difusa. a) Sin anillo de sombra; b) Con anillo de sombra

Fuente: Schallenberg *et al.*, 2008.

La banda de frecuencias medida por el piranómetro está comprendida en el intervalo entre 0,3 y 3 mm; si está protegido de la radiación directa por un anillo protector desvanecedor, entonces mide sólo la radiación difusa.

Los piranómetros más usuales se basan en la detección de la diferencia de temperaturas entre una superficie negra y una superficie blanca mediante termopilas o células fotoeléctricas, que deben estar protegidas del viento y compensadas para cambios de temperatura ambientales, mediante una doble semiesfera de vidrio, para suprimir los fenómenos de convección. Mediante un nivel se consigue la horizontalidad del aparato. En la figura 1.8 se muestran medidas piranométricas para diferentes condiciones ambientales en América del Sur.

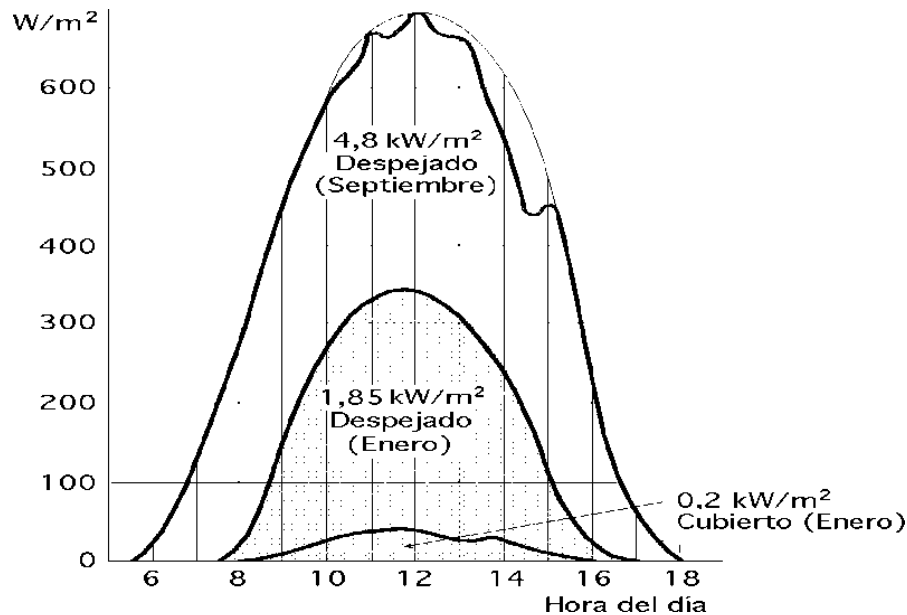


Figura 1.8. Medidas piranométricas para diferentes condiciones ambientales.

Fuente: Schallenberg *et al.*, 2008.

El **Albedómetro** mide la radiación reflejada o albedo. Y el **Pirradiómetro Diferencial** permite determinar la diferencia entre las radiaciones dirigidas hacia el suelo y hacia el espacio. Este instrumento permite establecer dos balances radiactivos. Otros detalles específicos de los equipos mencionados pueden ser encontrados en la literatura consultada (Fernández, 2012).

1.5.9. Fundamentos básicos de transferencia de calor para la utilización de energía solar

Para el estudio y diseño de un colector solar es de mucha importancia conocer sobre transferencia de calor, un suficiente conocimiento del proceso es indispensable para diseñar colectores eficientes ya que la energía solar que llega a la superficie de la tierra es mediante radiación, así también se pueden diseñar otros elementos como intercambiadores de calor para transferir la energía almacenada a los aparatos de conversión de energía o donde ésta sea utilizada.

1.5.9.1. Transmisión del calor por conducción

La transferencia de calor por conducción se define como la transmisión de energía de las partículas más a las menos calientes en una sustancia, provocado por las interacciones entre las mismas. La ecuación para determinar la transferencia de calor por conducción se conoce como la Ley de Fourier (Duffie & Beckman, 2013):

$$q_x^n = k \cdot \frac{\Delta T}{L} \quad (1.1)$$

Donde:

q_x^n : Densidad del flujo de calor transferido por conducción; W/m²

k : Conductividad térmica; W/m·°K

ΔT : Variación de temperatura; °K

L : Longitud de la superficie; m

El flujo de calor representa la velocidad de transferencia de calor a través de una sección de área unitaria, por lo tanto para determinar la pérdida de calor de la pared se aplica la siguiente ecuación:

$$q_x = q_x^n \cdot A = A \cdot k \cdot \frac{\Delta T}{L} \quad (1.2)$$

Donde:

q_x : Flujo de calor transferido por conducción; W

A: Área de transferencia de calor; m²

1.5.9.2. Transmisión del calor por convección

La transferencia de calor por convección está estructurada por dos mecanismos, el primero es la transferencia de energía debida al movimiento molecular aleatorio y además por el movimiento global o macroscópico del fluido, en otras palabras debido a los efectos combinados de la conducción y movimiento global de un fluido; puede ocurrir la transferencia de calor por convección forzada y esto sucede cuando el flujo es provocado por medios externos como una bomba, un ventilador o un compresor y la transferencia de calor por convección libre o natural la cual sucede cuando el flujo es inducido por fuerzas de empuje provocadas por diferencias de densidades que son producto de las variaciones de temperatura en el fluido.

Para determinar la transferencia de calor por convección (sea forzada o libre) se emplea la Ley de enfriamiento de Newton, la que se describe a través de la siguiente ecuación (Duffie & Beckman, 2013):

$$q = h \cdot A \cdot (T_s - T_\infty) \quad (1.3)$$

Donde:

q : Flujo de calor transferido por convección; W

h : Coeficiente de transferencia de calor por convección; W/m²·°K

T_s : Temperatura de la superficie; °K

T_∞ : Temperatura del fluido; °K

1.5.9.3. Transmisión del calor por radiación

Tomando como referencia una superficie la cual recibe toda la radiación proveniente del sol, la radiación que la superficie emite y la velocidad a la que libera energía por unidad de área se conoce como potencia emisiva superficial. De la Ley de Stefan - Boltzmann se obtiene la siguiente ecuación para determinar la transferencia de calor por radiación

$$q_{rad} = \varepsilon \cdot \sigma \cdot A \cdot (T_s^4 - T_{alr}^4) \quad (1.4)$$

Donde:

q_{rad} : Flujo de calor transferido por radiación; W

ε : Emisividad de la superficie; (adimensional)

σ : Constante de Stefan-Boltzman; $5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{°K}^4$

T_{alr} : Temperatura de los alrededores; °K

La emisividad es una propiedad radiactiva de la superficie. Los valores para cuerpos reales se encuentran en el intervalo $0 \leq \varepsilon \leq 1$. Esta propiedad expresa la medida de la eficiencia con que una superficie real emite energía en relación con un cuerpo negro.

1.6. Proceso de destilación solar

La destilación es un proceso por el cual, mediante la aplicación de calor se puede separar las distintas sustancias de una mezcla líquida. El proceso de destilación se basa en las diferentes temperaturas que necesitan cada una de las sustancias de una

mezcla para evaporarse y en la posterior condensación por separado de cada una de ellas (Nandwani, 2009).

La humanidad ha empleado la destilación para diversos fines, como para la producción de determinados tipos de alcohol, la obtención de agua pura o de otros compuestos químicos en estado puro. Como fuente de calor, la energía solar puede emplearse para destilar, ya sea concentrándola y alcanzando altas temperaturas o bien a temperaturas bajas. La destilación solar a baja temperatura resulta un sistema sencillo, eficiente y de fácil accesibilidad para todo tipo de sociedades. Aplicado de forma masiva podría evitar un buen número de enfermedades en los países pobres producto del consumo de agua contaminada.

1.6.1. Destilación solar en la naturaleza

En la naturaleza se produce la destilación a gran escala en el ciclo del agua. Mediante la energía que aporta el sol, se evapora el agua de los mares y de otras superficies húmedas, ascendiendo en la atmósfera y desplazándose en estado gaseoso impulsada por las corrientes de aire. Cuando se prestan las condiciones adecuadas esta agua se condensa en forma de gotas que se quedan suspendidas en la atmósfera formando las nubes.

Tomando en cuenta el proceso del ciclo del agua según dice Jiménez (2009):

Si las condiciones siguen siendo adecuadas continúa el proceso de condensación pasando al estado líquido cada vez más cantidad de agua y haciéndose las gotas suspendidas cada vez más grandes y pesadas hasta el punto de que por gravedad empiecen a caer hasta el suelo produciéndose las precipitaciones (lluvia, nieve y granizo).

Por este proceso el agua del mar, que está mezclada con una gran cantidad de sales y otras sustancias, se separa quedando en un estado prácticamente puro que es como cae en la lluvia. Toda el agua dulce que se encuentra en las zonas continentales de

la tierra es producto de la destilación atmosférica que se produce en el ciclo del agua, el cual se muestra en la figura 1.9.



Figura 1.9. Esquema del ciclo del agua

Fuente: Benavides, 2006.

Los destiladores solares

Los destiladores solares son sistemas eficientes que tratan de reproducir a pequeña escala y de manera acelerada el ciclo natural del agua, de la misma manera permiten obtener agua dulce eliminando residuos de hongos, virus, bacterias y otros tipos de contaminantes.

Mediante los destiladores solares es posible obtener agua dulce del agua del mar, del agua contaminada e incluso de la contenida en los vegetales. Es de especial utilidad en zonas desérticas próximas al mar ya que cuenta con los dos elementos fundamentales: abundancia de agua salada y de radiación solar. Los equipos de destilación solar si están fabricados con materiales adecuados, pueden funcionar con pleno rendimiento durante muchos años y ofrecer una gran cantidad de agua destilada a bajo costo.

Los principios de la destilación solar pueden ser aplicados en distintas escalas; desde destiladores pequeños domésticos para obtener unos cuantos litros de agua al

día hasta grandes instalaciones con los que se pueden obtener varios metros cúbicos diarios.

Existen ejemplos de grandes equipos de destilación solar que se han aplicado con éxito para obtener agua en lugares donde escaseaba. La primera gran planta de destilación solar se fabricó en el año 1874 cuando el inglés Charles Wilson diseñó y dirigió la instalación en el desierto de Atacama en Chile para la Salitrera Lastenia Salinas, el modelo construido se indica en la figura 1.10.

Esta central era capaz de proporcionar un promedio de 22 500 litros de agua diarios y estuvo en funcionamiento hasta el año 1907. La instalación contaba con una superficie de captación superior a los 4 000 m². Desde entonces otras grandes instalaciones de este tipo se han desarrollado en diversas zonas del mundo con escasez de agua pero con acceso al mar como Israel, Islas Canarias (España) y en diversas islas áridas del mediterráneo entre otras. La destiladora solar de mayor tamaño del mundo fue instalada en la isla de Patmos (Grecia) que cuenta con una superficie de captación superior a los 8 000 m².

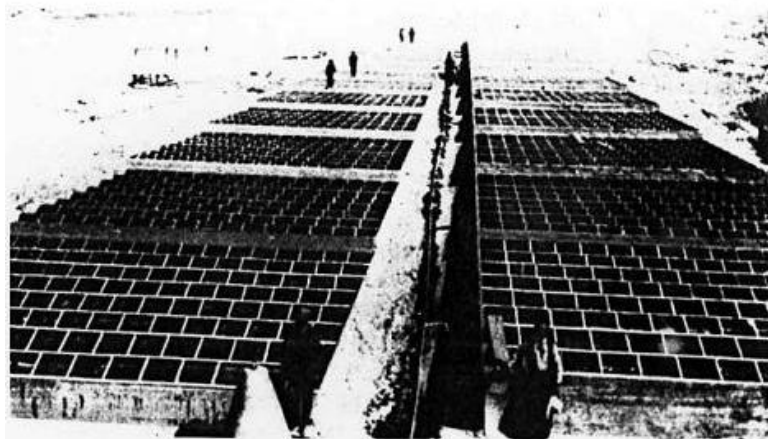


Figura 1.10. Destilador solar en el desierto de Atacama

Fuente: Marchesi *et al*, 2008.

Funcionamiento del proceso de destilación solar

El empleo de los destiladores solares supone en esencia reproducir en pequeña escala el ciclo natural del agua. Existen muchas configuraciones de destiladores

solares aunque todos ellos operan por el mismo principio. En una caja o espacio contenedor se dispone un recipiente o estanque con fondo de color negro en donde se vierte el agua salada o contaminada para destilar. Cerrando este espacio se coloca una superficie transparente que permite pasar la radiación solar y que provoca el efecto invernadero al tiempo que también retiene la humedad.

Con la ayuda de la figura 1.11 se explica el proceso para la obtención de agua destilada, la radiación solar en contacto con el recipiente negro eleva la temperatura del recipiente, del agua en su interior y del aire favoreciendo la evaporación (1). De esta manera en el interior del destilador se crea una atmósfera muy cálida y saturada de humedad. El vapor de agua asciende entonces por convección hasta la superficie transparente, que por estar en contacto con el exterior está a una temperatura más fría que el resto del destilador. En ésta superficie se condensa el agua formando pequeñas gotas (2).

La superficie transparente está dispuesta de manera adecuada para favorecer que las gotas, conforme continúa el proceso van aumentando de tamaño, además fluyen hacia un recipiente donde se recoge toda el agua destilada (3), mientras dure la radiación solar y exista agua que destilar el proceso se mantiene.

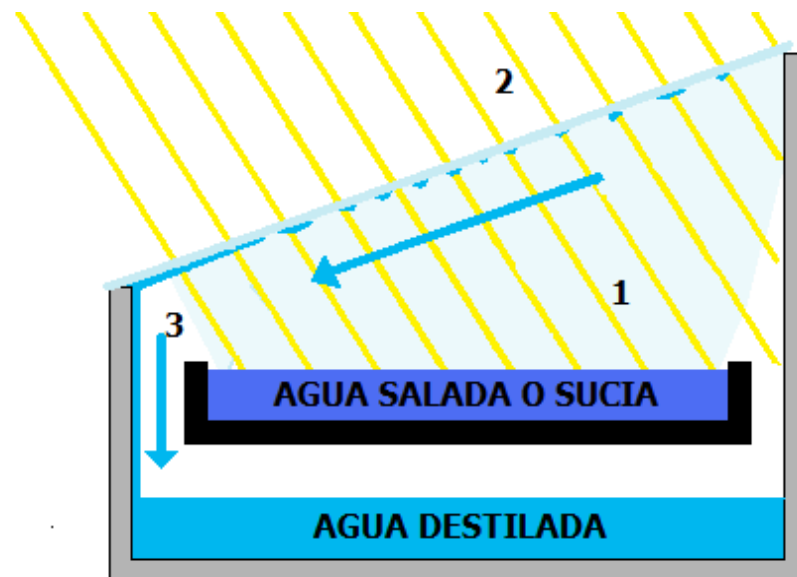


Figura 1.11. Funcionamiento de un destilador solar

Fuente: Fernández, 2010.

1.6.2. Modelos de destiladores solares más empleados

Existen múltiples modelos y tamaños de destiladores solares. Aunque en todos el mecanismo de funcionamiento es semejante. La configuración de los distintos elementos determina que estos tengan mayor o menor eficiencia.

A continuación se detalla el funcionamiento y la forma de cada uno de los modelos de destiladores más empleados para la generación de agua destilada.

1.6.2.1. Destilador solar de una vertiente

El destilador solar de una vertiente consta de una caja la cual puede variar el tamaño de acuerdo a la cantidad de agua que se desea destilar a la vez se encuentra cubierta por un cristal inclinado entre 14 a 45 grados sexagesimales, siendo importante que todo el condensado pueda fluir por las paredes del cristal. En la parte inferior se debe colocar una plancha que puede ser de metal y, a la vez, de color negro, lugar en el cual se coloca el agua que se desea destilar, el siguiente elemento es el colector de agua destilada, el cual se encuentra en la parte de menor altura del destilador, en la figura 1.12 se observa un destilador solar de una vertiente con un ángulo de inclinación de 25°.



Figura 1.12. Destilador solar de una vertiente

Fuente: Marchesi *et al*, 2008.

1.6.2.2. Destilador solar de invernadero

Este tipo de destiladores poseen la forma de un invernadero. En su interior se colocan cavidades para albergar agua, las cuales no son de gran tamaño. Igual que los destiladores de una y dos vertientes este modelo posee en su interior una plancha que puede ser de metal y de color negro; mediante la radiación solar el agua se evapora hasta que se condensa en las paredes del invernadero y por gravedad se desliza por los planos inclinados que posee, en las figuras 1.13 y 1.14 se observa un modelo de destilador solar tipo invernadero y un corte para conocer su interior, respectivamente.

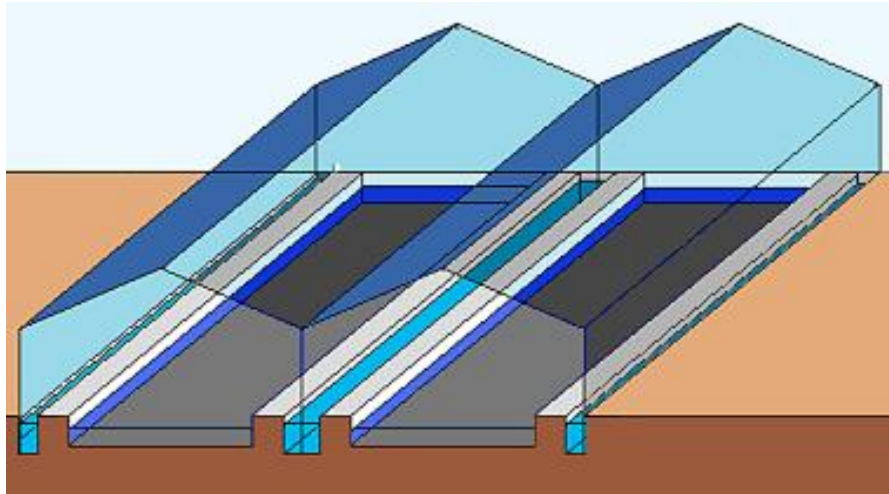


Figura 1.13. Destilador solar tipo invernadero

Fuente: Velasco, 2012.

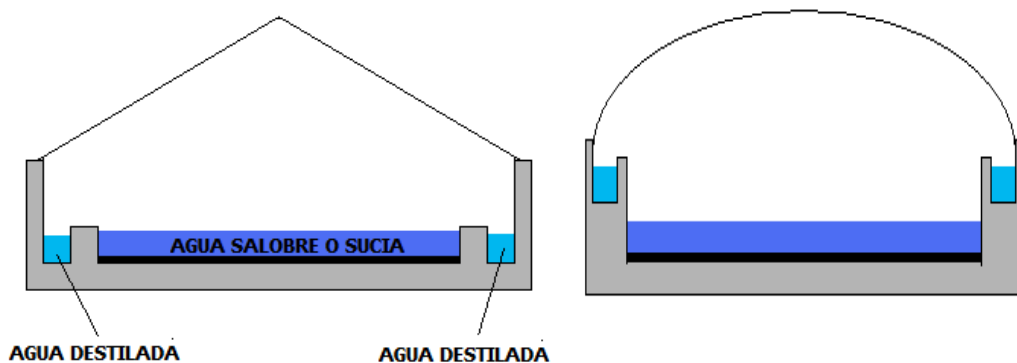


Figura 1.14. Sección del destilador solar de invernadero.

Fuente: Velasco, 2012.

1.6.2.3. Destilador solar de cascada

Es aquel que posee forma de gradas o también se conocen como terrazas, en la base de cada grada existen pequeños tanques los cuales se encuentran llenos de agua y en la parte inferior se coloca una plancha de acero de color negro, una vez que la radiación incide en el destilador solar de cascada, el agua comienza su evaporación, luego pasa al estado gaseoso para posterior a ello condensarse en la parte superior que es un vidrio inclinado y por gravedad se van deslizando a la parte del colector de agua destilada, el nombre de cascada se originó porque al momento de colocar nuevamente agua para destilar, la misma se va trasladando como una cascada como se muestra en la figura 1.15.

En la práctica la temperatura obtenida dependerá de la calidad óptima del reflector, la precisión del mecanismo de seguimiento y la eficiencia de absorción del reflector (Williams, 1976)

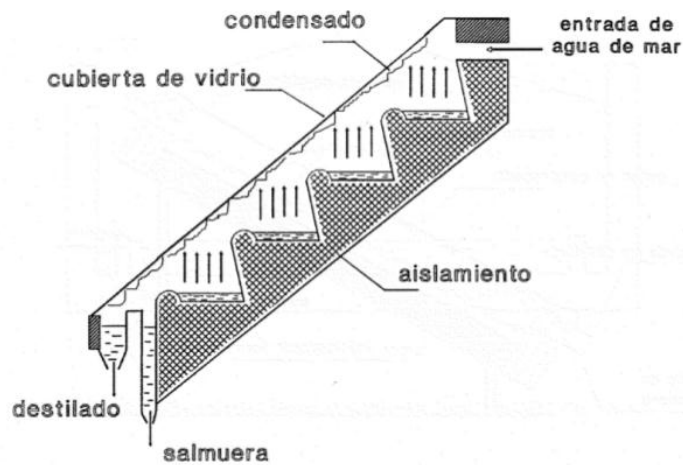


Figura 1.15. Destilador solar de cascada.

Fuente: Marchesi *et al*, 2008.

1.6.2.4. Destilador solar esférico de barredera

Posee una forma esférica que es realizada en un material transparente (vidrio) y, a la vez, posee dentro del cuerpo esférico una barredera la cual cumple con la función de girar constantemente e ir aglomerando las gotas de agua que se van condensando en el recipiente y por gravedad va a producir la precipitación de las mismas, dicha

barredera es activada por un motor que gira a revoluciones bajas, en la parte central del destilador existe una pequeña plancha que preferiblemente debe ser de color negro.

El destilador solar esférico ayuda al ingreso de los rayos solares, por lo tanto la radiación que recibe será mayor porque no existe ningún tipo de pared que impidan el paso de la radiación, además que el destilador va a aprovechar el calor que se produce en el interior gracias a que no existe ningún tipo de obstrucción.

El presente destilador tiene una mayor eficiencia al momento de producir agua destilada pero para que la barredera se pueda mover es necesario de un motor el cual necesita de energía eléctrica para su funcionamiento. Otra opción sería el colocar paneles solares para el funcionamiento del motor pero esto no sería suficiente. En la figura 1.16 se puede observar que la forma que adopta el presente destilador es la más complicada con relación al resto de destiladores para agua antes mencionados.

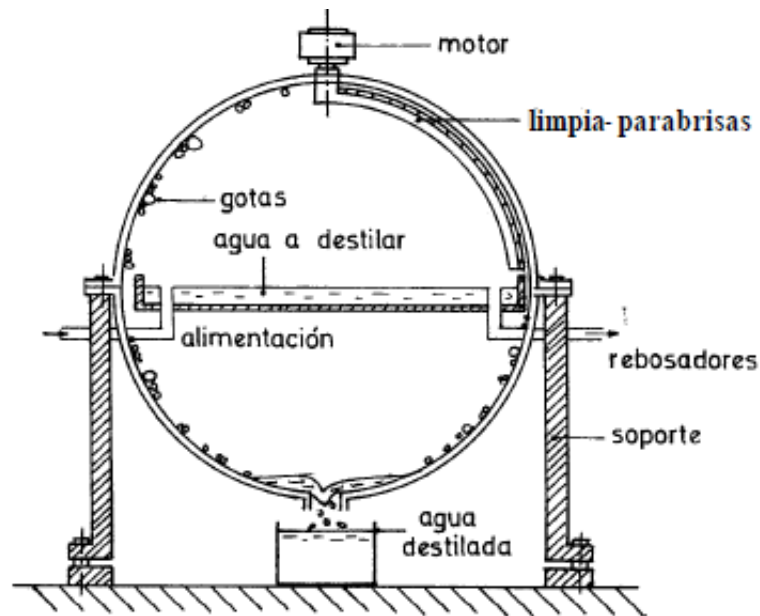


Figura 1.16. Destilador solar esférico de barredera.

Fuente: Albuja, 1989.

1.6.2.5. Destilador solar de dos vertientes

Tiene la característica de poseer en la parte superior un “techo” de material transparente que puede ser vidrio, las gotas que en el proceso de destilación se van condensando en el panel transparente se van deslizando por ambos lados y llegan a un depósito colocado en la parte inferior del destilador instalado bajo la bandeja es ahí donde se recoge toda el agua destilada que se obtiene y luego desde el colector de agua destilada se puede extraer el recurso obtenido por medio de una llave o trasladar el agua de forma manual, un prototipo de este destilador se observa en la figura 1.17.

Cuando los valores de radiación son bajos y se requiere calor en el invierno, el colector de doble cubierta es el mejor (Montgomery, 1994).



Figura 1.17. Destilador solar de dos vertientes

Fuente: Álvarez, 2012.

Principio de Funcionamiento:

1. La radiación solar que ingresa en el colector incide directamente en la parte inferior del mismo en la base que preferiblemente debe ser de color negro, esto induce a que el agua vaya elevando su temperatura constantemente.

2. Al momento que el agua va elevando su temperatura se provoca la evaporación y el ambiente en el interior del destilador pasa a ser muy húmedo.
3. La humedad continúa aumentando en el ambiente y esto provoca que el agua que se está evaporando se concentre en el techo del destilador.
4. Todas las gotas que se van concentrando en la parte superior del destilador comienzan por gravedad a deslizarse hasta llegar al colector de agua destilada.
5. En el colector se va acumulando el agua destilada producida en el proceso, la misma que será utilizada para diferentes aplicaciones en los Laboratorios de Ciencias de la Vida, uno de ellos el lavado de instrumentos que son utilizados en las prácticas de laboratorio

El ángulo de inclinación correcto para los vidrios es muy importante, los colectores solares deben tener un ángulo mínimo de inclinación de 10° , pero según Lucas (1975) lo ideal es colocarlos a un ángulo de 30° ya que a este ángulo se produce una menor cantidad de pérdidas por radiación, en la figura 1.18 se observa un modelo de destilador para agua con un ángulo de inclinación de 30° .

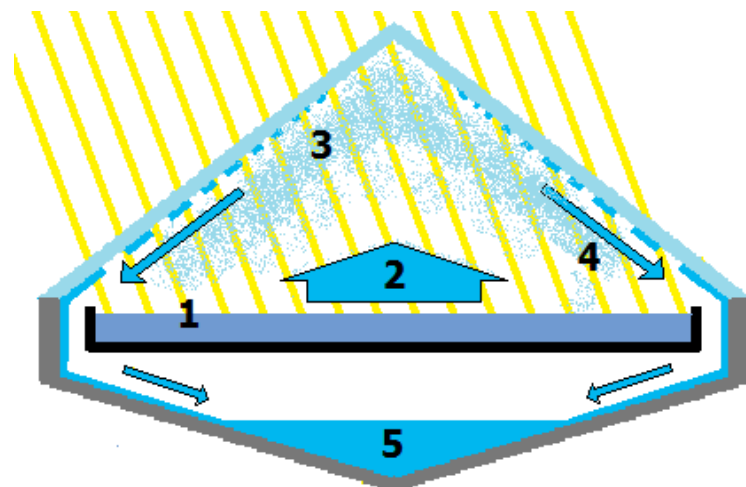


Figura 1.18. Destilador solar de dos vertientes 1

Fuente: Jiménez, 2009.

En el destilador de dos vertientes, la captación de energía solar es mucho más eficiente que en el destilador solar de una sola vertiente puesto que no existen paredes las cuales puedan provocar algún tipo de sombra e interrumpir el paso de la luz solar

1.6.3. Rendimiento de los destiladores solares

El rendimiento de los destiladores solares está función de la intensidad de la radiación solar, de la temperatura ambiente, así como de la forma y las características del destilador.

En principio las regiones soleadas y cálidas ofrecerán mejores condiciones para la destilación solar que las regiones frías y húmedas, donde por otro lado en principio no se hará preciso recurrir a este sistema. Es decir, los lugares donde se hará más necesario recurrir a la destilación solar por ser más secos serán también los que dispondrán de más luz solar. Se origina una coincidencia de circunstancias que no siempre ocurre en otras aplicaciones solares térmicas.

En líneas generales se estiman que los porcentajes de aprovechamiento útil de la energía solar para destilar agua rondan entre el 15 y el 50 % para los modelos antes mencionados. Estos valores traducidos en cifras cotidianas significan que es posible obtener entre 0,5 y 2 litros diarios por metro cuadrado de destilador, en días soleados. Estos niveles de producción hacen perfectamente viable el uso de agua destilada solar para fines sanitarios en pequeñas instalaciones, para fines industriales en instalaciones de suficiente tamaño y además para uso en laboratorios.

1.7. Proceso de diseño de un destilador solar

Los parámetros fijados para el diseño se presentan en la tabla 1.2. Una de las metas de la presente investigación es proporcionar agua destilada a los Laboratorios de Ciencias de la Vida, el consumo promedio diario de los laboratorios se estima en 10 litros de agua, por lo que se pretende que el equipo genere un volumen de agua

que ayude a complementar la cantidad de agua requerida por los laboratorios. Para realizar el diseño del destilador se toma como referencia una de las fuentes bibliográfica más pertinente en esta temática. (Duffie & Beckman, 2013).

Tabla 1.2. Parámetros iniciales de diseño.

Parámetro	Valor	Referencia
Temperatura ambiente	287,7 °K	INAMHI
Temperatura del agua	288 °K	INAMHI
Velocidad promedio del viento	3,1 m/s	INAMHI

INAMHI: Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología.

Con los parámetros de diseño establecidos se realiza el balance de materia y energía del sistema, en el que se incluye: transferencias de calor en el sistema y calor necesario para llevar a cabo los distintos procesos de evaporación, condensación tal como se expondrá a continuación.

La radiación solar se calcula de acuerdo al día en el cual se realizan los cálculos necesarios para la construcción del destilador contado a partir del 1 de Enero, en el caso de la presente investigación se toma como referencia el 16 de Enero por consiguiente se considera el número 16 para los cálculos del equipo. Con el valor de n se puede calcular la declinación solar utilizando la ecuación. 1.5 propuesta por Duffie & Beckman, (2013).

Declinación solar

Es el ángulo formado entre el rayo solar con el plano del Ecuador en cada época del año.

$$\delta = 23,45 \cdot \text{sen} \left(360 \cdot \frac{284 + n}{365} \right) \quad (1.5)$$

Donde:

δ : Ángulo de declinación solar; grados sexagesimales.

n : Día considerado del año, contado a partir del 1 de enero; adimensional.

Ángulo del ocaso

Una vez obtenido el valor de la declinación solar se calcula este parámetro, el cual se fundamenta en el movimiento aparente del sol, el cual recorre 15° cada hora, de esta manera el tiempo solar habitualmente referido en horas antes (-) o después (+) del medio día solar se puede expresar en un valor angular.

$$\omega_s = \cos^{-1}(-\operatorname{tg} \delta \cdot \operatorname{tg} \phi) \quad (1.6)$$

Donde:

ω_s : Ángulo del ocaso; grados sexagesimales.

ϕ : Latitud del lugar; grados sexagesimales.

Número de horas teóricas de sol

Son aquellas horas útiles calculadas en función del ángulo del ocaso, se considerando desde la salida hasta la puesta del sol.

$$N = \frac{2}{15} \cdot \omega_s \quad (1.7)$$

Donde:

N: Número de horas teóricas de sol; adimensional

Irradiación diaria solar promedio extraterrestre sobre una superficie horizontal

Es la irradiación solar diaria que se recibe sobre una superficie horizontal situada en el límite superior de la atmósfera.

Se calcula a través de la ecuación 1.8, en la misma se utiliza como valor de la constante solar 1367 W/m^2 (Duffie & Beckman, 2013).

$$H_o = \frac{24 \cdot G_{sc}}{\pi} \cdot \left(1 + 0,033 \cdot \cos \frac{360 \cdot n}{365} \right) \cdot \left(\cos \phi \cdot \cos \delta \cdot \sin \omega_s + \frac{\pi \cdot \omega_s}{180} \cdot \sin \phi \cdot \sin \delta \right) \quad (1.8)$$

Donde:

H_o : Irradiación diaria solar promedio extraterrestre; Wh/m^2 día.

G_{sc} : Constante solar; W/m^2 .

Irradiación diaria solar promedio terrestre sobre una superficie horizontal

Para determinar este parámetro se emplea la ecuación 1.9 en la cual se ocupa la relación Amstrong - Prescott y, además, se requiere el número de horas real de sol (n_r), detallado en la tabla 1.3.

$$H = H_o \cdot \left(a + b \cdot \frac{n_r}{N} \right) \quad (1.9)$$

Donde:

H : Irradiación solar promedio terrestre; Wh/m^2 día.

a y b : Constantes climáticas [$a = 0,23$ y $b = 0,56$, según Benavides (2006)]; adimensionales.

n_r : Número de horas reales de sol (para el mes de enero $n_r = 4,80$); adimensional.

Tabla 1.3. Promedio de heliofanía anual en la ciudad de Quito.

Mes	2008	2009	2010	2011	2012	Suma	Promedio anual	Dias/mes	Promedio diario
Enero	141,4	111,5	232,2	161,7	97,8	744,6	148,92	31	4,80
Febrero	104,2	104,6	156,5	100,3	77,5	543,1	108,62	28	3,88
Marzo	92,2	146,6	159,9	119,4	132,3	650,4	130,08	31	4,20
Abril	132,3	150,2	119,6	93,1	91,1	586,3	117,26	30	3,91
Mayo	133,9	176,9	165	155,7	150,4	781,9	156,38	31	5,04
Junio	182,6	172,9	135,1	144,2	210,9	845,7	169,14	30	5,64
Julio	176,3	213	169,5	163,9	224,7	947,4	189,48	31	6,11
Agosto	164,7	196,2	183,3	225,9	227,8	997,9	199,58	31	6,44
Septiembre	171,1	230,6	159,7	175,9	240,7	978	195,6	30	6,52
Octubre	152,2	164,3	158,8	149,4	143,2	767,9	153,58	31	4,95
Noviembre	132,6	175,1	78,5	165,8	120	672	134,4	30	4,48
Diciembre	153,8	183,8	73	143,5	175	729,1	145,82	31	4,70
Suma									60,68
Promedio anual									5,06

Fuente: INAMHI, 2014.

Irradiación solar difusa promedio

Este parámetro se determina mediante la ecuación 1.10, para ello se requiere la determinación del índice de claridad (K_T), según la expresión 1.10a.

$$H_d = H \cdot (1,39 - 4,03 \cdot K_T + 5,53 \cdot K_T^2 - 3,11 \cdot K_T^3) \quad (1.10)$$

$$\text{Siendo: } K_T = \frac{H}{H_o} \quad (1.10a)$$

Donde:

H_d : Irradiación solar difusa promedio; Wh/m² día.

K_T : Índice de claridad; adimensional.

Irradiación solar directa promedio

La misma se calcula como una función de la irradiación solar promedio terrestre y la difusa, según la siguiente ecuación.

$$H_b = H - H_d \quad (1.11)$$

En la tabla 1.4 se muestran los resultados promedios de la irradiación solar terrestre sobre una superficie horizontal, la difusa y la directa para los 12 meses del año. Los cálculos se realizaron empleando las expresiones 1.9; 1.10 y 1,11; respectivamente.

Tabla 1.4. Radiación directa y difusa promedio mensual

Mes	n_r	H (Wh/m ² día)	K_T	H_d (Wh/m ² día)	H_b (Wh/m ² día)
Enero	4,80	4 577,45	0,45	1 872,85	2 704,59
Febrero	3,88	4 281,37	0,41	1 934,90	2 346,46
Marzo	4,20	4 484,30	0,43	1 957,55	2 526,75
Abril	3,91	4 213,49	0,41	1 897,48	2 316,00

Mayo	5,04	4 491,69	0,47	1 790,24	2 701,45
Junio	5,64	4 582,95	0,49	1 715,66	2 867,28
Julio	6,11	4 850,03	0,52	1 727,09	3 122,93
Agosto	6,44	5 255,99	0,53	1 808,13	3 447,85
Septiembre	6,52	5 525,38	0,53	1 884,63	3 640,74
Octubre	4,95	4 789,81	0,46	1 928,42	2 861,39
Noviembre	4,48	4 442,33	0,44	1 881,44	2 560,88
Diciembre	4,70	4 461,46	0,45	1 845,01	2 616,44

En la tabla 1.4 se observa que en el mes de abril se obtiene el menor valor de irradiación, por tanto se toma este valor como referencia para los cálculos posteriores.

Lo anterior garantizará que el destilador diseñado trabaje apropiadamente hasta en bajas condiciones climatológicas.

Diseño térmico

Cálculo de calor perdido por conducción

El calor perdido por conducción se determina mediante la ecuación 1.12.

$$q_c = K_b \cdot (T_w - T_a) \quad (1.12)$$

Donde:

q_c : Calor perdido por conducción ; W/m².

K_b : Resistencia térmica equivalente del aislante; W/m² °K.

T_w : Temperatura media del agua; °K.

T_a : Temperatura ambiente; °K.

Resistencia equivalente

Para realizar el cálculo del calor perdido por conducción es necesario encontrar en primer lugar la resistencia equivalente, para ello se emplea la ecuación 1.13.

$$R_{eq} = \frac{x_1}{k_1} + \frac{x_2}{k_2} + \frac{x_3}{k_3} \quad (1.13)$$

Donde:

R_{eq} : Resistencia térmica equivalente de los materiales; $m^2 \cdot ^\circ K/W$.

x_1 : Espesor de plancha de acero; m.

x_2 : Espesor del aislamiento de lana de vidrio; m.

x_3 : Espesor de la plancha de acero inoxidable; m.

k_1 : Coeficientes de conductividad térmica del acero inoxidable; $W/m \cdot ^\circ K$.

k_2 : Coeficientes de conductividad térmica de la lana de vidrio; $W/m \cdot ^\circ K$.

k_3 : Coeficientes de conductividad térmica del acero inoxidable; $W/m \cdot ^\circ K$.

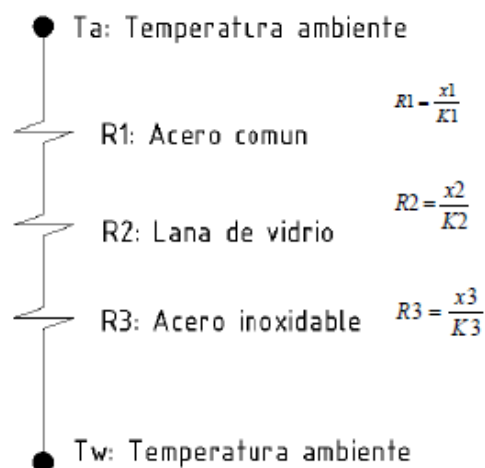


Figura 1.19. Analogía eléctrica del sistema

Espesores de aislamiento a utilizar

El espesor de aislamiento a utilizar en la construcción del destilador solar se selecciona de la guía técnica para el diseño y cálculo del aislamiento térmico de conductores, aparatos y equipos del Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía de España (IDAE, 2007).

Coefficiente de transferencia de calor por convección

Se calcula a partir de la ecuación 1.14 reportada por Duffie & Beckman, (2013).

$$h_{ct} = 2,8 + 3 \cdot v \quad (1.14)$$

Donde:

h_{ct} : Coeficiente de transferencia de calor por convección; $W/m^2 \text{ } ^\circ K$.

v : Velocidad del viento (en este caso 3,1); m/s .

Resistencia térmica total

Se determina utilizando los valores de la resistencia térmica equivalente de los materiales y el coeficiente de transferencia de calor por convección.

$$K_b = \frac{1}{R_{eq} + \frac{1}{h_{ct}}} \quad (1.15)$$

Cálculo del calor perdido por radiación del vidrio

El calor perdido por la radiación del vidrio se determina a través de la ecuación 1.16.

$$q_{rv} = \varepsilon_v \cdot \sigma \cdot (T_v^4 - T_s^4) \quad (1.16)$$

Donde:

q_{rv} : Calor perdido por radiación del vidrio; W/m^2 .

ε_v : Emisividad del vidrio; adimensional.

σ : Constante de Stefan-Boltzman ($5,67 \times 10^{-8}$); $W/m^2 \cdot ^\circ K^4$.

T_v : Temperatura del vidrio; $^\circ K$.

T_s : Temperatura del cielo; $^\circ K$.

Temperatura del cielo

Duffie & Beckman (2013) proponen la ecuación 1.17 para la determinación de la temperatura del cielo.

$$T_s = T_a \cdot \left(0,8 + \frac{T_{dp} - 273}{250} \right)^{0,25} \quad (1.17)$$

Temperatura del punto de rocío

$$T_{dp} = \sqrt[8]{\frac{H_r}{100}} \cdot (110 + T_a) - 100 \quad (1.18)$$

Donde:

T_a : Temperatura ambiente; $^\circ K$.

T_{dp} : Temperatura del punto de rocío; $^\circ K$.

H_r : Humedad relativa del medio ambiente; %.

Calor perdido por convección en el vidrio

El calor perdido por convección en el vidrio se determina mediante la ecuación 1.19

$$q_{cv} = h_{cv} \cdot (T_v - T_a) \quad (1.19)$$

Donde:

q_{cv} : Calor perdido por convección en el vidrio; W/m^2 .

h_{cv} : Coeficiente de transferencia de calor por convección entre el vidrio y el aire ambiente; $W/m^2 \cdot ^\circ K$.

Calor perdido por radiación del agua

Incropera (2000) plantea una ecuación para el cálculo del calor perdido por radiación, en este caso la transferencia de calor se origina entre el agua y la cubierta del destilador

$$q_{rw} = \frac{\sigma}{\frac{1}{\varepsilon_w} + \frac{1}{\varepsilon_v} - 1} \cdot (T_w^4 - T_v^4) \quad (1.20)$$

Donde:

q_{rw} : Calor perdido por radiación del agua; W/m².

ε_w : Emisividad del agua; adimensional.

T_w : Temperatura del agua; °K.

Cálculo del calor perdido por convección natural

Para el cálculo del calor perdido por convección natural se requiere determinar el coeficiente de transferencia de calor por convección.

$$q_{cw} = h_T \cdot (T_w - T_v) \quad (1.21)$$

Donde:

q_{cw} : Calor perdido por convección del agua; W/m².

h_T : Coeficiente total de transferencia de calor por convección del agua; W/m²°K.

Para calcular el coeficiente total de transferencia de calor por convección del agua se necesitan determinar los siguientes parámetros de la ecuación empírica 1.22

$$h_c = 0,88 \cdot \left[T_w - T_v + \frac{P_w - P_{wv}}{268,4 \times 10^3 - P_w} \cdot (T_w + 273) \right]^{\frac{1}{3}} \quad (1.22)$$

Donde:

h_c : Calor perdido por convección natural; W/m²°K.

P_w : Presión de vapor del agua a la temperatura del agua; Pa.

P_{wv} : Presión de vapor del agua a la temperatura del vidrio; Pa.

T_w : Temperatura del agua; °K.

Luego se obtienen las presiones P_w y P_{wv} a 328.15 °K y 308.15 °K, respectivamente (Cengel 2007).

Coefficiente de radiación efectivo:

Para determinar el coeficiente total de transferencia de calor por convección del agua, es necesario calcular mediante la ecuación 1.23 el coeficiente de radiación efectivo

$$h_r = \frac{\varepsilon_a \cdot \sigma \cdot (T_{sc}^4 - T_w^4)}{T_{sv} - T_w} \quad (1.23)$$

Donde:

h_r : Coeficiente de radiación efectivo; W/m² · °K.

ε_a : Emisividad del acero inoxidable; adimensional.

T_{sv} : Temperatura de superficie del vidrio; °K.

Coefficiente total de transferencia de calor por convección del agua

Una vez determinado el calor perdido por convección natural y el coeficiente de radiación efectivo se procede a determinar el coeficiente total de transferencia de calor por convección del agua

$$h_T = h_c + \frac{3}{4} h_r \quad (1.24)$$

Cálculo del calor perdido por evaporación

Partiendo de la ecuación empírica 1.25.

$$q_e = h_e \cdot (P_w - P_v) \quad (1.25)$$

Donde:

q_e : Calor perdido por evaporación; W/m².

h_e : Coeficiente de transferencia de calor evaporativo; W/m² °K.

El coeficiente de transferencia de calor evaporativo se puede relacionar con el coeficiente total de transferencia de calor por convección del agua (h_T) con la siguiente ecuación (Duffie & Beckman, 2013):

$$h_e = 0,013 \cdot h_T \quad (1.26)$$

Cálculo de calor almacenado por la cubierta

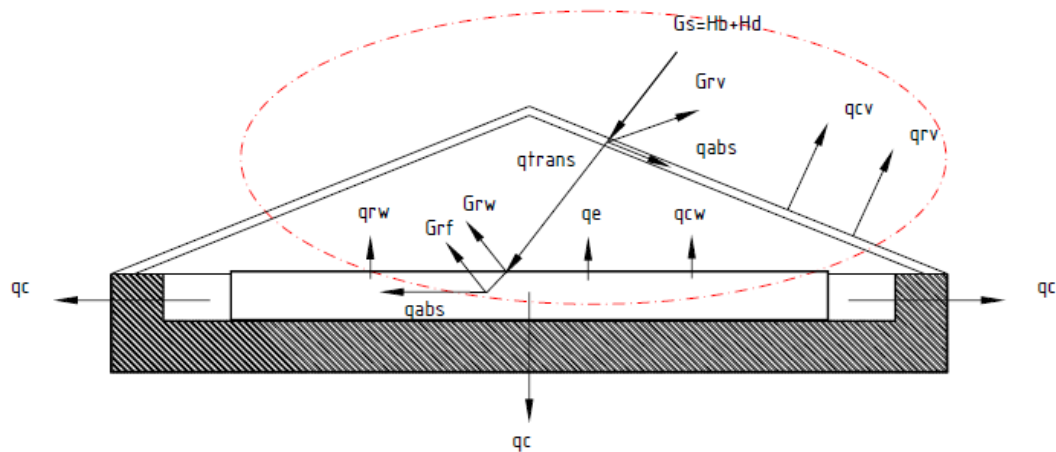


Figura 1.20. Esquema para el balance de energía sobre el vidrio.

De la tabla 1.4 se selecciona el valor de la radiación correspondiente al mes más desfavorable, para el presente caso es abril.

$$H = 4213,49 \frac{Wh}{m^2 \cdot dia}$$

De la siguiente ecuación se obtiene el calor almacenado en la cubierta del vidrio:

$$q'_c = q_{rw} + q_{cw} + q_e + (\alpha_g \cdot H) - (q_{rv} + q_{cv}) \quad (1.27)$$

Donde:

α_g : Coeficiente que incluye la reflexión y la absorción de la radiación solar en el vidrio y es igual a 0,1

q'_c : Calor almacenado por la cubierta; W/m².

q_{rw} : Calor perdido por radiación del agua; W/m².

q_{cw} : Calor perdido por convección del agua; W/m².

q_e : Calor perdido por evaporación; W/m².

H : Irradiación solar promedio terrestre; Wh/m² día.

q_{rv} : Calor perdido por radiación del vidrio; W/m².

q_{cv} : Calor perdido por convección en el vidrio; W/m².

Cálculo del calor absorbido por el agua

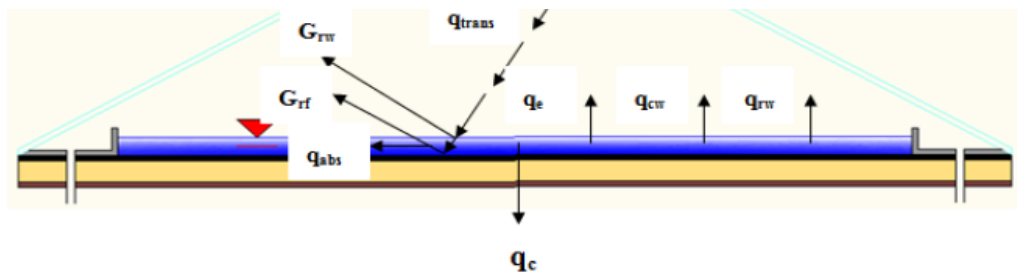


Figura 1.21. Esquema para el balance de energía en el agua.

El balance de energía en el agua en el interior del destilador se muestra en la ecuación 1.28

$$q'_a = H \cdot (1 - \alpha_g) \cdot (1 - \alpha_a) - (q_{rw} + q_{cw} + q_e + q_c) \quad (1.28)$$

Donde:

α_a : Coeficiente que incluye la reflexión y la absorción de la radiación solar por el agua y por el fondo del destilador y es igual a 0,3

Cálculo de calor absorbido por el sistema

El balance de energía general en el sistema relaciona a los balances de energía de las partes en las cuales el intercambio de calor está presente, el vidrio y el agua.

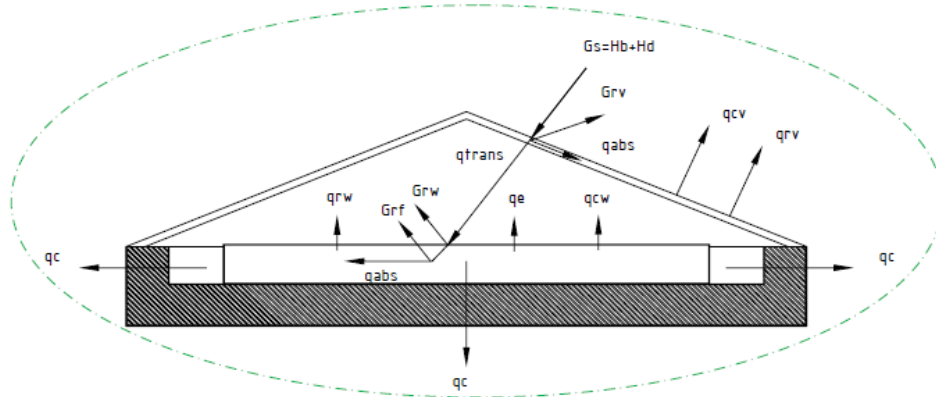


Figura 1.22. Balance global de energía en el destilador.

El calor almacenado por unidad de área, corresponde a la energía que absorbe el destilador, se representa en la siguiente ecuación:

$$q_t = q'_c + q'_a \quad (1.29)$$

Donde:

q_t : Calor absorbido por el sistema; W/m^2 .

q'_a : Calor absorbido por el agua; W/m^2 .

q'_c : Calor almacenado por la cubierta; W/m^2 .

Para determinar la capacidad del calor almacenada por el dispositivo a través de la ecuación 1.30.

$$Q_T = q_t \cdot A \quad (1.30)$$

Donde:

A : Área de captación de la energía solar; m^2 .

Calor necesario para calentar y evaporar Q

Es el calor que la cubierta del vidrio necesita para poder aumentar la temperatura y poder incrementar la temperatura en el equipo

$$m_v = \rho_v \cdot A_v \cdot E_v \quad (1.31)$$

Donde:

m_v : Masa del vidrio; kg.

ρ_v : Densidad del vidrio; kg/m³.

A_v : Área del vidrio; m².

E_v : Espesor del vidrio; m.

Calor necesario para calentar el vidrio:

$$Q_v = m_v \cdot C_{pv} \cdot (T_v - T_a) \quad (1.32)$$

Donde:

Q_v : Calor necesario para calentar el vidrio; Wh.

C_{pv} : Capacidad calorífica del vidrio; J/kg·°K

Calor necesario para calentar el agua

Para la determinación del calor necesario para calentar el agua se hace uso de la ecuación 1.33.

$$Q_{ca} = m_s \cdot C_p \cdot (T_w - T_a) \quad (1.33)$$

Calor necesario para evaporar x porcentaje de agua

Para determinar el calor necesario para evaporar un porcentaje del total de la masa de agua se utiliza la siguiente ecuación.

$$Q_{ev} = x' \cdot m_s \cdot \lambda \quad (1.34)$$

Donde:

Q_{ev} : Calor necesario para evaporar el agua; Wh.

x' : Fracción de agua a evaporar (su valor es 1); adimensional.

λ : Calor latente de evaporación del agua; kJ/kg.

La cantidad necesaria de calor para calentar el vidrio, el agua de la bandeja y evaporar el 100 % de la misma viene dada por la ecuación 1.35.

$$Q_N = Q_v + Q_{ca} + Q_{ev} \quad (1.35)$$

Donde:

Q_N : Calor necesario total; Wh.

Q_{ca} : Calor necesario para calentar el agua; Wh.

Eficiencia del destilador solar térmico

Esteban *et al.* (2002), proponen la ecuación 1.36 para la determinación de la eficiencia térmica de un destilador solar.

$$\eta_c = \frac{\Delta h \cdot w}{H} \cdot 100 \quad (1.36)$$

Donde:

η_c : Eficiencia del destilador; %

Δh : Cambio de entalpía desde agua fría a vapor; MJ/kg.

w : Masa de agua destilada por unidad de superficie; kg/m².

H : Radiación total sobre la superficie colectora; MJ/m².

1.8. Conclusiones del capítulo

- ✓ Quedaron establecidos los fundamentos básicos relacionados con las fuentes de energía y la energía solar. Los mismos incluyen la distribución espectral y los tipos de radiación, los instrumentos de medición y los fundamentos básicos de transferencia de calor para la utilización de la energía solar. Los aspectos anteriores constituyen el marco teórico necesario para el análisis del proceso de destilación basado en la implementación de la energía solar térmica.

- ✓ Existen diferentes modelos de destiladores solares. Sin embargo, el destilador de dos vertientes tiene a ambos lados vidrios para maximizar la acumulación de las gotas en las dos superficies, además este equipo no presenta problema con relación a la posición del sol. Estas facilidades posibilitan que la instalación pueda ser empleada todo el día y que en ella se pueda obtener mayores niveles de eficiencia en relación con los restantes tipos de destiladores.

CAPÍTULO II

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. Introducción

La metodología es una parte importante en el presente trabajo ya que contiene el fundamento de cómo se realizó la investigación. Además, se define cuáles fueron las fuentes de información y se puntualiza la muestra a investigar, las cuales aportaron la información necesaria para continuar con la investigación. El **objetivo** del presente capítulo es establecer la metodología a seguir durante el desarrollo del presente trabajo investigativo.

2.2. Diseño de la investigación

En la presente investigación se van a realizar diferentes actividades como seleccionar la modalidad de la investigación, el tipo de investigación, los métodos, las técnicas e instrumentos. De igual manera la búsqueda de información en libros, artículos y revistas científicas, que serán el respaldo en el proceso investigativo, ya que de los documentos antes mencionados se utilizarán las ecuaciones y leyes correspondientes que serán parte fundamental en la investigación

2.2.1. Modalidad de la investigación

La modalidad de la investigación en el presente proyecto es la bibliográfica – documental ya que el propósito de la investigación es el implementar un sistema de generación de agua destilada que utilice energía solar térmica y para esto se van a utilizar diferentes fuentes bibliográficas, documentos sobre destiladores que utilicen energía eléctrica y/o energía solar, de igual manera se utiliza la investigación de campo, puesto que se va a diseñar y construir un destilador solar

para agua, el cual se podrá utilizar diariamente y se tendrá acceso directo a los resultados de producción de agua destilada, de esta manera se procederá a la comparación de la producción de agua destilada en ambos equipos.

Para la investigación se utilizarán fuentes principales como es el caso de documentos y fuentes secundarias en el caso de libros, revistas, periódicos y otras publicaciones. Además, se utilizará la metodología experimental ya que mediante un diagrama causa – efecto se relacionan las variables dependientes e independientes que se presentan en el trabajo de investigación.

2.2.2. Tipo de investigación

Morales (2014), señala que la investigación explicativa “Es aquella que se efectúa sobre un tema u objeto desconocido o poco estudiado”.

Se utilizará la investigación explicativa, la misma se encarga de buscar el porqué de los hechos, mediante el establecimiento de relaciones causa – efecto, en este sentido los estudios explicativos pueden ocuparse tanto de la determinación de las causas, como de los efectos, mediante la prueba de hipótesis. Lo anterior se realizará mediante la utilización de diferentes ecuaciones relacionadas directamente con la energía solar. La investigación explicativa intenta dar cuenta de un aspecto de la realidad, explicando su significatividad dentro de una teoría de referencia, a la luz de leyes que explican los fenómenos que se producen en determinadas condiciones.

2.2.3. Métodos

El Método Científico es el procedimiento planteado que se utiliza en la investigación para descubrir las formas de existencia de los procesos objetivos, para desentrañar sus conexiones internas y externas, para generalizar y profundizar los conocimientos adquiridos, para llegar a demostrarlos con rigor racional y para comprobar en el experimento y con las técnicas de su aplicación.

En esta investigación se utiliza el método científico y se explica la eficiencia energética en el proceso de destilación de agua utilizando energía solar. Para esto

se necesita enunciar leyes que expliquen dichos fenómenos, una de las leyes que se utilizaron es la primera ley de la termodinámica conocida como principio de conservación de la energía para la termodinámica, el mismo establece que “si se realiza trabajo sobre un sistema o bien éste intercambia calor con otro, la energía interna del sistema cambiará” (Cengel & Boles, 2007).

El método científico se refiere a la serie de etapas que hay que recorrer para obtener un conocimiento válido desde un punto de vista científico, utilizando para esto instrumentos que resulten fiables. A continuación se indica el procedimiento que utiliza el método científico:



Figura 2.1. Método científico

2.2.4. Técnicas e instrumentos

Hernández (2007), señala que:

Las hipótesis deben estar relacionadas con técnicas disponibles para probarlas. Este requisito está estrechamente relacionado con el anterior y se refiere a que al formular una hipótesis, se tiene que analizar si existen técnicas o herramientas de la investigación (instrumentos para recolectar datos, diseños, análisis estadísticos o cualitativos, entre otros), para poder verificarla, si es posible desarrollarlas y si se encuentran a nuestro alcance. Se puede dar el caso de que existan dichas técnicas pero que por ciertas razones no se tenga acceso a ellas.

En la tabla que se muestra a continuación se detallan las técnicas e instrumentos a utilizar en la presente investigación.

Tabla 2.1. Técnicas e instrumentos.

TÉCNICA	INSTRUMENTO
Observación	Mapas solares Diario de campo Instalaciones meteorológicas
Investigación bibliográfica	Libros especializados en la temática de energía solar Benavides, E. (2006). <i>Diseño y construcción de una cocina solar experimental de tipo cilíndrico parabólico con aplicación al sector rural marginal</i> . Quito. Cengel, Y., & Boles, M. (2007). <i>Termodinámica</i> . México D.F.: Mc Graw Hill. Duffie, J., & Beckman, W. (2013). <i>Solar Engineering of Thermal Processes</i> .

	Montgomery, R. (1994). <i>Energía Solar selección del equipo, instalación y aprovechamiento</i> . México, D.F.: LIMUSA.
Medición – Software	AutoCAD Mechanical Inventor Solid Works Voltímetro Medidor de temperatura Piranómetro, anemómetro
Entrevista	Guía de entrevista (a aplicar a Directivos del Centro de Investigación)
Encuesta	Cuestionario (a aplicar a Personal técnico, Auxiliar y Estudiantes) Ver modelo en el Anexo 2

En el proyecto se requiere utilizar varias técnicas e instrumentos con el fin de lograr la construcción y el diagnóstico energético de un destilador solar para agua.

Se necesitan los mapas solares los cuales indican la radiación diaria producida en determinado lugar del país, software especializados como AutoCAD Mechanical, Inventor, Solid Works, entre otros, para realizar los planos de la propuesta. Para la determinación de la temperatura se utilizarán pistolas de medición, todos los instrumentos antes mencionados serán de mucha ayuda para realizar la investigación.

Observación: La validación de los instrumentos se expone en el Anexo 3.

2.2.5. Población y muestra

Los Laboratorios de Ciencias de la Vida, cuentan con varios departamentos su talento humano se detalla en la tabla que se muestra a continuación:

Tabla 2.2. Población de los Laboratorios de Ciencias de la Vida

Departamentos	Población
Directivos de los Laboratorios de Ciencias de la Vida	2
Personal técnico de laboratorio	10
Personal auxiliar de laboratorio	5
Estudiantes	200
Total	217

La población total es de 217 personas entre directivos, personal de laboratorio y estudiantes, todos ellos serán beneficiados con la implementación del destilador solar para agua. Para determinar el tamaño de la muestra se utilizó la siguiente ecuación:

$$n = \frac{N}{E^2(N-1)+1} \quad (3.1)$$

Donde:

n = Tamaño de la muestra

N = Población o universo

E = Error admisible (0,05)

Reemplazando los valores establecidos en la tabla 2.2, se tiene como resultado:

$$n = 141$$

Lo que representa que el tamaño de la muestra a investigar corresponde a 141 personas que pertenecen de una u otra manera a los Laboratorios de Ciencias de la Vida

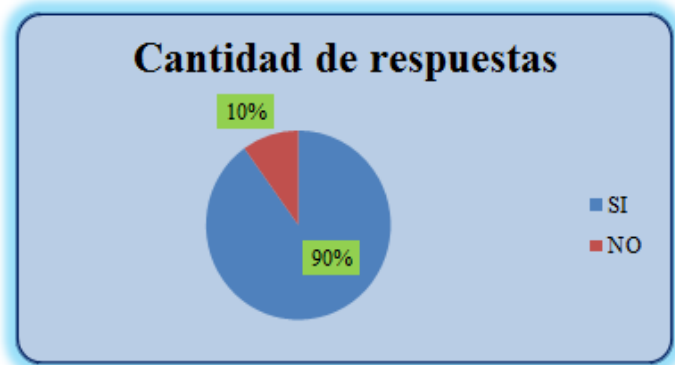
2.2.6. Resultados de la encuesta

Se realizaron las encuestas según la muestra a investigar la cual corresponde a 141 personas que utilizan los Laboratorios de Ciencias de la Vida, los resultados de las encuestas fueron los siguientes:

Pregunta 1.

¿Considera usted importante reducir los consumos de agua y electricidad en el proceso de generación de agua destilada?

Opción	Cantidad de respuestas
SI	127
NO	14



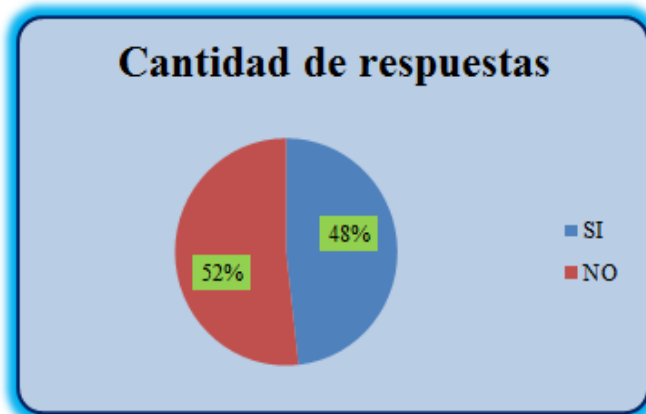
Consideraciones

Alrededor del 90 % de los encuestados consideran que es importante reducir el consumo de agua y electricidad en el proceso de generación de agua destilada. Esta opción es considerada debido a que se emplean horas para obtener esta importante sustancia. Durante el proceso actual de obtención se desperdicia agua que no es reutilizada y la energía eléctrica que requieren las máquinas para su funcionamiento. Además, se reducen los costos por concepto de consumo de energía eléctrica. Sin embargo, el 10 % no considera importante el ahorro de los portadores energéticos antes mencionados, lo anterior puede ser atribuido a la falta de visión y conocimiento de los encuestados, en relación con las bondades que ofrece la implementación de un destilador solar térmico.

Pregunta 2.

¿La producción de agua destilada que actualmente se encuentra disponible en los laboratorios, satisface las necesidades de los estudiantes al momento de realizar una práctica?

Opción	Cantidad de respuestas
SI	68
NO	73



Consideraciones

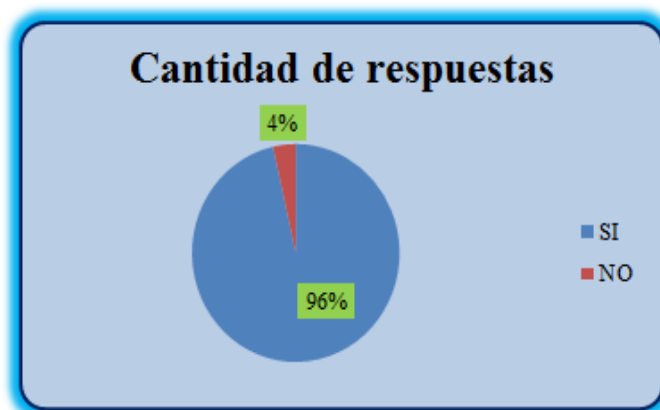
La producción de agua destilada que actualmente se encuentra disponible en los laboratorios, por una parte satisface las necesidades de los estudiantes a la hora de realizar prácticas, así lo confirma el 48 % de los encuestados. Lo anterior se debe, entre otras razones, a que en ciertas semanas del año se realizan pocas prácticas diarias.

No obstante, el 52 % considera que la disponibilidad de agua no es suficiente porque en la mayoría de los casos solo satisface las necesidades de las primeras prácticas que se realizan en los diferentes días y también existe poca disponibilidad cuando se planifican varias prácticas en un solo día.

Pregunta 3.

¿Cree usted que sería oportuno que los destiladores que actualmente existen en los laboratorios sean reemplazados por otros que utilicen una fuente renovable de energía?

Opción	Cantidad de respuestas
SI	136
NO	5



Consideraciones

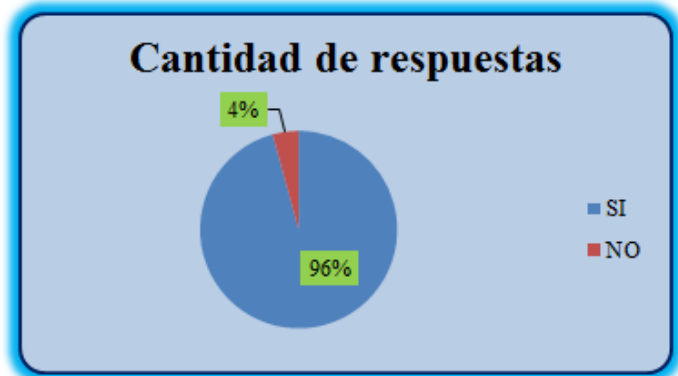
Es oportuno que los destiladores que actualmente están disponibles en los laboratorios sean reemplazados por otros que utilicen una fuente renovable de energía, específicamente la energía solar térmica. En este sentido aproximadamente el 96 % de los encuestados está de acuerdo con este cambio, que consiste en reemplazar la energía eléctrica que emplean estas máquinas por una nueva energía, basada en fuentes renovables, que permita obtener rendimientos energéticos adecuados durante la producción de agua destilada para los laboratorios.

La implementación de esta energía limpia demandará una inversión inicial debido a la construcción del destilador solar, pero la misma se recupera en un tiempo relativamente breve y los beneficios a largo plazo serán positivos. Las restantes personas consultadas, el 4 %, consideran inoportuno el cambio debido a la demora asociada a la producción de agua destilada a partir de la radiación solar.

Pregunta 4.

¿Considera usted que la implementación de máquinas que utilicen fuentes renovables de energía, impulsen al desarrollo de nuevas investigaciones sobre el tema?

Opción	Cantidad de respuestas
SI	135
NO	6



Consideraciones

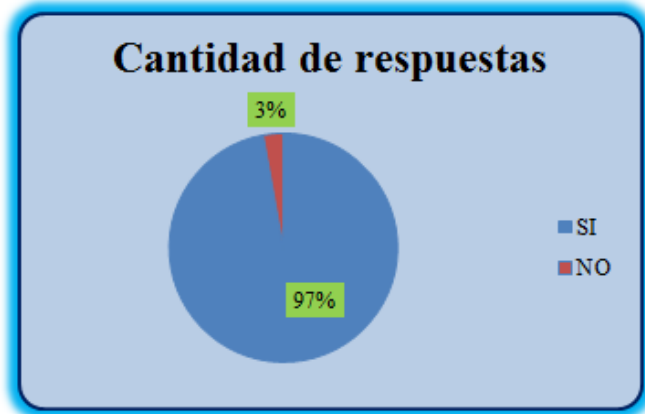
El 96 % de los consultados considera que la implementación de máquinas que utilicen fuentes renovables de energías impulsará al desarrollo de nuevas investigaciones sobre este tema y lo asocian a las siguientes razones: se despertaría el interés en las personas aportando con nuevas ideas e investigaciones que ayuden al cuidado ambiental, y se contribuye a incrementar los conocimientos en relación con el impacto positivo que tienen las fuentes renovables.

Por su parte, el otro 4 % de los encuestados considera que no existe suficiente cultura científica en relación con esta temática y que por tanto la implementación de estos tipos de máquinas no necesariamente propiciará la realización de investigaciones en este campo.

Pregunta 5.

¿Cree usted que es importante que la Universidad Politécnica Salesiana, implemente nuevas máquinas las cuales ayuden a continuar con el cambio de la matriz energética en el país?

Opción	Cantidad de respuestas
SI	137
NO	4



Consideraciones

Casi el total de las personas encuestadas (el 97 %) creen que es importante que la Universidad Politécnica Salesiana implemente nuevas máquinas que ayuden a continuar con el cambio de la matriz energética en el país. Por cuanto, se crea un precedente favorable que servirá de ejemplo a otras universidades de la región y el país en materia de buenas prácticas relacionadas con la utilización de fuentes renovables de energía para el apoyo de las prácticas de laboratorios y otras actividades docentes afines a las diferentes especialidades.

También, es importante porque posibilita que los estudiantes no limiten sus capacidades y sean más innovadores, lo que propiciará un cambio en la manera de pensar de las nuevas generaciones y con ello se beneficiará el país en los años futuros. El restante 3 % considera que la implementación, en las universidades del país, de nuevas máquinas que empleen fuentes renovables de energía no incidirá significativamente en el cambio de la matriz energética.

Pregunta 6.

¿Considera importante la réplica de investigaciones que tengan relación con el uso de fuentes renovables de energía en otros campus de la Universidad Politécnica Salesiana y en otras universidades del país ?

Opción	Cantidad de respuestas
SI	134
NO	7



Consideraciones

La mayoría de los encuestados, alrededor del 95 %, consideran importante la réplica de investigaciones que tengan relación con el uso de fuentes renovables de energía en otros campus de la Universidad Politécnica Salesiana y en otras Universidades del Ecuador, estos afirman que es necesario continuar con las investigaciones, ya que estas resultan de vital importancia como base para obtener diversos proyectos para el desarrollo del país.

Las otras personas consultas, aproximadamente el 5 %, no creen importante la generalización de estos tipos de investigaciones en otras universidades y consideran que solo deben ser realizadas en facultades especializadas en la temática.

- ✓ Inmediatamente después de verificar las encuestas se analiza cada una de las preguntas y posteriores respuestas realizadas a los estudiantes de la Carrera de Biotecnología de los Recursos Naturales, de las cuales se considera que la pregunta fundamental en la investigación es la número 1 la cual indica: “¿Considera usted importante reducir los consumos de agua y electricidad en el proceso de generación de agua destilada?”. La pregunta realizada impulsa la investigación ya que lo que se busca es el diagnóstico del consumo de energía eléctrica en el proceso de destilación de agua, la máquina construida ayudará

en la generación de agua destilada existente en los laboratorios y de igual manera reducirá los consumos de agua y electricidad, los cuales se indican en el Capítulo III.

2.3. Conclusiones del capítulo

- ✓ Se estableció la metodología a seguir para el desarrollo de la investigación. La misma agrupa de manera armónica e integrada los siguientes aspectos: diseño, modalidad y tipo de investigación, los métodos, técnicas e instrumentos a emplear, la operacionalización de las variables, y la población y muestra a tomar en cuenta. Los aspectos antes relacionados constituyen los criterios más importantes a considerar durante la planificación de la investigación.

- ✓ Las encuestas realizadas al personal técnico, auxiliar y estudiantes de los Laboratorios de Ciencias de la Vida reafirmaron que la mayoría de los beneficiarios están conforme y agradecidos de que la Universidad Politécnica Salesiana cuente con un destilador solar térmico puesto que no se utilizará electricidad.

CAPÍTULO III

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

3.1. Introducción

Los destiladores utilizados actualmente en los Laboratorios de Ciencias de la Vida de la Universidad Politécnica Salesiana, generan agua destilada pero los recursos consumidos para el mencionado proceso tienen un costo el cual se reduce al implementar un destilador solar térmico. El **objetivo** del presente capítulo es analizar e interpretar los resultados obtenidos al utilizar destiladores eléctricos de modelo GFL 2004 para la generación de agua destilada.

3.2. Destiladores GFL 2004 actualmente empleados

En los Laboratorios de Ciencias de la Vida de la Universidad Politécnica Salesiana existen destiladores los cuales consumen energía eléctrica y además agua para el enfriamiento del equipo y la generación de agua destilada. Los destiladores eléctricos son construidos con acero inoxidable. Todos sus interiores son realizados del material antes mencionado y en su exterior cuentan con un recubrimiento de pintura epóxica (provoca alta durabilidad y resistencia). Estos equipos deben ser conectados directamente a la red de agua.

Sus dimensiones son 330 x 460 x 620 mm, necesitan 48 l/h para la refrigeración del equipo y generan 4 l/h de agua destilada, se deben conectar con línea a tierra y luego de haber destilado la cantidad necesaria de agua pueden quedar restos de H₂O, los cuales deben ser eliminados. La limpieza se debe realizar con el equipo frío para evitar cualquier tipo de accidente. Se debe efectuar una limpieza completa al destilador luego de ser utilizado porque dependiendo de la dureza del agua se puede originar sarro, además de esto, se debe practicar un mantenimiento semestral por el Carbonato de Calcio (CaCO₃) acumulado en el interior del destilador.

En la figura 3.1 se muestran las incrustaciones provocadas por el CaCO_3 en los destiladores GFL 2004.

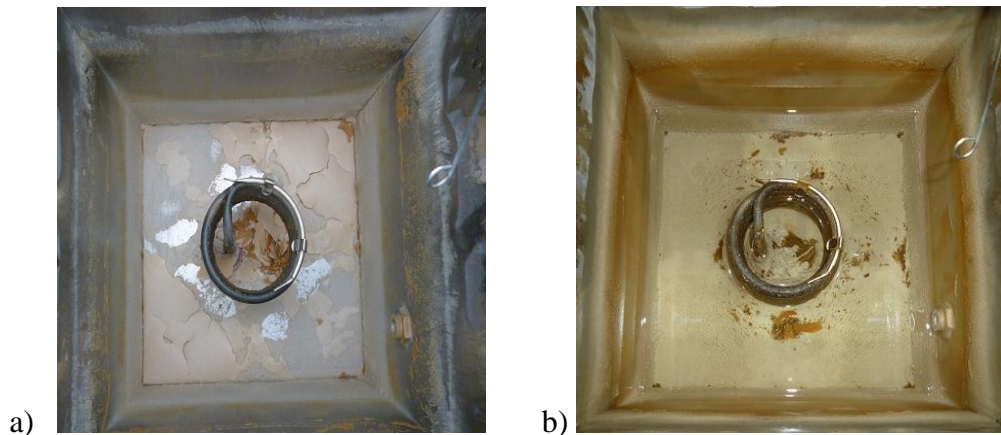


Figura 3.1. Incrustaciones en el destilador provocadas por las impurezas del agua. a) Luego de 3 meses de uso b) Luego de 5 meses de uso

3.3. Principio de funcionamiento de los destiladores eléctricos

Para obtener agua destilada en los destiladores GFL 2004, su ilustración se muestra en la figura 3.2, en primer lugar se debe realizar la conexión de las mangueras las cuales se usan para la conexión de agua destilada, el drenaje y el ingreso de agua para el enfriamiento del equipo, tomando en consideración que el extremo de la manguera que tiene conexión para agua destilada se debe dirigir hacia un recipiente para el almacenamiento de la misma. Luego de realizadas las conexiones se enciende el equipo y las resistencias (conectadas a un termostato para la protección en caso de un sobrecalentamiento) comienzan a energizarse para originar la evaporización del agua de red la cual será condensada para producir aproximadamente 4 l/h de agua destilada.

Al momento de encender el equipo, se debe tomar en cuenta que el agua de enfriamiento debe fluir correctamente por la manguera sin ningún tipo de obstrucción y además debe tener un ángulo de caída para evitar que el agua utilizada retorne al equipo, luego de 2 minutos de que la máquina fue encendida comienzan a aparecer las primeras gotas de agua destilada, pasados los 5 minutos se tiene un

goteo constante de agua destilada producida en el equipo hasta alcanzar los 4 litros en el transcurso de 1 hora.



Figura 3.2. Destilador GFL 2004 empleado en los laboratorios de Ciencias de la vida de la Universidad Politécnica Salesiana.

Características técnicas de los destiladores GFL 2004

En el manual de los destiladores GFL 2004 se exponen de manera detallada las características técnicas de estos equipos (Anexo 5). En esta sección solo se relacionan los aspectos más relevantes.

Flujo de agua destilada	4 l/h
Potencia	3 kW
Consumo de agua	48 l/h
Tanque de almacenamiento	8 l
Peso	34 kg
Material Interior	Acero inoxidable

3.4. Parámetros de funcionamiento de los destiladores eléctricos

El consumo de agua de los destiladores GFL 2004 es de 48 l/h y de ellos se obtienen 4 l/h de agua destilada. Tomando en cuenta estos parámetros y el tiempo de operación de los equipos se determina el consumo de agua y la producción de agua destilada. Los resultados se exponen en la tabla 3.1.

Tabla 3.1. Parámetros de funcionamiento de los destiladores.

Meses del año 2014	Tiempo de trabajo (h)	Consumo de agua de enfriamiento (litros)	Producción de agua destilada (litros)
Enero	58	2 784	232
Febrero	60	2 880	240
Marzo	56	2 688	224
Abril	45	2 160	180
Mayo	46	2 208	184
Junio	58	2 784	232
Julio	60	2 880	240
Agosto	40	1 920	160
Septiembre	45	2 160	180
Octubre	50	2 400	200
Noviembre	59	2 832	236
Diciembre	58	2 784	232
Promedio	52,92	2 540	211,66
Total	635	30 480	2 539,98

Como se aprecia en la tabla anterior, los destiladores mensualmente incurren en un elevado consumo de agua, el cual asciende a 2 540 litros como promedio y con ello solo producen 211,66 litros, aproximadamente.

La producción de agua destilada depende de la cantidad de prácticas de laboratorio que se vayan a realizar por los estudiantes de la Carrera de Biotecnología de los

Recursos Naturales, los ayudantes de cátedra llevan un control de las horas de trabajo del destilador para agua, en la figura 3.3 de puede determinar que uno de los meses donde la demanda de agua destilada aumenta es Julio.



Figura 3.3. Horas de trabajo del destilador

Al analizar estos comportamientos se infiere que para obtener un litro de agua destilada se emplean 12 litros de agua. Esta situación puede agudizarse si se incrementa la cantidad de prácticas de laboratorio, el cual es bastante limitado en las condiciones actuales. Es por ello que la presente investigación está encaminada a la reducción del tiempo de operación de los destiladores eléctricos, mediante la incorporación de destiladores solares que apoyen en la producción de agua destilada. De forma gráfica el consumo de agua en los laboratorios se observa en la figura 3.4.



Figura 3.4. Consumo de agua en m³ en los meses del año

3.5. Consumos de electricidad en los destiladores eléctricos

De acuerdo con el régimen de operación al que están sometidos los destiladores eléctricos se pueden determinar los consumos específicos y totales de electricidad en que se incurren con el empleo de estos equipos. Según el manual de instrucciones los mismos consumen una potencia 3 kW para producir 4 litros de agua destilada. En la tabla 3.2 se relacionan los valores obtenidos.

Tabla 3.2. Consumos específicos y totales de electricidad en los destiladores.

Meses del año 2014	Producción de agua destilada (litros)	Consumo específico de electricidad (kWh/litros)	Consumo total de electricidad (kWh)
Enero	232	0,75	174
Febrero	240	0,75	180
Marzo	224	0,75	168
Abril	180	0,75	135
Mayo	184	0,75	138
Junio	232	0,75	174
Julio	240	0,75	180
Agosto	160	0,75	120
Septiembre	180	0,75	135
Octubre	200	0,75	150
Noviembre	236	0,75	177
Diciembre	232	0,75	174
Promedio	211,66	0,75	158,75
Total	2 540	-	1 905

La tabla 3.2 refleja que el consumo específico de electricidad asciende a 0,75 kWh/l. Lo anterior provoca consumos mensuales que oscilan entre los 120 y 180 kWh, siendo 158,75 kWh el valor promedio para un mes. Se destacan en estos resultados los meses febrero, julio y noviembre por ser los meses en los cuales se realizan más prácticas de laboratorio con los estudiantes de Ingeniería en Biotecnología de los

Recursos Naturales, el consumo total de electricidad es de 1 905 kWh, lo que provoca un costo de USD 192,4, gráficamente el consumo de electricidad se representa en la figura 3.5.

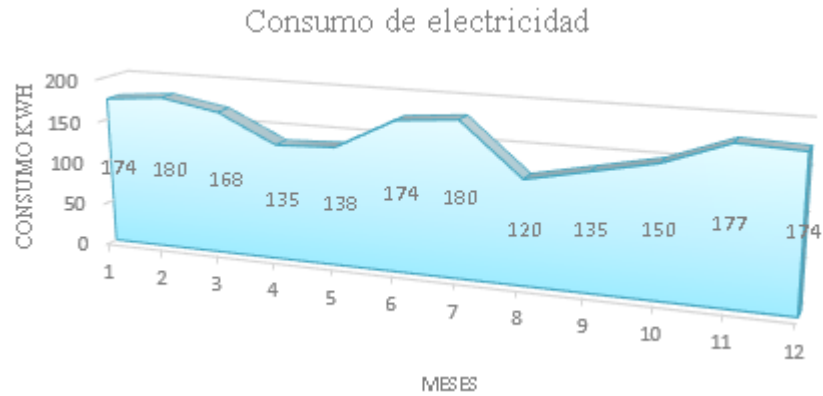


Figura 3.5. Consumo de electricidad

3.6. Análisis económico en el proceso de generación de agua destilada

3.6.1. Consumo de agua

De acuerdo al consumo de cada establecimiento se realiza el cobro de la planilla de agua potable. Según datos de la Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento los costos son los siguientes:

Tabla 3.3. Tarifa aplicada por la Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento.

AGUA POTABLE	
Rango de consumo (m³)	Costo (USD/m³)
1 – 15	0,309
16 – 30	0,458
31 – 60	0,649
61 – 100	0,834
101 – 300	0,927
301 – 2 500	1,000
2501 – 5 000	1,426
5001 o más	1,823

Fuente: Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento, 2014.

Al considerar las tarifas aplicadas por la Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento mostradas en la tabla 3.3 y los consumos de agua incurridos en los destiladores eléctricos expuestos en la tabla 3.1 se obtienen, para los equipos analizados, los resultados siguientes.

Tabla 3.4. Gasto económico por concepto de consumo de agua.

Meses del año 2014	Consumo de agua de los destiladores (m³)	Tarifa aplicada a la Universidad Politécnica Salesiana (USD/m³)	Costo económico por concepto de consumo de agua (USD)
Enero	2,784	1	2,784
Febrero	2,88	1	2,88
Marzo	2,688	1	2,688
Abril	2,16	1	2,16
Mayo	2,208	1	2,208
Junio	2,784	1	2,784
Julio	2,88	1	2,88
Agosto	1,92	1	1,92
Septiembre	2,16	1	2,16
Octubre	2,4	1	2,4
Noviembre	2,832	1	2,832
Diciembre	2,784	1	2,784
Promedio	2,54	1	2,54
Total	30,48	1	30,48

Observación: Se calcula con la tarifa de 1 USD/m³ (Anexo 6) que corresponde a un gasto entre los 301 – 2500 m³, porque la facturación llega a la Universidad Politécnica Salesiana por su gasto general de agua.

Por tanto, los destiladores no pueden ser excluidos de la misma, independientemente de que gasten un valor que corresponde a otras tarifas.

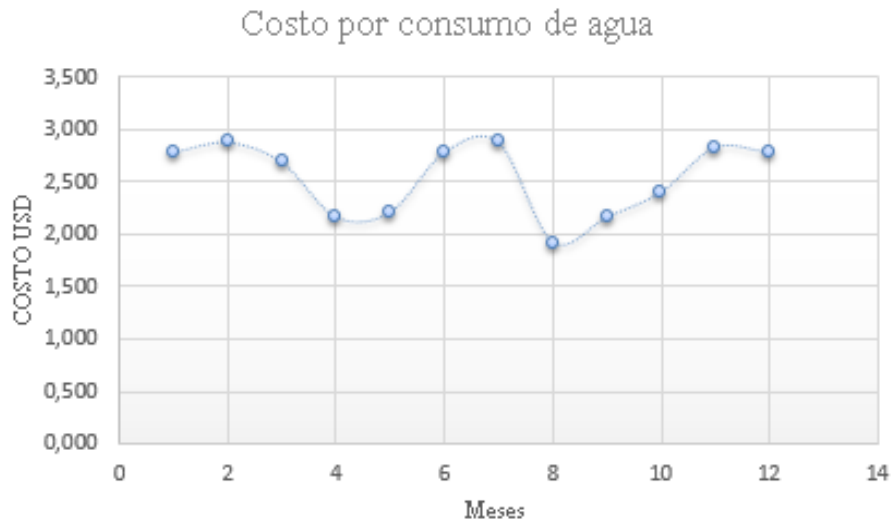


Figura 3.6. Costo por consumo de agua

Como se puede apreciar en la figura 3.6 el orden económico el consumo de agua no representa un gasto significativo para la Universidad Politécnica Salesiana. Sin embargo, lo anterior no le resta mérito alguno a la presente investigación, porque de lo que se trata es de reducir la dependencia de las fuentes convencionales de energía implicadas en la destilación de agua.

3.6.2. Consumo de electricidad

De modo similar al cobro del agua se realiza la facturación eléctrica, según datos de la Empresa Eléctrica Quito los costos son los siguientes:

Tabla 3.5. Tarifas aplicadas por la Empresa Eléctrica Quito.

Tarifa Residencial	
Rango de consumo (kWh)	Cargos Tarifarios (USD)
0 – 50	0,0784
51 – 100	0,0814
101 – 150	0,0834
151 – 200	0,0904
201 – 250	0,0974
501 – 700	0,1285
701 – 1000	0,1450
1001 – 1500	0,1700
1501 – 2500	0,2752
2501 – 3500	0,4360
3501 – superior	0,6812
Tarifa Comercial	
Rango de consumo (kWh)	Cargos Tarifarios (USD)
0 – 300	0,081
301 – superior	0,101

Fuente: Empresa Eléctrica Quito, 2014.

Se calcula con la tarifa de 0,101 USD/kWh (Anexo 7) que corresponde a un gasto igual o superior a los 301 kWh (según la tarifa comercial) porque la facturación llega a la Universidad Politécnica Salesiana por su gasto general de electricidad.

Por tanto, al igual que ocurre con el gasto de agua, los destiladores no pueden ser excluidos de la misma, independientemente de que gasten un valor que corresponde a otras tarifas.

Tabla 3.6. Gasto económico por concepto de consumo de electricidad.

Meses del año 2014	Consumo total de electricidad (kWh)	Tarifa aplicada a la Universidad Politécnica Salesiana (USD/kWh)	Costo económico por concepto de consumo de electricidad (USD)
Enero	174	0,101	17,574
Febrero	180	0,101	18,180
Marzo	168	0,101	16,968
Abril	135	0,101	13,635
Mayo	138	0,101	13,938
Junio	174	0,101	17,574
Julio	180	0,101	18,180
Agosto	120	0,101	12,120
Septiembre	135	0,101	13,635
Octubre	150	0,101	15,150
Noviembre	177	0,101	17,877
Diciembre	174	0,101	17,574
Promedio	158,75	0,101	16,034
Total	1 905	0,101	192,405

Al valorar los resultados obtenidos resulta evidente la importancia que tiene la reducción de los consumos de electricidad asociados a los destiladores de agua, porque generar esta cantidad de electricidad siempre implica una afectación irreversible al medio ambiente, debido a las fuentes no renovables de energía empleadas en el proceso.

Febrero, julio y noviembre son los meses de mayor consumo de electricidad, en promedio el consumo asciende a 158,75 kWh, y un total de 1905 kWh, el consumo de cada mes de forma gráfica se observa en la figura 3.7.

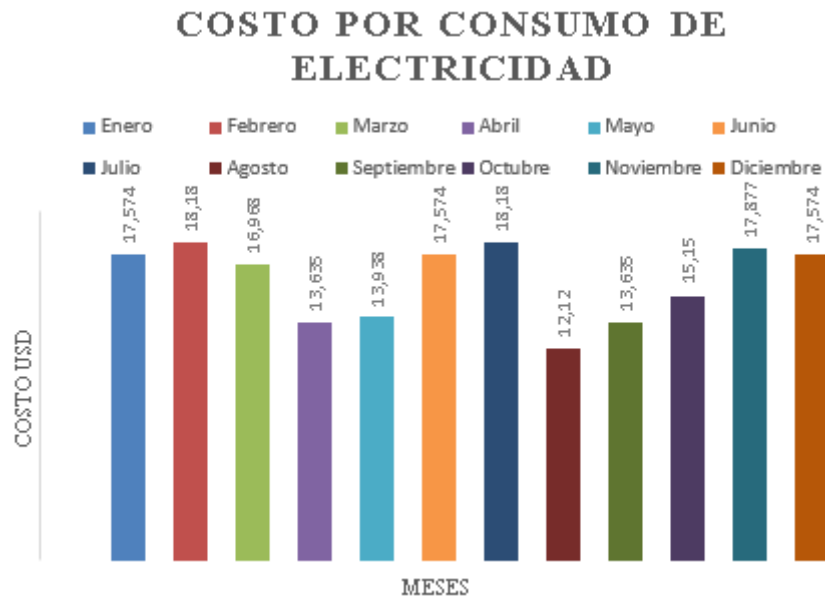


Figura 3.7. Costo por consumo de electricidad

3.6.3. Gasto por concepto de mantenimiento

Los destiladores GFL 2004 son sometidos a reiteradas intervenciones de mantenimiento debido a las incrustaciones de Carbonato de Calcio (CaCO_3) provocadas por las impurezas del agua con la que operan estos equipos. Entre las principales acciones de mantenimiento que se le realizan se tienen:

- ✓ Mantenimiento del sistema eléctrico. Revisión y limpieza con ácido (provisto por el cliente) de las incrustaciones provocadas por la dureza del agua en los componentes del sistema de destilación.
- ✓ Pruebas de funcionamiento antes y después del mantenimiento.

Por las acciones antes mencionadas, por lo general, la Universidad Politécnica Salesiana tiene que erogar la cantidad de 156,80 USD tres veces al año, aproximadamente, lo cual importa un total de 470,4 USD. Se debe destacar además, que si algún equipo requiere trabajo de reparación, se cotizará y facturará por

separado, previa la autorización del cliente (ver Anexo 8). Adicionalmente, se verificó que en los destiladores se incurren en gastos por concepto de cambios de filtros, los cuales se producen con una frecuencia de 2 meses. Como se aprecia en la figura 3.8 son tres filtros con valor unitario de 40 USD y, por tanto, la Universidad Politécnica Salesiana debe cancelar un monto anual de 720 USD.



Figura 3.8. Filtros empleados en el Destilador GFL 2004.

A continuación se muestra un resumen de los resultados obtenidos al analizar el destilador para agua eléctrico de modelo GFL 2004.

Tabla 3.7. Resumen consumo del destilador GFL 2004

TABLA DE RESUMEN CONSUMO DEL DESTILADOR GFL 2004									
MES	HORAS DE TRABAJO	CONSUMO TOTAL DE AGUA (m ³)	CONSUMO TOTAL DE AGUA (l)	PRODUCCIÓN DE AGUA DESTILADA (l)	CONSUMO TOTAL DE ELECTRICIDAD (kWh)	TARIFA AGUA (USD)	COSTO POR CONSUMO DE AGUA (USD)	TARIFA ELECTRICIDAD (USD)	COSTO POR CONSUMO DE ELECTRICIDAD (USD)
Enero	58	2,784	2784	232	174	1	2,784	0,101	17,574
Febrero	60	2,88	2880	240	180	1	2,880	0,101	18,18
Marzo	56	2,688	2688	224	168	1	2,688	0,101	16,968
Abril	45	2,16	2160	180	135	1	2,160	0,101	13,635
Mayo	46	2,208	2208	184	138	1	2,208	0,101	13,938
Junio	58	2,784	2784	232	174	1	2,784	0,101	17,574
Julio	60	2,88	2880	240	180	1	2,880	0,101	18,18
Agosto	40	1,92	1920	160	120	1	1,920	0,101	12,12
Septiembre	45	2,16	2160	180	135	1	2,160	0,101	13,635
Octubre	50	2,4	2400	200	150	1	2,400	0,101	15,15
Noviembre	59	2,832	2832	236	177	1	2,832	0,101	17,877
Diciembre	58	2,784	2784	232	174	1	2,784	0,101	17,574
PROMEDIO	52,91666667	2,54	2540	211,6666667	158,75	1	2,540	0,101	16,03375
SUMA TOTAL	635	30,48	30480	2540	1905	1	30,480	0,101	192,405

Los resultados obtenidos se encuentran en función de las horas trabajadas por el destilador en los Laboratorios de Ciencias de la Vida y por los datos del manual de

funcionamiento del equipo, el consumo de agua del destilador eléctrico es de 48 l/h, lo que al multiplicarlo por las horas trabajadas, indica el consumo total de agua, de igual manera la producción de agua destilada resulta de la multiplicación de las horas de trabajo por la producción de agua destilada del equipo que es de 4 l/h, el consumo total de electricidad resulta del producto entre las horas de trabajo por la potencia necesaria del equipo, los costos por consumo de agua y electricidad resultan del producto entre el consumo total tanto de agua y electricidad por las tarifas de cada uno de los servicios básicos.

3.7. Conclusiones del capítulo

- ✓ Se establecieron los principales aspectos que caracterizan a los destiladores eléctricos GFL 2004. Sus parámetros de funcionamiento mensuales promedios son: tiempo de trabajo 52,92 h; consumo total de agua 2540 l y producción de agua destilada 211,66 l.

- ✓ Se comprobó que los consumos mensuales promedios de electricidad y de agua en los destiladores GFL 2004 ascienden a 158,75 kWh y 2,54 m³, respectivamente. Los gastos económicos asociados a los referidos consumos son pequeños y se muestran en la comprobación de la hipótesis, sin embargo, su eliminación o reducción mediante el empleo de un destilador solar contribuye positivamente al cuidado del medio ambiente

CAPÍTULO IV

PROPUESTA DE UN DESTILADOR PARA AGUA BASADO EN EL USO DE ENERGÍA SOLAR TÉRMICA

4.1. Introducción

La propuesta del presente tema de investigación consiste en implementar un destilador para agua que utilice energía solar térmica. Mediante el estudio de la transferencia de calor se pueden determinar los parámetros que permiten la realización del diseño y la posterior construcción del equipo. El **objetivo** del presente capítulo es el determinar los valores de cada uno de los parámetros que caracterizan al destilador propuesto.

4.2. Título de la propuesta

Implementación de un destilador solar térmico para la Universidad Politécnica Salesiana sede Quito, campus Girón.

4.3. Justificación

Los Laboratorios de Ciencias de la Vida en su afán por mejorar y su directiva consiente de esto ha tomado la acertada decisión de cambiar el uso de una energía no renovable como lo es la energía eléctrica por una energía renovable como la energía solar en su proceso para la obtención de agua destilada.

El agua destilada tendrá usos en los laboratorios de esta entidad para la ejecución de experimentos y prácticas de laboratorio que ayudan al mejor entendimiento y desempeño de sus estudiantes. Además, impulsado por el desarrollo de la nueva matriz energética desarrollada por el Gobierno Ecuatoriano, la cual promueve el uso de energías alternativas se plantea el diseño y la construcción de un destilador solar.

4.4. Objetivo

- ✓ Producir agua destilada mediante la implementación de un destilador para agua el cual utilice energía solar como fuente principal de energía, para los Laboratorios de Ciencias de la Vida de la Universidad Politécnica Salesiana sede Quito, campus Girón.

4.5. Estructura de la propuesta

Diseño y construcción de un destilador solar

Partiendo de los parámetros iniciales de diseño que se muestran en la tabla 1.2 se procede con el cálculo de los parámetros utilizados para la construcción del destilador solar para agua

Declinación solar

Tomando en consideración el día 16 del año para el cálculo de la declinación y la ecuación 1.5, se obtiene

$$\delta = -21,096^\circ$$

Ángulo del ocaso

Para determinar el valor del ángulo del ocaso se considera la latitud de Quito que es: $0^\circ 10' 0''$

$$\phi = 10 \text{ min} \times \frac{1^\circ}{60 \text{ min}}$$

$$\phi = -0,166^\circ$$

Luego aplicando la ecuación 1.6:

$$\omega_s = 90,06^\circ$$

El **número de horas teóricas de sol** se determina mediante la ecuación 1.7.

$$N = 12$$

Según los datos del INAMHI (2014), se determina que en el Ecuador en promedio las horas reales de sol son de aproximadamente 5,06 el destilador solar para agua construido funciona perfectamente con el promedio de horas antes mencionado, ya que se realizaron pruebas de funcionamiento en las cuales las horas de sol fluctuaron entre 3 y 6 horas, siendo este el lado pesimista en lo relacionado a las horas de sol con las cuales puede trabajar el destilador

Irradiación diaria solar promedio extraterrestre sobre una superficie horizontal

Considerando la ecuación 1.8 propuesta por (Duffie & Beckman, 2013) se determina:

$$H_o = 10149,68 \frac{W \cdot h}{m^2 \cdot día}$$

Irradiación diaria solar promedio terrestre sobre una superficie horizontal

En base a la ecuación 1.9 propuesta por Armstrong – Prescott y tomando en cuenta el mes de enero en el cual se realiza el estudio del destilador se tiene:

$$H = 4607,95 \frac{W \cdot h}{m^2 \cdot día}$$

Irradiación solar difusa promedio

En primer lugar se debe determinar el índice de claridad utilizando la ecuación 1.10a. Reemplazando los datos determinados anteriormente se tiene:

$$K_T = 0,454$$

Utilizando la ecuación 1.10:

$$H_d = 1885,47 \frac{W \cdot h}{m^2 \cdot día}$$

Irradiación solar directa promedio

En base a la información de la tabla 1.4 se considera el valor del mes de abril, mes en el cual se obtiene el menor valor de irradiación directa:

$$H_b = (4213,49 - 1897,48) \frac{W \cdot h}{m^2 \cdot día}$$

$$H_b = 2316 \frac{W \cdot h}{m^2 \cdot día}$$

Diseño térmico

Cálculo de calor perdido por conducción

Reemplazando los valores del espesor de la plancha de acero, del aislamiento de lana de vidrio y de la plancha de acero inoxidable que son de 0,003m, 0,051m, 0,002m, respectivamente, en la ecuación 1.13 se tiene un valor de resistencia térmica equivalente:

$$R_{eq} = \frac{0,003m}{14,9 \frac{W}{m \cdot ^\circ K}} + \frac{0,051m}{0,043 \frac{W}{m \cdot ^\circ K}} + \frac{0,002m}{60,5 \frac{W}{m \cdot ^\circ K}}$$

$$R_{eq} = 1,186 \frac{m^2 \cdot ^\circ K}{W}$$

Utilizando uno de los parámetros iniciales de diseño que es la velocidad del viento junto a la ecuación 1.14 se tiene el coeficiente de transferencia de calor por convección:

$$h_{ct} = 2,8 + 3 \left(3,1 \frac{m}{s} \right)$$

$$h_{ct} = 12,1 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K}$$

Considerando los parámetros antes calculados se procede a determinar la resistencia térmica total utilizando la ecuación 1.15

$$K_b = \frac{1}{1,186 \frac{m^2 \cdot ^\circ K}{W} + \frac{1}{12,1 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K}}}$$

$$K_b = 0,788 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K}$$

Una vez obtenido la resistencia térmica equivalente del aislante se procede a determinar el calor perdido por conducción utilizando la ecuación 1.12

$$q_c = 0,788 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K} (328 - 288) ^\circ K$$

$$q_c = 31,52 \frac{W}{m^2}$$

Cálculo del calor perdido por radiación del vidrio

Mediante el uso de la ecuación 1.18 se calcula la temperatura del punto de rocío:

$$T_{dp} = \sqrt[8]{\frac{71}{100}} \cdot (110 + 288) ^\circ K - 100$$

$$T_{dp} = 285,51 \text{ } ^\circ K$$

Utilizando la ecuación 1.17 propuesta por Duffie & Beckman, (2013), se determina la temperatura del cielo:

$$T_s = 288 \text{ } ^\circ K \cdot \left(0,8 + \frac{285,51 - 273}{250} \right)^{0,25}$$

$$T_s = 276,53 \text{ } ^\circ K$$

Reemplazando la temperatura del cielo y la constante de Stefan-Boltzman en la ecuación 1.16 se determina el calor perdido por la radiación del vidrio

$$q_{rv} = 0,8 \cdot \left(5,67 \times 10^{-8} \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K^4} \right) \cdot (308,65^4 - 276,53^4) \text{ } ^\circ K^4$$

$$q_{rv} = 146,42 \frac{W}{m^2}$$

Calor perdido por convección en el vidrio

$$\text{Siendo } h_{cv} = h_{ct} = 12,1 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K}$$

Reemplazando el valor del coeficiente de transferencia de calor por convección entre el vidrio y el aire ambiente en la ecuación 1.19 se tiene:

$$q_{cv} = 12,1 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K} (308,65 - 288) \text{ } ^\circ K$$

$$q_{cv} = 249,86 \frac{W}{m^2}$$

Calor perdido por radiación del agua

Reemplazando los valores de emisividad y temperatura en la ecuación 1.20 se tiene:

$$q_{rw} = \frac{5,67 \times 10^{-8} \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K^4}}{\frac{1}{0,96} + \frac{1}{0,8} - 1} \cdot [(328,15)^4 - (308,65)^4] \text{ } ^\circ K^4$$

$$q_{rw} = 110,63 \frac{W}{m^2}$$

Cálculo del calor perdido por convección natural

Partiendo de la ecuación 1.22 para determinar el valor del calor perdido por convección natural y reemplazando los valores de las presiones obtenidas en Cengel (2007) se tiene:

$$h_c = 0,88 \cdot \left[328,15 - 308,6 + \frac{15,758 - 5,628}{268,4 \times 10^3 - 15,758} \cdot (328,15) \right]^{\frac{1}{3}}$$

$$h_c = 2,37 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K}$$

Posteriormente se determina el coeficiente de radiación efectivo mediante el uso de la ecuación 1.23

$$h_r = \frac{0,19 \cdot \left(5,67 \times 10^{-8} \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K^4} \right) \cdot [(308,5)^4 - (328,15)^4] \cdot ^\circ K^4}{(308,5 - 328,15) \cdot ^\circ K}$$

$$h_r = 1,39 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K}$$

Con los resultados obtenidos de las ecuaciones 1.22 y 1.23 se determina el coeficiente total de transferencia de calor por convección del agua reemplazando los valores en la ecuación 1.24.

$$h_T = 2,37 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K} + \frac{3}{4} \left(1,39 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K} \right)$$

$$h_T = 3,41 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K}$$

Reemplazando los resultados antes obtenidos y utilizando la ecuación 1.21 se encuentra el calor perdido por convección del agua:

$$q_{cw} = 3,41 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K} (328,15 - 308,65) \cdot ^\circ K$$

$$q_{cw} = 66,495 \frac{W}{m^2}$$

Cálculo del calor perdido por evaporación

El coeficiente de transferencia de calor evaporativo se determina mediante el uso de la ecuación 1,26

$$h_e = 0,013 \cdot \left(3,41 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K} \right)$$

$$h_e = 0,0443 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K}$$

Reemplazando el resultado obtenido y utilizando la ecuación 1.25 se encuentra el calor perdido por evaporación:

$$q_e = 0,0443 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K} \cdot (15578 - 5628) Pa$$

$$q_e = 440,78 \frac{W}{m^2}$$

Cálculo de calor almacenado por la cubierta

Considerando la radiación correspondiente al mes más desfavorable, abril y tomando en cuenta la reflexión, absorción y transmitancia se tiene el factor:

$$\alpha_g \cdot H = 0,1 \cdot 4213,49 \frac{W \cdot h}{m^2 \cdot día}$$

$$\alpha_g \cdot H = 421,35 \frac{W \cdot h}{m^2 \cdot día}$$

Tomando el factor de 5 horas al día para considerar las unidades consistentes la radiación que llega al vidrio es:

$$421,35 \frac{W \cdot h}{m^2 \cdot día} \times \frac{1 \text{ día}}{5 \text{ h}} = 84,27 \frac{W}{m^2}$$

De la ecuación 1.27 se determina el calor almacenado por la cubierta

$$q'c = [110,63 + 66,495 + 440,78 + 84,27 - (146,42 + 249,86)] \frac{W}{m^2}$$

$$q'c = 305,90 \frac{W}{m^2}$$

Cálculo del calor absorbido por el agua

De la ecuación 1.28 se determina el calor absorbido por el agua

$$q'a = \{[4213,49 \cdot (1 - 0,1) \cdot (1 - 0,3)] - (110,63 + 66,495 + 440,78 + 31,52)\} \frac{W}{m^2}$$

$$q'a = 2005,07 \frac{W}{m^2}$$

Cálculo de calor absorbido por el sistema

Reemplazando los datos antes calculados en la ecuación 1.29 se obtiene el calor absorbido por el sistema

$$q_t = 305,90 \frac{W}{m^2} + 2005,07 \frac{W}{m^2}$$

$$q_t = 2310,97 \frac{W}{m^2}$$

Tomando el área de la bandeja de 1 m² y la ecuación 1.30 se calcula el calor almacenado por el sistema

$$Q_T = 2310,97 \frac{W}{m^2} \cdot 1m^2$$

$$Q_T = 2310,97 \text{ W}$$

Calor necesario para calentar y evaporar Q

La masa del vidrio se calcula utilizando la ecuación 1.31, se considera las dimensiones del vidrio que son 2 x 0,50 x 0,004 m, longitud, ancho, espesor, respectivamente.

$$m_v = 2500 \frac{kg}{m^3} \cdot 1m^2 \cdot 0,004m$$

$$m_v = 10kg$$

El calor que absorbe la cubierta de vidrio se determina mediante el uso de la ecuación 1.32

$$Q_v = 10kg \cdot 750 \frac{J}{kg \cdot ^\circ K} \cdot (308,65 - 288,15)^\circ K$$

$$Q_v = 146250 \text{ J}$$

$$Q_v = 40,63 \text{ Wh}$$

Calor necesario para calentar el agua

Reemplazando los valores en la ecuación 1.33

$$Q_{ca} = 2,97 \text{ kg} \cdot 4186 \frac{J}{kg \cdot ^\circ K} \cdot (328,15 - 289,15)^\circ K$$

$$Q_{ca} = 484864,38 \text{ J}$$

$$Q_{ca} = 134,68 \text{ W} \cdot h$$

Calor necesario para evaporar x porcentaje de agua

Reemplazando valores en la ecuación 1.34 se obtiene:

$$Q_{ev} = (1) \cdot (2,97 \text{ kg}) \cdot \left(2260 \times 10^3 \frac{\text{J}}{\text{kg}} \right)$$

$$Q_{ev} = 6712200 \text{ J}$$

$$Q_{ev} = 1864,5 \text{ W} \cdot \text{h}$$

Para determinar la demanda energética del destilador solar se emplea la ecuación 1.35.

$$Q_N = (40,63 + 134,68 + 1864,5) \text{ Wh}$$

$$Q_N = 2039,81 \text{ Wh}$$

Eficiencia del destilador solar térmico

El Consejo Nacional de Electricidad, en el Atlas Solar del Ecuador, proporciona una visión general de las diferentes unidades comúnmente utilizadas e indica sus factores de conversión. Para la transformación de MJ/m² a kWh/m² se utiliza un factor de 0,2778. Aplicando este factor de conversión al valor obtenido para la radiación solar [4 213,49 Wh/ m², ver tabla 1.4] se obtiene:

$$\eta_c = \frac{2,529 \frac{\text{MJ}}{\text{kg}} \cdot 2,97 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}}{15,17 \frac{\text{MJ}}{\text{m}^2}} \cdot 100$$

$$\eta_c = 49,52 \%$$

Esto indica que el destilador solar tiene un grado de aprovechamiento de la energía térmica del 49,52 %, tomando como referencia el valor de la radiación total sobre la superficie colectora para el mes más desfavorable (en este caso abril). La eficiencia del destilador no es constante, puesto que en el año existen días en los

cuales la radiación solar es baja, media y alta por los efectos climáticos cambiantes que se suceden en la zona de estudio. Al emplear la ecuación 1.36 se debe considerar que el valor del cambio de entalpía entre el agua fría y el vapor varía conforme cambia la intensidad de la radiación solar y en ninguna condición puede ser considerado constante. En este caso se empleó el valor 2,529 MJ porque es el que corresponde a las temperaturas promedio en el mes de abril para el agua fría (289,25 °K) y el vapor (326,25 °K), respectivamente.

Nota: Las imágenes del destilador solar térmico propuesto en el presente capítulo se exponen en el Anexo 9

4.6. Análisis Económico

La factibilidad económica es frecuentemente un parámetro clave para determinar si una opción debe ser implantada o no. Es recomendable evaluar primero las técnicamente racionales, que resulten más atractivas económicamente y que no requieren de una inversión elevada. Esto refuerza el interés y el compromiso de la empresa. Cada entidad tiene sus propios criterios financieros para seleccionar proyectos que puedan implantarse. Al realizar una evaluación económica se deben considerar diversos costos y ahorros. Al igual que en muchos proyectos, los costos para las opciones de producción se pueden desglosar en operativos y de inversiones.

Los costos de materia prima directa forman parte del equipo construido (vidrio y planchas), los costos de mano de obra directa son aquellos que intervienen en la fabricación del equipo (cortes de planchas y soldadura), los costos de materia prima indirecta no formarán parte del equipo (llaves y brocas), los costos de mano de obra indirecta intervienen indirectamente en la fabricación de la máquina (transporte) y finalmente se encuentran los costos de imprevistos. Los tres métodos comúnmente utilizados para medir la rentabilidad son:

- ✓ Periodo de recuperación de la inversión.
- ✓ Tasa Interna de Retorno (TIR).
- ✓ Valor Actual Neto (VAN).

Cuando se trata de inversiones elevadas se usa la tasa interna de retorno y el valor actual neto. En la actualidad existen programas que pueden ayudar a realizar una evaluación financiera completa. Para el estudio de factibilidad económica de la propuesta se realiza el cálculo del VAN y la TIR del proyecto de implementación de un destilador solar térmico en los Laboratorios de Ciencias de la Vida de la Universidad Politécnica Salesiana.

A continuación, se presenta un cuadro con los costos de la construcción del destilador.

Tabla 4.1. Costos de implementación destilador solar térmico.

DESCRIPCIÓN	VALOR (USD)
Costos de materia prima directa	800
Costos de mano de obra directa	100
Costos de materia prima indirecta	100
Costos de mano de obra indirecta	50
Imprevistos	50
Costo total	1 100

Una vez que se tiene claro el valor a invertir se procederá al cálculo de los indicadores VAN y TIR haciendo uso de una aplicación informática programada en Microsoft Excel que facilitará esta tarea.

Costo de producción del agua destilada

El costo inicial de la máquina es de USD 1 100, de acuerdo a los porcentajes de depreciación se toma un 10 % para todo lo referente a maquinaria según la Ley de Aplicación de Régimen Tributario Interno, por lo que la depreciación anual es de USD 110, de igual manera se puede calcular la depreciación en función de los años de vida útil tomando como valor 10 años para maquinaria, se toma en consideración 3 años para calcular la Tasa Interna de Retorno (TIR) y el Valor Actual Neto

(VAN), el valor de la máquina en función de uno, dos y tres años es de USD 990, 880, 770, respectivamente, con esto se obtiene un valor residual de USD 770 que es el valor que falta por depreciar.

Para determinar el costo de producción de cada litro de agua destilada por la máquina que utiliza energía solar para su funcionamiento se considera la *materia prima directa* que es el agua, por cada m³ de agua potable se debe pagar USD 1; la *mano de obra directa* la cual fue proporcionada por un estudiante de pregrado el cual realizó la construcción de la máquina para obtener el título de ingeniero mecánico, los talleres donde se realizó la máquina son propiedad de la UPS; y los *costos indirectos de fabricación*, se toma en cuenta el espacio físico, el pago al operario, la depreciación de la máquina y los insumos que se necesitan para la producción de agua destilada.

La Universidad Politécnica Salesiana proporciona el espacio físico en la terraza del bloque B, del Campus Girón, el operario será un ayudante de laboratorio por lo que entre sus actividades diarias estará presente la verificación del funcionamiento de la máquina y la recolección de agua destilada, la depreciación de la máquina calculada es de USD 110.

Tabla 4.2 Costos de producción

COSTOS DE PRODUCCIÓN			
Materia Prima Directa	Costo (USD)	Cantidad (m³)	Total USD
Agua (m ³)	1	0,672	0,672

Mano de obra directa	Costo Hora (USD)	Cantidad (h)	Total USD
Estudiante UPS	0	0	0

Costos Indirectos de Fabricación	Costo anual (USD)	Cantidad (años)	Total USD
Depreciación de la máquina	110	1	110

Los costos de producción ascienden a USD 110,672 es el valor que se utiliza para generar 168 litros de agua destilada, según las pruebas realizadas en el destilador

solar para agua se obtiene por cada 2 litros de agua potable, 0,5 litros de agua destilada aproximadamente, de esta forma se necesita 672 litros de agua potable.

Por lo tanto el costo total de producir los 168 litros anuales (USD 110,672), dividido para los litros producidos (168 l) indica el valor de cada litro de agua destilada generada en el destilador solar y este valor es de USD 0,659 valor que sirve para determinar la utilidad neta en el ejercicio.

Para determinar la utilidad de la máquina se realiza una diferencia entre los ingresos y los costos de producción que se van a producir. Los ingresos a obtener se determinan en función de su capacidad máxima de producción que es de 168 litros al año, realizando varias consultas en diferentes lugares de la ciudad de Quito el costo promedio de un litro de agua destilada es de USD 0,98 por lo que se obtiene un valor de USD 164,64.

Para el cálculo de los egresos se toma en consideración el costo real de agua destilada que es de USD 0,659, los cuales multiplicados por los 168 litros anuales se tiene un valor aproximado de USD 110,772, por lo cual se va a obtener una utilidad anual de USD 53,928, a continuación se observa lo realizado para el cálculo de la utilidad.

Tabla 4.3 Utilidad neta en el ejercicio

INGRESOS		
Precio	Cantidad	Total USD
0,98	168	164,64

EGRESOS		
Costos	Cantidad	Total USD
0,659	168	110,712

UTILIDAD	53,928
-----------------	---------------

Una vez que se ha determinado los ingresos, los costos de producción, la depreciación anual, la inversión en propiedad planta y equipo y el valor residual todo esto para 3 años se procede al cálculo del VAN y TIR.

Tabla 4.4 Valor Actual Neto (VAN) y Tasa Interna de Retorno (TIR)

	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3
Ingresos		164,64	164,64	164,64
Costos de producción		110,712	110,712	110,712
Utilidad neta en el ejercicio		53,928	53,928	53,928
Utilidad neta en el ejercicio		53,928	53,928	53,928
(+) Depreciación		110	110	110
(-) Inversión en propiedad planta y equipo	1100			
(+) Valor residual				770
Flujo Neto de Fondos (FNF)	-1100	163,928	163,928	933,928
	VAN	(\$ 158,20)		
	TIR	5,426%		

Como se aprecia en la tabla 4.4 se determina un VAN negativo de USD 158,20 y una TIR de 5,426 %, tomando en consideración que un Valor Actual Neto positivo considera un proyecto rentable, un VAN negativo considera un proyecto no rentable, y un VAN igual a cero se considera indeterminado, se puede concluir que el VAN negativo que se obtuvo se debe a varios aspectos como por ejemplo al número de años de recuperación de la inversión que puede ser de 10 años, de igual manera se está considerando una Tasa Mínima Aceptable de Rendimiento (TMAR) de 12 % la cual engloba la tasa pasiva, la inflación y el premio al riesgo, valores que fluctúan de acuerdo al tiempo, de igual manera si se produce una recuperación de capital a largo plazo pero para esto se realiza un análisis costo beneficio, en el cual se toman en cuenta factores ambientales como la no emisión de toneladas de dióxido de carbono a la atmósfera, el cambio de tecnología y aplicación de energías alternativas para la generación de agua destilada, factores que se detallan más adelante.

4.7. Comprobación de la hipótesis

Con el destilador solar para agua se han realizado diversas pruebas para verificar su funcionamiento, en diferentes sectores de la ciudad de Quito, llegando a la conclusión en el sector de Calderón es el lugar donde mayor cantidad de agua destilada se genera, de los datos recolectados en los diferentes días se llega a la conclusión que en un día soleado, parte nublado y soleado, nublado y con pocas horas de sol (2 aproximadamente), la producción de agua destilada es de 0,8; 0,5 y $0,2 \frac{l}{día}$ respectivamente. Para el siguiente análisis se considera un promedio de las 3 medidas antes mencionadas que es de $0,5 \frac{l}{día}$.

Tomando en consideración que el destilador es utilizado durante 7 días a la semana, las 4 semanas del mes y los 12 meses de año, se tiene una generación de agua destilada de 3,5; 14; 168 l respectivamente, de acuerdo a lo consultado en las diferentes farmacias existentes en la ciudad de Quito el costo promedio de un litro de agua destilada bordea los USD 0,98; con esta referencia se puede determinar que el ahorro que se produce en los laboratorios de Ciencias de la Vida de la Universidad Politécnica Salesiana es de USD 3,43 a la semana, USD 13,72 al mes y USD 164,64 al año.

Para producir los 168 l al año con un destilador eléctrico GFL 2004 se considera los siguientes datos obtenidos del manual de funcionamiento del mencionado destilador eléctrico:

Flujo de agua destilada	$4 \frac{l}{h}$
Potencia	3 kW
Consumo de agua	$48 \frac{l}{h}$

Utilizando los datos antes indicados se tiene que para la producción de los 168 l se necesita de 42 horas de funcionamiento del destilador eléctrico, se van a consumir 126 kWh, y se necesita de 2016 litros de agua para igualar la producción del

destilador que utiliza energía solar para su funcionamiento, en función de los valores consultados por cada kWh y por cada m³ de agua que se muestran en los Anexos 6 y 7 se tiene que se debe cancelar en facturación eléctrica un valor de USD 12,726 y por concepto de agua USD 2,02, por concepto de mantenimiento se considera un 8 % del valor total que es de USD 57,6; el costo total es de USD 72,35

Los laboratorios de Ciencias de la Vida consumen en total 1 905 kWh para satisfacer sus necesidades de agua destilada al año por lo que al disminuir 126 kWh la reducción en relación a electricidad es del 6,61 %, de igual manera el consumo de agua anual de los mencionados laboratorios asciende a 30,48 m³ por lo que una reducción de 2,02 m³ de agua potable representa una disminución del 6,63 % de agua, todo esto con lleva a la comprobación de la hipótesis, la reducción del porcentaje de agua y luz no es tan alta, lo que se busca es crear conciencia en las personas para que continúen buscando más formas de disminuir la contaminación ambiental en el planeta, evitar el consumo de combustibles fósiles y ayudar al medio ambiente para esto a continuación se realiza una evaluación ambiental. Además, se debe tomar en cuenta el ahorro de producir los 168 l de agua destilada al año utilizando un destilador que utiliza para su funcionamiento energía solar térmica.

Evaluación ambiental

De la misma manera que se determina la factibilidad financiera, la rentabilidad de la inversión y los estudios de mercado en los proyectos, resulta muy conveniente y hasta necesario evaluar la factibilidad ambiental. Desde los procesos iniciales de planeación y selección del sitio, el diseño de la arquitectura e ingenierías y hasta la construcción y operación de un determinado proyecto, es muy importante considerar las características naturales de los predios y de la región e identificar las regulaciones y restricciones ambientales y de uso de suelo, factores que pueden influir en la selección del sitio y en las características del proyecto.

Luego, el conocimiento de las características ecológicas de un determinado predio, y de los ordenamientos, normas y regulaciones ambientales y de uso de suelo vigentes en una zona, deben ser tomados en cuenta para determinar la conveniencia y las características de un nuevo proyecto de desarrollo. Los elementos que

componen a un Estudio de Factibilidad Ambiental son necesariamente particulares para cada proyecto, son un traje hecho a la medida de sus necesidades. Estos estudios permiten determinar si el proyecto que se pretende desarrollar es factible o no, si requiere modificaciones, adecuaciones o si definitivamente no puede llevarse a cabo en el sitio.

Para la presente investigación no se tiene mayor problema, puesto que el destilador solar térmico, será colocado en una de las terrazas del campus Girón de la UPS, no tiene ninguna restricción ambiental ya que es una máquina que utiliza una fuente renovable de energía, como lo es la energía solar, no se va a utilizar electricidad, motivo relevante en la investigación ya que los destiladores existentes en los Laboratorios de Ciencias de la Vida, utilizan electricidad; se utiliza agua potable la cual será transformada en agua destilada, luego del proceso de evaporación del agua y el destilador no necesita agua de enfriamiento. Los motivos expuestos anteriormente indican que el proyecto es muy amigable con el ambiente y no va a generar ningún tipo de contaminación ambiental por lo cual se considera viable.

Realizando el análisis de kg de CO₂ enviados a la atmósfera, los resultados de la propuesta son más amigables con el ambiente, en comparación con los destiladores GFL 2004, a continuación se indica la respectiva emisión de los dos destiladores, tomando como referencia que el valor de 1 t de CO₂ es de 7,52 EUR (Sistema Electrónico de Negociación de Derechos de Emisión de Dióxido de Carbono, 2014), equivalentes a 9,85 USD a una tasa de cambio de 1,3098 EUR por USD. En la tabla 3.4 se indica que el consumo de agua en el destilador eléctrico GFL 2004 es de 30,48 m³/año. Por otra parte, se considera que el destilador solar térmico propuesto consume 2 l diarios de agua para producir 0,5 l de agua destilada (Ver Anexo 10), por tanto su consumo asciende a 0,672 m³/año. Las emisiones de CO₂ asociadas a estos consumos de agua se exponen en la tabla 4.5.

Tabla 4.5. Emisiones equivalentes de CO₂ en los destiladores.

Portador energético	Equipo	Consumo anual	Unidad	Factor de emisión (kg CO ₂ eq)		kg de CO ₂ equivalentes
Agua	Destilador GFL 2004	30,48	m ³	0,788	kg de CO ₂ eq/m ³ de agua	24,018
Agua	Destilador solar térmico	0,672	m ³	0,788	kg de CO ₂ eq/m ³ de agua	0,530

Los resultados de la tabla 4.5 sugieren que al utilizar 30,48 y 0,672 m³ de agua en los destiladores GFL 2004 y solar térmico, respectivamente se va a producir un costo económico ascendente a 0,23 y 0,005 USD. Como se aprecia, estos valores desde el punto de vista económico no son significativos, sin embargo, desde el punto de vista ambiental indican que las instalaciones solares son amigables con el medio ambiente.

En el caso del consumo de electricidad en el destilador GFL 2004 se obtienen valores de emisiones iguales a 733,425 kg de CO₂ equivalente debido a que su consumo de energía es de 1 905 kWh, en estas condiciones el costo económico asociado es de 7,22 USD, según los datos expuestos en la tabla 4.6. En el caso del destilador solar térmico el valor es nulo porque solo emplea la referida fuente renovable de energía.

Tabla 4.6. Factores de emisión electricidad – GFL 2004.

Portador energético	Equipo	Consumo anual	Unidad	Factor de emisión (kg CO ₂ eq)		kg de CO ₂ equivalentes
Electricidad	Destilador GFL 2004	1905	kWh	0,385	kg de CO ₂ eq/kWh	733,425

De igual manera se considera que la energía solar térmica tiene dos ventajas, si se compara con otras fuentes renovables de energía, la primera de ellas es que emplea un recurso virtualmente inagotable, que es, la radiación solar. La segunda ventaja es que no emite gases contaminantes a la atmósfera, ni gases de efecto invernadero, por lo que no afecta a la calidad del agua, ni al suelo y tampoco produce emisiones de ruidos.

El destilador solar térmico será colocado en la terraza del Bloque B de la Universidad Politécnica Salesiana, campus Girón, por lo cual el efecto visual sobre el paisaje no se ve afectado, se debe tener en consideración que este lugar fue seleccionado porque no existen elementos que impidan el paso de los rayos solares a la superficie de captación solar de la máquina.

En cuestión de flora y fauna no existen efectos negativos ya que el lugar a colocar es aislado y, además, el destilador solar ocupa una pequeña área de la terraza. Con su utilización las emisiones de CO₂ se reducirán en comparación con la producida por los destiladores para agua GFL 2004, lo que motiva a las futuras generaciones a buscar proyectos los cuales mitiguen el calentamiento global.

4.8. Conclusiones del capítulo

- ✓ Se determinaron los parámetros energéticos que caracterizan al destilador solar propuesto. La demanda de energía y el rendimiento térmico de la instalación para las condiciones de radiación solar más desfavorables en el año fueron de 2 039,13 Wh y 49,52 %, respectivamente.

- ✓ El análisis financiero del proyecto de construcción del destilador solar propuesto arrojó un VAN de 158,20 USD y una TIR del 5,42 % en un periodo de tres años. Los anterior evidencia la viabilidad económica del proyecto a mediano y largo plazo. Además, la instalación es amigable con el medio ambiente porque solo emplea energía solar térmica.

CONCLUSIONES GENERALES

- ✓ Se logró implementar un destilador solar para agua el cual ayudará a satisfacer las necesidades de agua destilada en los Laboratorios de Ciencias de la Vida junto al destilador eléctrico GFL 2004, de esta manera se reduce en un 6,61 % el consumo de energía eléctrica y de un 6,63 % el consumo de agua, de igual manera se reducen los costos de mantenimiento, en general se tiene un ahorro anual de 244,44 USD para la Universidad Politécnica Salesiana.
- ✓ Alrededor del mundo existen diferentes modelos de destiladores solares para agua entre los más importantes están los destiladores de dos vertientes, tipo invernadero, tipo cascada, los cuales sirven para proveer de agua destilada en la presente investigación se utilizó un destilador para agua de dos vertientes, por diferentes motivos uno de ellos es por tener la posibilidad de recibir la radiación solar durante todas las horas de sol en un día sin tener ningún tipo de obstrucción. Con el modelo de destilador solar para agua realizado en la presente investigación se obtuvo una producción de agua destilada de 0,8; 0,5 y $0,2 \frac{l}{día}$ en diferentes días, con climas variados, en promedio el destilador produce $0,5 \frac{l}{día}$ de agua destilada.
- ✓ Se realizó un análisis del consumo de energía eléctrica y de agua provocados por el uso del destilador eléctrico modelo GFL 2004 en los Laboratorios de Ciencias de la Vida, los resultados encontrados indican que existe un consumo anual de 30,48 m³ de agua y de 1 905 kWh para lograr satisfacer las necesidades tanto de agua como de energía eléctrica.
- ✓ Mediante el uso de materiales como planchas de acero inoxidable, de acero AISI 1018, de tubos cuadrados, vidrios, bisagras y elementos normalizados se realizó la construcción de un destilador para agua el cual utiliza una energía limpia como es la energía solar para su funcionamiento, el cual fue diseñado bajo parámetros mínimos de radiación 4 213,49 Wh/m², para el mes de Abril,

de igual manera se considera que actualmente el país se encuentra en proceso de cambio de la matriz energética para proveer de mejores días en lo que referente a electricidad al pueblo ecuatoriano un ejemplo de esto es la construcción de centrales hidroeléctricas para que en un futuro el Ecuador no dependa de ningún otro país en el campo de la energía eléctrica.

- ✓ Se realizaron pruebas de funcionamiento del destilador solar para agua en la ciudad de Quito tomando como puntos de referencia, la Argelia al sur, Miraflores en el centro y Calderón al norte de la ciudad, los resultados indicaron que el sector donde el destilador generó un mayor volumen de agua destilada fue en Calderón sector donde se obtuvo 0,8 litros de agua destilada en un día en el cual las horas de sol fueron aproximadamente 6.
- ✓ Los resultados obtenidos en los sectores antes mencionados varían de acuerdo a la intensidad de radiación solar diaria, todos los días no son iguales es por este motivo que el volumen de generación de agua destilada varía conforme la radiación en el equipo.
- ✓ Un análisis económico junto a un análisis ambiental sirvieron para determinar que el proyecto es viable para su construcción ya que genera un ahorro en lo referente a energía eléctrica y agua potable no en un alto porcentaje pero lo que ayuda a impulsar nuevas investigaciones en el campo de energías alternativas con el fin de cambiar la forma de pensar de muchas personas al indicar que no es posible dejar de utilizar electricidad, este proyecto demostró que si se puede disminuir el consumo de agua y luz, a la vez, se indica que también al dejar de utilizar energía eléctrica, también se está disminuyendo las emisiones de dióxido de carbono a la atmósfera, según los datos calculados las emisiones que se disminuyen utilizando el destilador implementado es de 0,758 t de CO₂ aproximadamente.
- ✓ Para poder satisfacer el consumo total de agua destilada en los Laboratorios de Ciencias de la Vida de la Universidad Politécnica que es de 2540 litros al año se necesita aproximadamente de 15 destiladores solares del modelo construido

ya que cada destilador produce 168 litros anuales, tomando en consideración que esa cantidad de agua destilada generada puede aumentar o disminuir de acuerdo a las condiciones climatológicas de la ciudad de Quito.

RECOMENDACIONES

- ✓ Realizar la ingeniería de detalle con el propósito de perfeccionar el diseño de del destilador solar propuesto y con esto mejorar la producción de agua destilada.
- ✓ Construir un modelo de destilador solar para agua tipo esférico de barredera, tomando en consideración que se puede implementar un panel solar fotovoltaico para generar la energía que necesita el motor, el cual ayuda al funcionamiento del limpia parabrisas, y de esta manera comparar los resultados con el destilador implementado.
- ✓ Generalizar la utilización de destiladores solares en los distintos laboratorios donde se utiliza agua destilada para generar un volumen de agua que ayude a disminuir el uso de electricidad en el país.
- ✓ Realizar diferentes pruebas de funcionamiento en las diferentes regiones del Ecuador para conocer el lugar en el cual la generación de agua destilada sea mayor.
- ✓ Antes del ingreso de agua potable al destilador, pasar el agua por un sistema de ósmosis inversa, el cual ayude a disminuir la cantidad de sólidos disueltos en el agua y de esta manera genera agua destilada de mejor calidad.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Albert, L. (2007). Metodología para el cálculo de las pérdidas energéticas en los destiladores convencionales de las unidades de salud. *Congreso de la Sociedad Cubana de Bioingeniería*. Habana.
- Armendáriz, S., Koutsoukos, P., & Bautista, R. (2004). Estudio de la precipitación de carbonato de calcio en un destilador solar experimental . *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 5-15.
- Benavides, E. (2006). *Diseño y construcción de una cocina solar experimental de tipo cilíndrico parabólico con aplicación al sector rural marginal*. Quito.
- Calle, J., Fajardo, J., & Sánchez, L. (2013). Agua caliente sanitaria de uso doméstico con energía solar, una alternativa para la ciudad de Cuenca. *Ingenius*, 57-62.
- Cengel, Y., & Boles, M. (2007). *Termodinámica*. México D.F.: Mc Graw Hill.
- Cengel, Y., & Boles, M. (2009). *Transferencia de calor*. México D.F.: Mc Graw Hill.
- Cervantes, J. (2009). Análisis de exergía en estado permanente de un destilador solar simple. *Ingeniería y tecnología e investigación*, 25-34
- Chinappi, I., & Jerez, A. (2007). Destilador de agua solar - alternativa para potabilizar agua en zonas rurales . *Academia*, 70-76.
- Constitución Política de la República del Ecuador (2008).
- Duffie, J., & Beckman, W. (1981). *Solar Engineering of Thermal Processes*.
- Duffie, J., & Beckman, W. (2013). *Solar Engineering of Thermal Processes*.
- Empresa Eléctrica Quito. (2014). *Pliego Tarifario Noviembre*. Quito.
- Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable. (2014). *Costo metros cúbicos de agua*. Quito.
- Esteban, C., Franco, J., & Fasulo , A. (2002). Evaluación experimental de un destilador colector solar acumulador. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*.
- Fernández Salgado, J. M. (2010). *Guía completa de la energía solar térmica y termoeléctrica*. Madrid: AMV.

- Fernández , P. (2012). *Procesos termosolares en baja, media y alta temperatura*. Cantabria, Cantabria, España.
- Fonseca et al. (2005). Modelo matemático, del funcionamiento de un destilador solar de bandeja. *Santiago de Cuba*
- Fonseca, S. (2009). Análisis exergético del destilador solar de bandeja de fibra de vidrio. *Tecnología Química*.
- Fonseca et al. (2012). Modelo matemático, solución analítica del funcionamiento de un destilador solar de bandeja. *Tecnología Química*.
- Frohlich, L. (1977). *Thermal Processes*. New York.
- Huezo, F., & Morán, J. (2012). *Diseño, construcción y validación de un destilador solar para uso en los laboratorios de la planta piloto de la Escuela de Ingeniería química*. El Salvador.
- Ibañez, P., Rosell, P., & Rosell, J. (2005). *Tecnología Solar*. Madrid: Mundi - Prensa.
- Ibarra, B., & Rojas, F. (2012). *Diseño y construcción de un prototipo de colector solar parabólico giratorio de mediana temperatura*. Quito.
- Incropera, F., & DeWitt, D. (2012). *Fundamentos de transferencia de calor*. Pearson Education. Quito.
- Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía de España IDAE (2007).
- Lechuga, J., & Rodriguez , M. (2007). Análisis de los procesos para desalinización de agua de mar aplicando la inteligencia competitiva y tecnológica. *Ingeniería*.
- Lucas, T. (1975). *How to build a Solar Heater*. California: Wardritchepress.
- Maldonado, E. A. (2012). *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.
- Marchesi, J., & et al. (2008). Destilación solar construcción y primeros resultados. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*.
- Montgomery, R. (1994). *Energía Solar selección del equipo, instalación y aprovechamiento*. México, D.F.: LIMUSA.
- Morales, F. (Miércoles, 5 de Febrero de 2014). *Pensamiento imaginativo*. Obtenido de <http://manuelgross.bligoo.com/conozca-3-tipos-de-investigacion-descriptiva-exploratoria-y-explicativa>

- Nandwani, S. (2009). *Destilador solar, construcción, funcionamiento y uso*. Heredia, Costa Rica.
- Pacco Ramirez, K. (06 de Agosto de 2010). *Monografías.com*. Obtenido de <http://www.monografias.com/trabajos72/demanda-electrica-vivienda-energia-solar/demanda-electrica-vivienda-energia-solar.shtml>
- Plan Nacional del Buen Vivir 2013 - 2017.
- Recio Miñarro, J. (25 de Enero de 2014). *3 ESO*. Obtenido de http://newton.cnice.mec.es/materiales_didacticos/energia/conservacion.htm
- Rodríguez, R., & Saavedra, W. (2008). *Diseño y construcción de un destilador solar de aguas residuales para el laboratorio de energías renovables - DEDEM*. Quito.
- Rodríguez, M., Celma, A., Benítez, R., Bravo J., & Cuadros, F., (2009). *Guía básica de diseño y montaje de instalaciones solares térmicas*. Badajoz.
- Saettone, E. (2013). Desalinizador solar, análisis comparativo entre el concentrador cilíndrico parabólico y un fresnel. *Investigación Científica*.
- Schallenberg, J. Hernández, C. Pardilla, J. (2008). Energías renovables y eficiencia energética. . *Tecnológico de Canarias*
- Sistema Electrónico de Negociación de Derechos de Emisión de Dióxido de Carbono (2014).
- Tabuada, B. (2014). *Construcción de un destilador solar de agua para el Centro de Investigación y Valoración de la Biodiversidad con una capacidad de 200ml/día* - Quito.
- Williams, R. (1976). *Tecnología y Aplicaciones de la Energía Solar*. Madrid: ANN ARBOR SCIENCE PUBLISHERS.
- Yabroudi , S., Cárdenas , C., & Aldana, L. (2011). Desalinización de agua empleando un destilador solar tubular. *Revistas Científicas de América Latina*.

BIBLIOGRAFÍA

- Albuja, W. (1989). *Diseño y construcción de un destilador solar en cascada*. Guayaquil.
- Alvarez, M. (2012). *Cuba Solar*. Recuperado el Martes 10 de Septiembre de 2013, de <http://www.cubasolar.cu/biblioteca/energia/Energia16/HTML/articulo03.htm>
- Castrillón, J., & Hincapié, D. (2012). Potabilizar agua con energía solar 2012. *Trilogía*, 121-131.
- EcuRed. (2013). *EcuRed*. Recuperado el Martes 10 de Septiembre de 2013, de http://www.ecured.cu/index.php/Destilador_solar
- Electricidad, C. N. (2008). *Atlas Solar del Ecuador*. Quito.
- Fernández, J., & Chargoy, N. (1992). *Destiladores solares de difusión de vapor con recuperación de calor*. México D.F.: UNAM.
- Fonseca et al. (2005). Prototipo de destilador solar de fibra de vidrio. *Tecnología Química*.
- Fuentes, R., & Roth, P. (1997). Teoría de la destilación solar en vacío . *Revista Facultad de Ingeniería*, 49-56.
- Gálvez, E. (2003). Desalinizador solar de múltiples efectos a alta temperatura . *Facultad de Ingeniería UTA*, 25-33.
- Garrido, S., Lalouf, A., & Thomas , H. (2010). Instalación de destiladores solares en el noreste de la provincia de Mendoza - transferencia vs adecuación socio - técnica . *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*.
- Harding, J. (1983). *Apparatus for solar distillation*. New York: Engine.
- Hay, J. & McKay,C. *Solar Energy “Estimating Solar Irradiance on Inclined Surfaces*. 1985.
- Hernández, R. (2007). *Metodología de la Investigación*. Colombia: Panamericana Formas e Impresos.
- Howe , E., & Tleimat, B. (1977). *Fundamentals of water desalination*. New York: AAM Sayigh.
- Howe, E., & Tleimad , B. (1974). *Twenty years of work on solar distillation*. New York.

- INAMHI. (20 de 07 de 2014). Obtenido de <http://www.inamhi.gob.ec/pronostico/manana.pdf>
- Incropera, F., & DeWitt, D. (2000). *Fundamentos de Transferencia de Calor*. Naucalpán de Juárez: Pearson Educación.
- Jiménez, J. M. (2009). *SITIOSOLAR*. Recuperado el Miércoles 11 de Septiembre de 2013, de <http://www.sitiosolar.com/los%20destiladores%20solares.htm>
- Lambertucci, R. (2010). Estudio teórico del comportamiento de un destilador. *Ingeniería Química*.
- Liu, B. & Jordan C. *Solar Energy*. The interrelationship and Characteristic Distribution of Direct, Diffuse, and Total Solar Radiation. 2002.
- Mustacchi, C. (1985). Primeras jornadas de energía solar del Ecuador. *Energetica Solare*, (pág. 21). Quito.
- Nuñez, T., & Gándara, P. (2009). Análisis exergía en estado permanente de un destilador solar simple. *Ingenierías*, 25-34.
- Pacco Ramirez, K. (06 de Agosto de 2010). *Monografías.com*. Obtenido de <http://www.monografias.com/trabajos72/demanda-electrica-vivienda-energia-solar/demanda-electrica-vivienda-energia-solar.shtml>
- Retirado, Y. (2013). *Energía solar térmica y fotovoltaica*. Latacunga.
- Robinson, N. *Solar Radiation*, Elsevier, Amsterdam. 1966.
- Ruelas, J., & Velázquez, N. (2011). Diseño de un concentrador solar . *Sociedad Mexicana de Ingeniería Mecánica*, 15-22.
- Sayigh, A. (1977). *Solar energy engineering* . New York: Academic Press.
- Sistema Electrónico de Negociación de Derechos de Emisión de Dióxido de Carbono, 2014.
- Velasco , C. (2012). *Colectores Solares*. Asunción. Recuperado el Septiembre.
- Williams, D., & Duffie, J., *Selective Radiation Properties of Particulate Coatings*. Trans ASME, 1963.
- Winn, C. *Advances in Solar Energy*. American Solar Society and Plenum Press, New York, 1982.
- Yellot, J., *Applications of Solar Energy for Heating and Cooling of Building*. ASHRAE, New York, 1977.

ANEXOS

Anexo 1. Créditos aprobados

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI DIRECCIÓN DE POSGRADOS MAESTRÍA EN GESTIÓN DE ENERGÍAS Paralelo B Cohorte 2012		MODULO XIX		MODULO XX		Computación		Promedio	Asistencia promedio	Total de créditos
MATERIAS		PROGRAMAS DE PML Y ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA		SEMINARIO DE TESIS II						
PORCENTAJES		Nota	Asis.	Nota	Asis.	Nota	Asis.			
CREDITOS POR MÓDULO		2,50		2,50						20,00
NOMBRE	CÉDULA									
QUITIAQUEZ SARZOSA WILLIAM GIOVANNY	1721609764	81,81	100%	85,55	100%	Aprobado				
		30, 31 de agosto; 13, 14 de septiembre del 2014	Msc. Germán Erazo	27, 28 de septiembre; 18, 19 de octubre del 2014	Msc. Paulina Freire					

Anexo 2. Modelo de Encuesta



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
DIRECCIÓN DE POSGRADOS
MAESTRÍA EN GESTIÓN DE ENERGÍAS

Tema: “Diagnóstico del consumo de energía eléctrica en el proceso de destilación de agua en el Centro de Investigación y Valoración de la Biodiversidad de la Universidad Politécnica Salesiana, Sede Quito, Campus Girón, durante el año 2014. Implementación de un destilador solar térmico”.

La presente, es una encuesta que servirá como una fuente de información relevante para la investigación, por favor responda de una manera correcta y sea lo más sincera/o posible.

1. **¿Considera usted importante reducir los consumos de agua y electricidad en el proceso de generación de agua destilada?**

() Si

() No

¿Por qué? (Justifique su respuesta) _____

2. **¿La producción de agua destilada que actualmente se encuentra disponible en los laboratorios, satisface las necesidades de los estudiantes al momento de realizar una práctica?**

() Si

() No

¿Por qué? (Justifique su respuesta) _____

3. **¿Cree usted que sería oportuno que los destiladores que actualmente existen en los laboratorios sean reemplazados por otros que utilicen una fuente renovable de energía (Específicamente Energía Solar Térmica)?**

() Si

() No

¿Por qué? (Justifique su respuesta) _____



4. ¿Considera usted que la implementación de máquinas que utilicen fuentes renovables de energía, impulsen al desarrollo de nuevas investigaciones sobre el tema?

() Si

() No

¿Por qué? (Justifique su respuesta)_____

5. ¿Cree usted que es importante que la Universidad Politécnica Salesiana, implemente nuevas máquinas que ayuden a continuar con el cambio de la matriz energética en el país?

() Si

() No

¿Por qué? (Justifique su respuesta)_____

6. ¿Considera importante la réplica de investigaciones que tengan relación con el uso de fuentes renovables de energía en otros Campus de la Universidad Politécnica Salesiana y en otras Universidades del Ecuador?

() Si

() No

¿Por qué? (Justifique su respuesta)_____

Muchas gracias por su ayuda y por el tiempo empleando en responder la presente encuesta...

Anexo 3. Validación de Instrumentos (M.Sc. Diana Calero - PhD. Héctor Laurencio Alfonso)



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
DIRECCIÓN DE POSGRADOS

ANEXO 1

SOLICITUD A EXPERTOS PARA VALIDACIÓN

Quito, Noviembre 13 del 2014

Magister

Diana Calero Consuegra

**DIRECTORA DE CARRERA DE INGENIERÍA EN BIOTECNOLOGÍA DE LOS RECURSOS NATURALES
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Presente

De mi consideración:

A través del presente expreso un cordial y efusivo saludo, a la vez; conocedor de su alta capacidad profesional, me permito solicitar de la manera más comedida, su valiosa colaboración en la VALIDACIÓN DEL INSTRUMENTO (Producción de agua destilada: Cuestionario y guía de entrevista) a utilizarse en la recolección de datos para mi investigación sobre **“Diagnóstico del consumo de energía eléctrica en el proceso de destilación de agua en los Laboratorios de Ciencias de la Vida de la Universidad Politécnica Salesiana, Sede Quito, Campus Girón, durante el año 2014. Implementación de un destilador solar térmico”**.

Mucho agradeceré seguir las instrucciones que se anexan al presente: matriz de operacionalización de variables, los objetivos, instrumentos y los formularios.

Por la atención favorable al presente, anticipo mis más sinceros agradecimientos de alta consideración y estima.

Atentamente,

**WILLIAM GIOVANNY QUITIAQUEZ SARZOSA
RESPONSABLE DE LA INVESTIGACIÓN**



ANEXO 2

INSTRUCCIONES PARA VALIDACIÓN

INSTRUCCIONES PARA LA VALIDACIÓN DE CONTENIDO DEL INSTRUMENTO
SOBRE: "Diagnóstico del consumo de energía eléctrica en el proceso de destilación de agua en los Laboratorios de Ciencias de la Vida de la Universidad Politécnica Salesiana, Sede Quito, Campus Girón, durante el año 2014. Implementación de un destilador solar térmico".

Lea detenidamente los objetivos, la matriz de operacionalización de variables y el cuestionario de opinión.

1. Concluir acerca de la pertinencia entre objetivos, variables, e indicadores con los ítems del instrumento.
2. Determinar la calidad técnica de cada ítem, así como la adecuación de éstos a nivel cultural, social y educativo de la población a la que está dirigido el instrumento.
3. Consignar las observaciones en el espacio correspondiente.
4. Realizar la misma actividad para cada uno de los ítems, utilizando las siguientes categorías.

A. Correspondencia de las preguntas del instrumento con los objetivos, variables, dimensiones, indicadores e ítems.

- P** PERTINENCIA
NP NO PERTINENCIA

En caso de marcar **NP**, por favor pase al espacio de observaciones y justifique su opinión.

B. Calidad técnica y representatividad

Marque en la casilla correspondiente:

- O** OPTIMA
B BUENA
R REGULAR
D DEFICIENTE

En caso de marcar **R** o **D**, por favor justifique su opinión en el espacio de observaciones.



C. Lenguaje

Marque en la casilla correspondiente:

- A ADECUADO
I INADECUADO

En caso de marcar **I**, por favor justifique su opinión en el espacio de observaciones



ANEXO 3
OBJETIVOS DEL INSTRUMENTO PARA LA FASE DE DIAGNÓSTICO

Objetivo General

- ✓ Implementar un sistema de generación de agua destilada que utilice energía solar térmica para los Laboratorios de Ciencias de la Vida de la Universidad Politécnica Salesiana, Sede Quito, Campus Girón, durante el año 2014; para la reducción del consumo de energía eléctrica.

Objetivos específicos

- ✓ Analizar el estado del arte de los diferentes tipos de destiladores solares utilizados para la destilación del agua.
- ✓ Diagnosticar el consumo de energía eléctrica en los destiladores existentes en los Laboratorios de Ciencias de la Vida de la Universidad Politécnica Salesiana.
- ✓ Construir un destilador de agua en el cual su principio de funcionamiento se base en el uso de energía solar térmica.
- ✓ Analizar los resultados obtenidos en el proceso de destilación en la ciudad de Quito; con el fin de determinar la zona de mayor rendimiento del destilador.



ANEXO 4
MATRIZ DE OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

VARIABLE INDEPENDIENTE:

Principio de funcionamiento de los destiladores para agua GFL
2004, en los Laboratorios de Ciencias de la Vida

Concepto	Categoría	Indicadores	Ítem	Técnicas	Instrumentos
Un destilador eléctrico para agua es aquella máquina que produce agua de gran pureza, con una cantidad reducida de sólidos disueltos y un pH que puede encontrarse en el intervalo de 4-8, mediante la utilización de energía eléctrica como fuente de alimentación.	Temperatura	Temperatura en el interior del destilador solar	°C	Medición	Termómetro
	Agua de enfriamiento	Consumo de agua para el enfriamiento del equipo	m ³	Medición	Recipientes graduados
	Destilación	Producción de agua destilada	m ³	Medición Observación	Recipientes graduados Cuestionario Guía de entrevista Libros especializados en la temática de energía solar
	Nivel de pH	Nivel de pH en el agua destilada	adimensional	Medición	Papel Tomazol Pruebas de laboratorio



VARIABLE DEPENDIENTE:

Consumo de energía eléctrica

Concepto	Categoría	Indicadores	Ítem	Técnicas	Instrumentos
La energía eléctrica se puede definir como aquella forma de energía que resulta de la existencia de una diferencia de potencial entre dos puntos, dicha diferencia permite que se establezca una corriente eléctrica entre ambos cuando se los coloca en contacto por medio de un conductor eléctrico	Potencia	Consumo de potencia	W	Medición	Vatímetro
	Diferencia de potencial	Voltaje necesario para el funcionamiento de un destilador eléctrico	V	Medición	Voltímetro
	Energía eléctrica	Consumo de energía eléctrica	kWh	Medición Observación	Medidor eléctrico Cuestionario Guía de entrevista Libros especializados en la temática de energía solar
	Energía eléctrica	Facturación de energía	USD	Medición	Factura eléctrica

Elaboración: Ing. William Giovanni Quitiaquez Sarzosa



ANEXO 5

RELACIÓN ENTRE VARIABLES, DIMENSIONES, INDICADORES E ÍTEMS

RELACIÓN ENTRE VARIABLES, DIMENSIONES, INDICADORES E ÍTEMS		
P = PERTINENTE		NP = NO PERTINENTE
ITEMS	A	OBSERVACIONES
1	P	
2	P	
3	P	
4	P	
5	P	
6	P	

f. 
MSc. Diana Calero Consuegra
Validador/a

CC. 1800887927



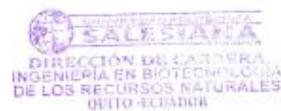
ANEXO 6

CALIDAD TÉCNICA Y REPRESENTATIVIDAD

CALIDAD TÉCNICA Y REPRESENTATIVIDAD			
O= OPTIMA	B= BUENA	R= REGULAR	D= DEFICIENTE
ITEMS	B	OBSERVACIONES	
1	O		
2	O		
3	O		
4	B		
5	O		
6	O		

f. 
MSc. Diana Calero Consuegra
Validador/a

CC. 1800887927





ANEXO 7
LENGUAJE

		LENGUAJE	
		A= ADECUADO	I= INADECUADO
ITEMS	C	OBSERVACIONES	
1	A		
2	A		
3	A		
4	A		
5	A		
6	A		

f. 
MSc. Diana Galero Constegra
Validador/a

CC. 1800887927





ANEXO 1

SOLICITUD A EXPERTOS PARA VALIDACIÓN

Quito, Diciembre 10 del 2014

Doctor
Héctor Luis Laurencio Alfonso
DOCENTE DE LA MAESTRÍA EN GESTIÓN DE ENERGÍAS
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

Presente

De mi consideración:

A través del presente expreso un cordial y efusivo saludo, a la vez; conocedor de su alta capacidad profesional, me permito solicitar de la manera más comedida, su valiosa colaboración en la VALIDACIÓN DEL INSTRUMENTO (Voltaje necesario para el funcionamiento de un destilador eléctrico: Voltímetro) a utilizarse para mi investigación sobre: **“Diagnóstico del consumo de energía eléctrica en el proceso de destilación de agua en los Laboratorios de Ciencias de la Vida de la Universidad Politécnica Salesiana, Sede Quito, Campus Girón, durante el año 2014. Implementación de un destilador solar térmico”.**

Mucho agradeceré seguir las instrucciones que se anexan al presente: matriz de operacionalización de variables, los objetivos, instrumentos y los formularios.

Por la atención favorable al presente, anticipo mis más sinceros agradecimientos de alta consideración y estima.

Atentamente,

WILLIAM GIOVANNY QUITIAQUEZ SARZOSA
RESPONSABLE DE LA INVESTIGACIÓN



ANEXO 5

RELACIÓN ENTRE VARIABLES, DIMENSIONES, INDICADORES E ÍTEMS

RELACIÓN ENTRE VARIABLES, DIMENSIONES, INDICADORES E ÍTEMS		
P = PERTINENTE		NP = NO PERTINENTE
ITEMS	A	OBSERVACIONES
1	P	
2	P	
3	P	
4	P	
5	P	
6	P	

f. 
PhD. Héctor Luis Laurencio Alfonso
Validador/a

P: E088800



ANEXO 6

CALIDAD TÉCNICA Y REPRESENTATIVIDAD

CALIDAD TÉCNICA Y REPRESENTATIVIDAD			
O= OPTIMA	B= BUENA	R= REGULAR	D= DEFICIENTE
ITEMS	B	OBSERVACIONES	
1	<input type="radio"/>		
2	<input type="radio"/>		
3	<input type="radio"/>		
4	<input type="radio"/>		
5	<input type="radio"/>		
6	<input type="radio"/>		

f. 
PhD. Héctor Luis Laurencio Alfonso
Validador/a

P: E088800



ANEXO 7
LENGUAJE

LENGUAJE		
A= ADECUADO		I= INADECUADO
ITEMS	C	OBSERVACIONES
1	A	
2	A	
3	A	
4	A	
5	A	
6	A	

f. 
PhD. Héctor Luis Laurencio Alfonso
Validador/a

P: E088800

Anexo 4. Operacionalización de las variables.

Tabla 1. Matriz de operacionalización de la variable independiente.

VARIABLE INDEPENDIENTE: Principio de funcionamiento de los destiladores para agua GFL 2004, en los Laboratorios de Ciencias de la Vida.

Concepto	Categoría	Indicadores	Ítem	Técnicas	Instrumentos
Un destilador eléctrico para agua es aquella máquina que produce agua de gran pureza, con una cantidad reducida de sólidos disueltos y un pH que puede encontrarse en el intervalo de 4-8, mediante la utilización de energía eléctrica como fuente de alimentación.	Temperatura	Temperatura en el interior del destilador solar	°K	Medición	Termómetro
	Agua de enfriamiento	Consumo de agua para el enfriamiento del equipo	m ³	Medición	Recipientes graduados
	Destilación	Producción de agua destilada	m ³	Medición	Recipientes graduados Encuesta Entrevista
	Nivel de pH	Nivel de pH en el agua destilada	adimensional	Medición	Papel Tomasol Pruebas de laboratorio

Tabla 2. Matriz de operacionalización de la variable dependiente

VARIABLE DEPENDIENTE:

Consumo de energía eléctrica

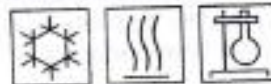
Concepto	Categoría	Indicadores	Ítem	Técnicas	Instrumentos
La energía eléctrica se puede definir como aquella forma de energía que resulta de la existencia de una diferencia de potencial entre dos puntos, dicha diferencia permite que se establezca una corriente eléctrica entre ambos cuando se los coloca en contacto por medio de un conductor eléctrico.	Potencia	Consumo de potencia	W	Medición	Vatímetro
	Diferencia de potencial	Voltaje necesario para el funcionamiento de un destilador eléctrico	V	Medición	Voltímetro
	Energía eléctrica	Consumo de energía eléctrica	kWh	Medición	Medidor eléctrico Encuesta Entrevista
	Energía eléctrica	Facturación de energía	USD	Medición	Factura eléctrica

Anexo 5. Manual del destilador GFL 2004

**Wasserdestillierapparate
Water Stills**

2002 - 2012

GFL®



**Bedienungs-
Anleitung**

**Operating
Instructions**

1. Before installation

The information given in the present manual must **by all means** be carefully read and observed. Only then can a perfect functioning of the Water Still be guaranteed.

Vital information within the manual are emphasized in bold letters.
Safety precautions are additionally marked with the following symbols



Warning of hot liquids and steam



Warning of hot surfaces



Warning of dangerous electrical voltage

A free of charge guarantee repair cannot be granted for defects due to improper installation or handling.

In order to protect the Water Stills during transport, all free openings are covered with tape. These transport protections have to be removed before installation.

2. Location of the Water Still

The unit is suitable for both bench and wall mounting. It is only suitable for **indoor** use.

If the unit is to be placed on a bench, place on solid, even and level surfaces only.

If the unit is to be mounted on a wall, check the carrying capacity of the wall in connection with the total weight of the unit (appliance plus water filling, see technical data).

There are two keyholes for wall mounting at the back of the water still. Place two fastening screws in the wall in the distance of the two keyholes and nest the still on the keyholes.

Model / Distance of screws

2002 / 40 cm	2004 / 48 cm
2008 / 64 cm	2012 / 64 cm

The unit is **not** suitable for use in explosion endangered surroundings, eg during anaesthesia with inflammable gas or steam types!

3. Voltage

Main switch of the water still must be in **OFF** position.

Mains voltage and voltage stated on the name plate at the left-hand side of the unit must be identical.

If this applies, unit can be connected.

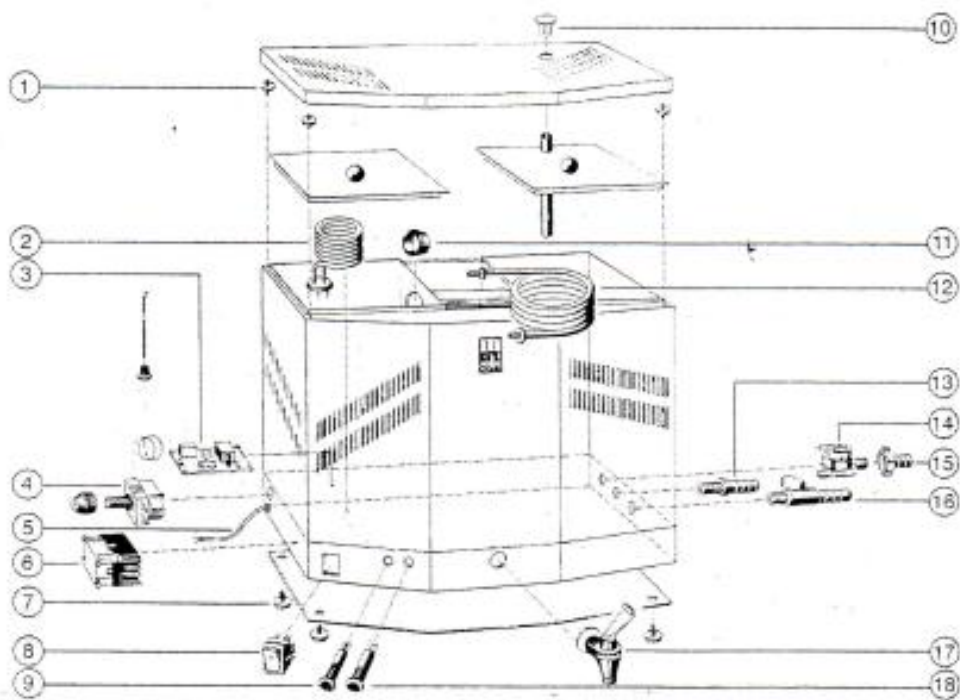
2002 – 2012 Wasserdestillierapparate – Water Stills

8. Technical Data

Exterior dimensions (W x D x H)	Model 2002- 540 x 290 x 420mm Model 2004- 620 x 330 x 460mm	Model 2008- 780 x 410 x 540mm Model 2012- 780 x 410 x 670mm
Storage tank	Model 2002- 4 litres distillate Model 2004- 8 litres distillate	Model 2008- 16 litres destillate Model 2012- 24 litres destillate
Distillation capacity	Model 2002- 2 litres / hour Model 2004- 4 litres / hour	Model 2008- 8 / h litres / hour Model 2012- 12 / h litres / hour
Distillate quality		in conformity wity DAB, bacteria and pyrogen free, low gas content.
Conductivity		approx 2,3µS/cm at 20°C
Cooling water required	Model 2002- approx 30 litres / hour Model 2004- approx 48 liters / hour	Model 2008- approx 72 litres / hour Model 2012- approx 198 litres / hour
Water pressure min / max		> 3 bar / 7 bar
Electrical connection / mains connection	Model 2002- 230V +/-10%, 50...60Hz, 1,5kW shock proof plug	Model 2008- 230V, 220V / 3 / PE or 400V / 3 / N / PE +/-10% 50...60Hz, 6,0kW Mains connection cable without plug
Caution! Mains voltage deviations, even within the mentioned limits, influence the quantity of distillate produced!	Model 2004- 230V +/-10%, 50...60Hz, 3,0kW shock proof plug	Model 2012- 220V / 3 / PE or 400V / 3 / N / PE +/-10% 50...60Hz, 9,0kW Mains connection cable without plug
Protection type / - class		I / IP20
Surrounding conditions		Only inside buildings (not in explosion endangered surroundings) up to 2000m MSL +10 °C to +40 °C max 80% rel humidity to 31°C, decreasing to 40% rel humidity at 40°C.
Height Ambient temperature Humidity		
Weight (net/with water filling)	Model 2002- 18kg / 28kg Model 2004- 22kg / 34kg	Model 2008- 36kg / 60kg Model 2012- 43kg / 73kg

11. Ersatzteilliste - List of spare parts

Pos. Nr.	Bestell-Nr.	Artikel	Article
1	25.517	Deckelführung	Lid pin
	25.437	Sicherungsring	Securing ring
2	12.227	Rohrheizkörper 1500W / 230V (für GFL-2002)	Heating element 1500W / 230V (for GFL-2002)
	12.245	Rohrheizkörper 2000W / 230V (für GFL-2008)	Heating element 2000W / 230V (for GFL-2008)
	12.247	Rohrheizkörper 3000W / 230V (für GFL-2004 / 2012)	Heating element 3000W / 230V (for GFL-2004 / 2012)
3	13.755	Elektronischer Niveauregler	Electronic level switch
4	13.415	Wassermangelsicherung	Low water cut-off
5	12.311	Netzkabel (für GFL-2002/2004)	Mains connection cable (for GFL-2002/2004)
	30.029	Netzkabel (für GFL-2008/2012 400/3/N/PE)	Mains connection cable (for GFL-2008/2012 400/3/N/PE)
	12.304	Netzkabel (für GFL-2008/2012 220/3/PE)	Mains connection cable (for GFL-2008/2012 220/3/PE)
6	12.520	Schalterschütz	Contactator
7	14.313	Gehäusefuß	Stand
8	12.426	Hauptschalter	Main switch
9	12.629	LED Signallampe rot	LED pilot lamp, red
10		Staubschutzabdeckung	Dust guard shield
11	17.427	Profildichtschnur aus Silikon	Profiled silicon sealing
12	16.214	Kühlschlange (für GFL-2002)	Cooling coil (for GFL-2002)
	16.209	Kühlschlange (für GFL-2004)	Cooling coil (for GFL-2004)
	16.215	Kühlschlange (für GFL-2008)	Cooling coil (for GFL-2008)
	16.205	Kühlschlange (für GFL-2012)	Cooling coil (for GFL-2012)
	25.232	Mutter	Nut
	17.339	Dichtung	Seal
13	15.115	Schlauchtülle für Kühlwasser	Hose spout for cooling water outlet
	15.116	Mutter	Nut
	17.316	Dichtung	Seal
14	12.505	Magnetventil	Solenoid valve
	14.212	Mengenregler 0,5 l/min (für GFL-2002)	Quantity regulator 0.5 l/min (for GFL-2002)
	14.213	Mengenregler 0,8 l/min (für GFL-2004)	Quantity regulator 0.8 l/min (for GFL-2004)
	14.215	Mengenregler 1,3 l/min (für GFL-2008)	Quantity regulator 1.3 l/min (for GFL-2008)
	14.207	Mengenregler 3,3 l/min (für GFL-2012)	Quantity regulator 3.3 l/min (for GFL-2012)
15	15.112	Verschraubung	Screwing
16	14.101	Schlauchhahn ¼ "	Hose tap ¼ "
	15.511	Sechskantmuffe ¼ "	Hexagon bushing ¼ "
	15.101	Schlauchtülle ¼ "	Hose spout ¼ "
	17.309	Dichtung	Seal
17	14.117	Destillatauslauf	Distillate outlet tap
18	12.630	LED Signallampe gelb	LED pilot lamp, yellow



Geben Sie bitte bei Ersatzteilbestellungen grundsätzlich **immer Typ und Seriennummer** des Wasserdestillierapparates an.
Please **always state model and serial no** of the water still when placing an order for spare parts!

Anexo 6. Factura de agua Universidad Politécnica Salesiana

EMPRESA PÚBLICA METROPOLITANA DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO
QUITO ALCALDIA
 RUC: 1768154260001
 MATRIZ: Av. Mariana de Jesús S/N y Alemania
 CONTRIBUYENTE ESPECIAL: Resolución No. 281 del 23 de Enero de 1997
 AUTORIZACIÓN SRI No. 1114559739
 FECHA DE EMISIÓN: 27-03-2014
 RUCIPI/PAS: 190151530001
 www.aguaquito.gov.ec - Atención al cliente: 1800-242424
FACTURA No. 001-001-004068597

CUENTA N°: 4781971561
 CLIENTE: UNIV POLITECNICA SALESIAN
 DIRECCIÓN: MADRID 1305
 PLACA PREDIAL: E12-68
 N° DE MEDIDOR: 31100473

TELÉFONO: 22466564
 CODIGO POSTAL: 170517
 SECTOR: La Floresta
 CTA. ESP. 0

CICLO	SECTOR	RUTA	MZ	SECUENCIA	PISO	DPTO.
08	016	08	007	01540	00	01

CONSUMO (M3) 822
 FACTURACIÓN Real
 N. DEP 0
 TARIFA Comercial
 SEC. ECO. 3

DESCRIPCIÓN	VALOR USD
AGUA	591.84
ALCANTARILLADO	228.45
ADMIN. CLIENTES	2.10

FECHA Y LECTURA ANTERIOR: 17-10-2014 11702
 FECHA Y LECTURA ACTUAL: 17-11-2014 12524
 MENSAJES AL CLIENTE: 0

EVOLUCIÓN DE SU CONSUMO

PERIODO	Promedio de Consumo DMQ	Promedio de Cliente
03-14	61 m ³	479 m ³
04-14		363
05-14		357
06-14		494
07-14		506
08-14		614
09-14		553
10-14		421
11-14		285
		822

MONTO SUBSIDIADO USD 0.00

Pague únicamente el monto facturado en nuestros Centros Integrales de Atención al Cliente y puntos autorizados. La EPMAPS no realiza cobros a domicilio. ¡Denuncie estos casos! Llame al 1 800 24 24 24.

B del Pichincha
 ESTIMADO CLIENTE: EL VALOR DE ESTA FACTURA SERA DEBITADO DE SU CUENTA BANCARIA

FECHA EMISIÓN: 14-11-2014
 FECHA VENCIMIENTO: 14-11-2014
 DEB. BANCARI

El Agua Potable de esta Empresa Pública tiene certificación del cumplimiento de la norma INEN 1108

VALIDO ÚNICAMENTE CON REGISTRO DE PAGO, SELLO O COMPROBANTE ELECTRÓNICO

MESES DEUDA	TOTAL A PAGAR	USD
1		822.39

IVA Tarifa 0% 0.00
 Subtotal Tarifa 0% 822.39
 IVA Tarifa 12% 0.00
 Subtotal Tarifa 12% 0.00

Anexo 7. Factura servicio eléctrico Universidad Politécnica Salesiana

EMPRESA ELÉCTRICA QUITO S.A. E.E.Q.
 Las Casas E7-24 y Av. 10 de Agosto
 R.U.C.: 170003881001
 CONTRIBUYENTE ESPECIAL
 RESOLUCIÓN N° 5368

Factura No. 001-007-001464675
 Autorización SRI: 1114100015
 Fecha de autorización: 03/01/2014
 Válida hasta: 03/01/2015

No. de Control: 796214-21
 Valor a pagar: 1,861.83

Fecha de Emisión: 19/05/2014

Fecha de Vencimiento: 05/06/2014

INFORMACIÓN DEL CONSUMIDOR

SUMINISTRO: 7962-9 UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA

Código Único Eléctrico Nacional: 1400007962 Cédula / R.U.C.: 0180151530001 Código Postal: 170517

Dirección servicio: ISABEL LA CATOLICA N24-22 PB N24B MADRID UNIVERSIDAD SALESIANA

Plan/Geocódigo: 94 98-04-044-0244 Tarifa: 719-Comerc.Dem.Reg.Horario (Baja Tension) 19/05/2014

Provincia - Cantón - Parroquia: PICHINCHA - DISTRITO METROPOLITANO QUITO - SAN BLAS

Dirección notificación: BCO. DEL PICHINCHA 3284747000 BCO. DEL PICHINCHA 1

1. FACTURACIÓN SERVICIO ELÉCTRICO Y ALUMBRADO PÚBLICO

Medidor: 90002053-LAN-HO Factor multiplicación: 1.00 Constante: 1.00
 Desde: 15/04/2014 Hasta: 14/05/2014 Días Facturados: 29 Tipo consumo: Promedio
 Factor Potencia: 0.97 Penalización Fp: 0.000000 Factor Corrección: 0.96

Descripción	LECTURAS			Unid.	Valores
	Actual	Anterior	Consumo		
07h00-22h00	777858.83	763865.40	14023	kWh	953.56
22h00-07h00	175363.87	171024.20	4360	kWh	235.44
Reactiva	221028.33	216218.20	4810	kVAh	0
Demanda 18h00 - 22h00	69.02		69	kW	0
Demanda 22h00 - 18h00	71.97		72	kW	0
Demanda Máxima			72	kW	0
Demanda Máxima en pico			69	kW	0
Demanda Facturable			72	kW	0

VALOR CONSUMO: 1,189.00

DEMANDA 289.06

COMERCIALIZACION 1.41

L.V.A.(0%) 0.00

SUBTOTAL SERVICIO ELÉCTRICO (SE): 1,479.47

SERV ALUM.PUB 155.34

SUBTOTAL ALUMBRADO PÚBLICO (AP): 155.34

TOTAL SE Y AP (1): 1,634.81

Su ahorro por la Tarifa de la Dignidad es de 0.00

2. VALORES PENDIENTES

CONCEPTO	VALOR
TOTAL VALORES PENDIENTES (2) :	0.00

Consumo

Mes

Demanda facturada

Mes

EMPRESA ELÉCTRICA QUITO S.A. E.E.Q.
 Las Casas E7-24 y Av. 10 de Agosto
 R.U.C.: 170003881001
 CONTRIBUYENTE ESPECIAL
 RESOLUCIÓN N° 5368

Factura No. 001-007-001464675
 Autorización SRI: 1114100015
 Fecha de autorización: 03/01/2014
 Válida hasta: 03/01/2015

SUMINISTRO: 7962-9 UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA

No. de Control: 796214-21
 a pagar: 1,861.83

COPIA - EMISOR

3. RECAUDACIÓN TERCEROS

ESTOS VALORES NO FORMAN PARTE DE LOS INGRESOS DE LA EMPRESA ELÉCTRICA

CONCEPTO	SUSTENTO LEGAL	VALOR
IMPUESTO BOMBEROS	Ley de Defensa Contra Incendios	5.10
TASA RECOLECCION BAS	Ordenanza Municipal	221.92
RECAUDACIÓN TERCEROS (3)		227.02

TOTAL A PAGAR

Servicio Eléctrico y Alumbrado Público(1):	1,634.81
Valores Pendientes (2):	0.00
Recaudación Terceros (3):	227.02
TOTAL (1 + 2 + 3):	1,861.83

Pagar hasta: 05/06/2014

Ejecutivo de cuenta: FANNY LUISA MENDEZ BONILLA
 Telfs: 2553010/2542860 ext: 3714
 e_mail:fmendez@eeq.com.ec

EMPRESA ELÉCTRICA QUITO S.A. E.E.Q.

RECAUDACIÓN

Anexo 8. Proforma de mantenimiento InstruLab Q



Codigo de la cotización: RFCM-30A1013	
Fecha:	30 de Octubre del 2014
Cliente:	UPS - CIVABI
Atención:	Ing. Edison Osorio
Dirección:	
Ciudad:	Quito
Telf.	
Email:	eosorio@ups.edu.ec

Ref	Descripción	Código	Cantidad	Preio Unitario US\$	Preio Total US\$
01	Mantenimiento preventivo del siguiente equipo: Equipo: Destilador de agua Marca : GFL Modelo: 2400 N/S: 109306015 Mantenimiento del sistema de eléctrico. Revisión y limpieza con ácido (provisto por el cliente) de las incrustaciones provocadas por la dureza del agua en los componentes del sistema de destilación. Pruebas de funcionamiento de medición de conductividad antes y después del mantenimiento.				140.00
	Nota importante: Si algún equipo requiere trabajo de reparación, se cotizará y facturará por separado, previa la autorización del cliente				
				Subtotal	140.00
				12% IVA	16.80
				TOTAL	156.80

El valor esta cotizado en **dólares americanos**.

Validez de la oferta: 30 días a partir de la presente fecha.
 Tiempo de entrega: 5 - 10 días luego de recibir la orden de compra.
 Garantía: 3 meses en los trabajos realizados.
 Forma de pago: Contra-entrega
 Atentamente

Ing. Richard Fernández
Servicio Técnico

1 | Dirección: Rumipamba E-1-35 y 10 de Agosto /Edificio Vanderbilt/ of 204
 Telefax: (02) 352-03-40 / (02) 510-39-89/ 09-3702301 email: ventas@instrulabq.com / serviciotecnico@instrulabq.com

Anexo 9. Fotografías del destilador solar térmico

Después de realizar los planos y la elaboración del esquema del destilador en el software se procederá a la construcción del destilador solar.

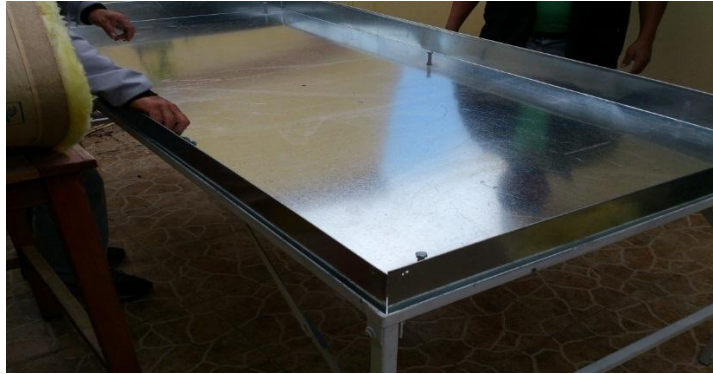


Figura A 9.1. Ensamble del destilador parte inferior



Figura A 9.2. Ensamble de la bandeja con los canales



Figura A 9.3. Ensamble de la lana de vidrio



Figura A 9.4. Vista frontal del destilador solar para agua



Figura A 9.5. Destilador ensamblado y listo para funcionar.



Figura A 9.6. Funcionamiento del destilador

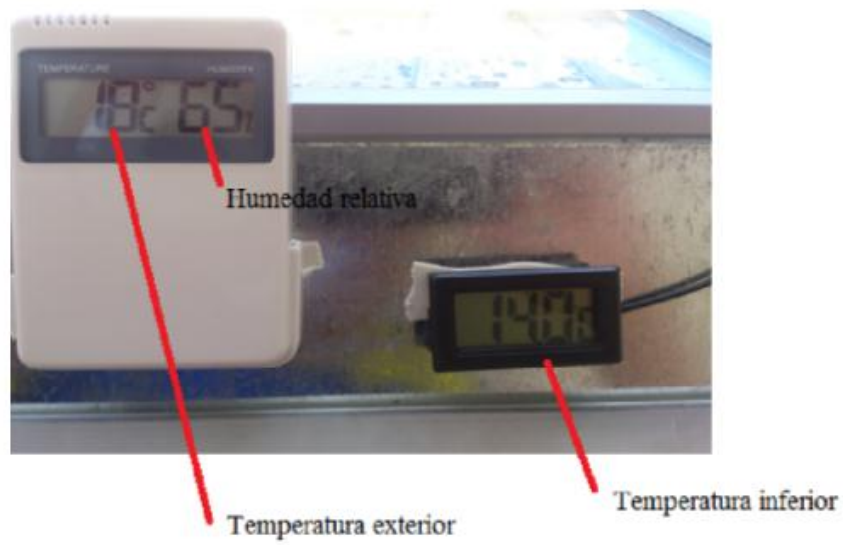


Figura A 9.7. Termómetros instalados en el destilador

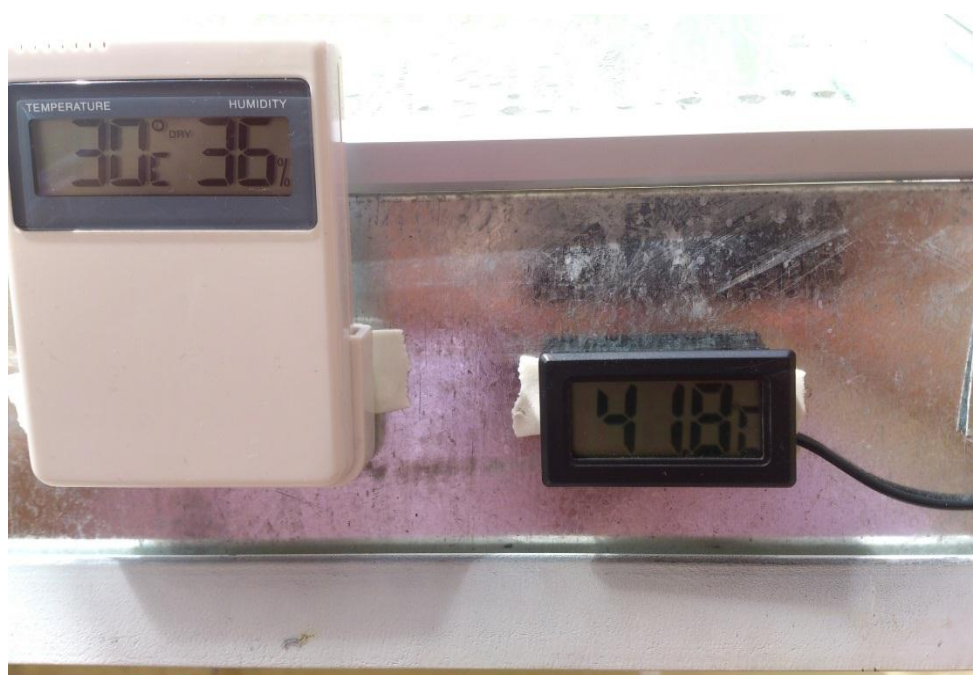


Figura A 9.8. Termómetros instalados en el destilador 2

Anexo 10. Análisis de resultados (2015-02-10)

Parámetro	Símbolo	Unidad	Instrumento de Medición
Temperatura ambiente	T_a	°C	Termómetro
Temperatura del vidrio	T_v	°C	Termómetro tipo pistola
Temperatura del agua	T_w	°C	Termómetro tipo sonda
Volumen inicial de agua en el destilador	V_o	l	Recipientes Graduados
Volumen final de agua en el destilador	V_f	l	Recipientes Graduados
Volumen de agua destilada	V_d	l	Recipientes Graduados
Humedad relativa	H_r	%	Medidor de Humedad

Medición	Intervalo de tiempo (min)	T_a (°C)	T_v (°C)	T_w (°C)	H_r (%)	V_o (l)	V_f (l)	V_d (l)
1	10:00 - 10:15	18	18,6	16,2	65	10		
2	10:15 - 10:30	18	19,1	18,3	63			
3	10:30 - 10:45	20	23,4	19,7	62			
4	10:45 - 11:00	21	23,4	20,7	59			
5	11:00 - 11:15	21	27,6	24,2	58			
6	11:15 - 11:30	21	28,9	28,6	56			
7	11:30 - 11:45	25	30,4	32,3	53			
8	11:45 - 12:00	25	31,3	36,4	49			
9	12:00 - 12:15	28	35,4	39,5	47			
10	12:15 - 12:30	28	36,1	42,1	47			
11	12:30 - 12:45	30	36,5	44,3	45			0,2
12	12:45 - 13:00	30	36,9	46,4	44			
13	13:00 - 13:15	30	37,2	46,9	44			
14	13:15 - 13:30	29	37,4	48,8	38			
15	13:30 - 13:45	30	38,1	49,6	38			
16	13:45 - 14:00	30	38,2	49,8	36			
17	14:00 - 14:15	30	38,9	50,4	34			
18	14:15 - 14:30	30	39,2	50,8	30			
19	14:30 - 14:45	29	39,4	51,1	29			
20	14:45 - 15:00	29	39,8	51,8	29			
21	15:00 - 15:15	31	40,1	52,6	29			
22	15:15 - 15:30	31	40,5	52,9	27			
23	15:30 - 15:45	29	41,1	53,4	26			
24	15:45 - 16:00	30	41,6	53,9	26		8,1	0,5

Anexo 11. Proceso de Construcción (Software Inventor)

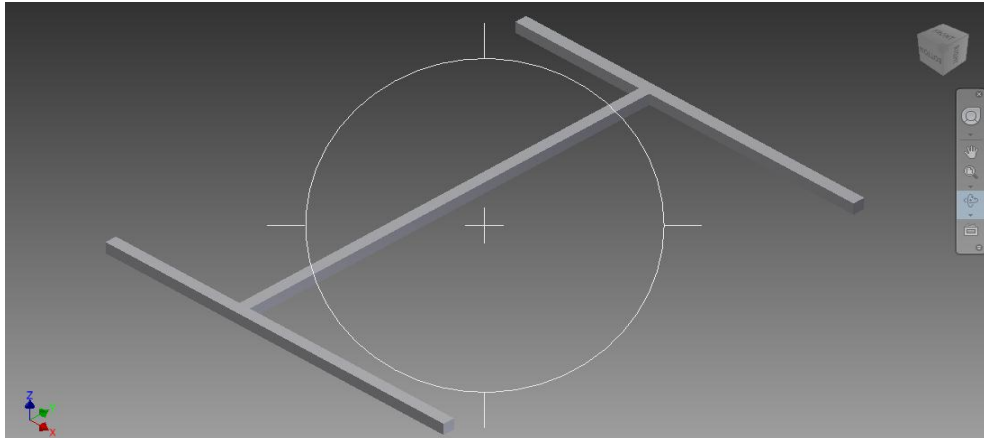


Figura A 11.1. Estructura inferior (patas)

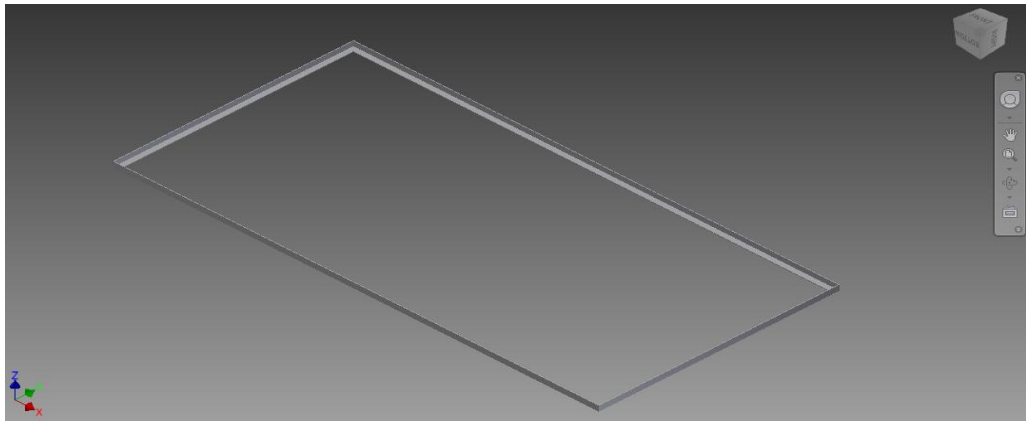


Figura A 11.2. Marco inferior

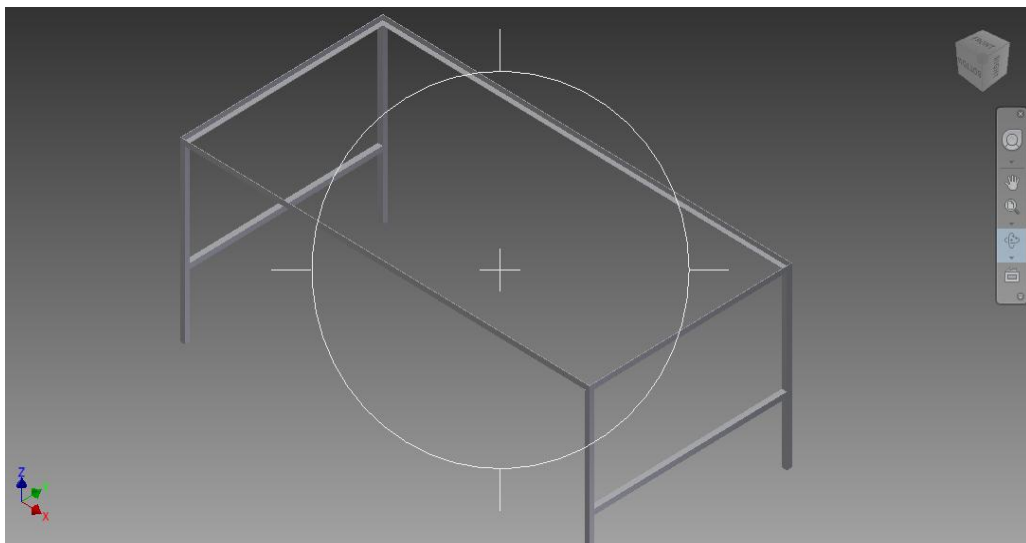


Figura A 11.3. Ensamble del marco inferior con las patas del destilador

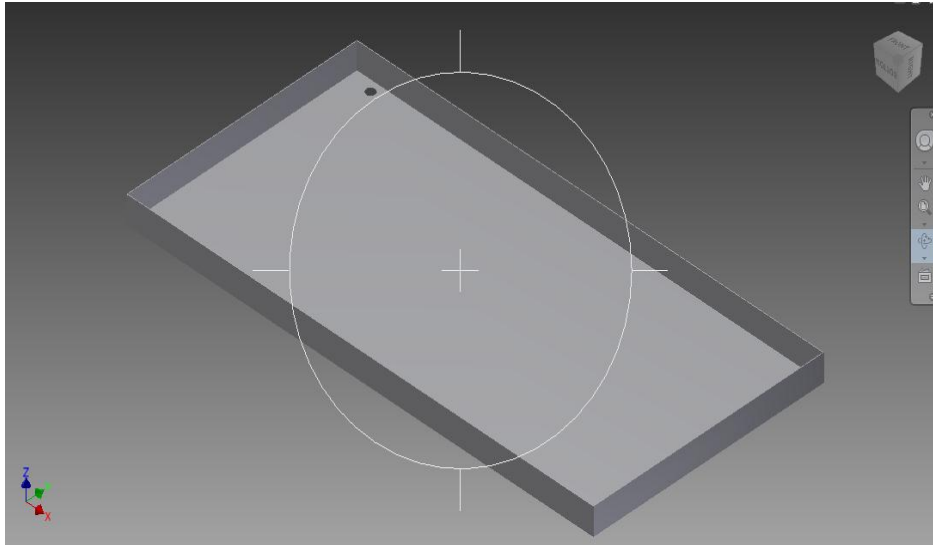


Figura A 11.4. Bandeja exterior de tol

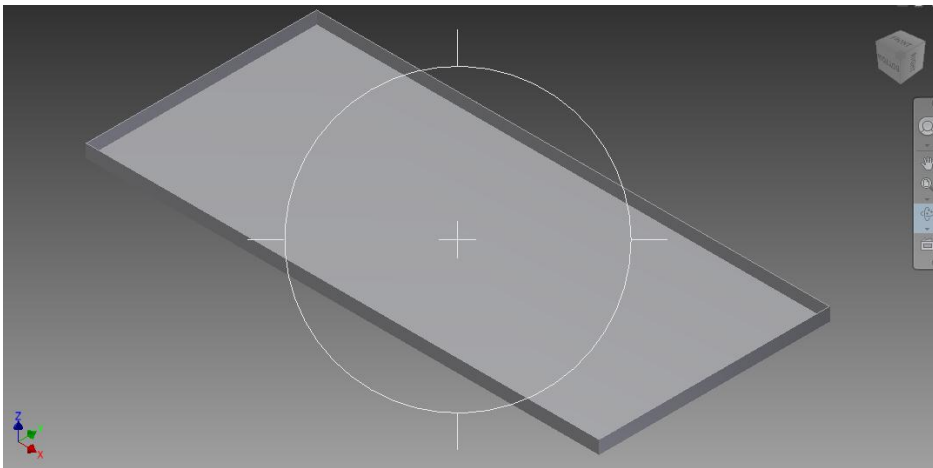


Figura A 11.5. Bandeja exterior de tol

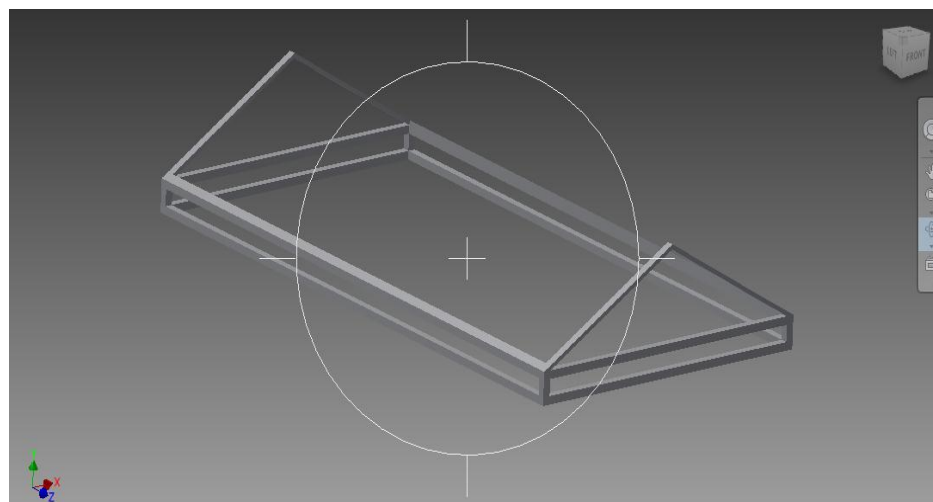


Figura A 11.6. Bandeja exterior de tol

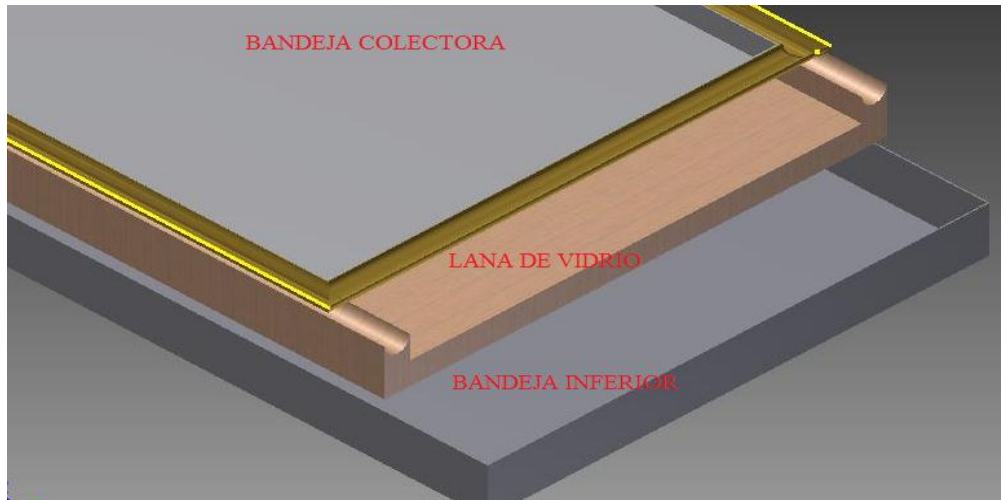


Figura A 11.7. Montaje de la lana de vidrio

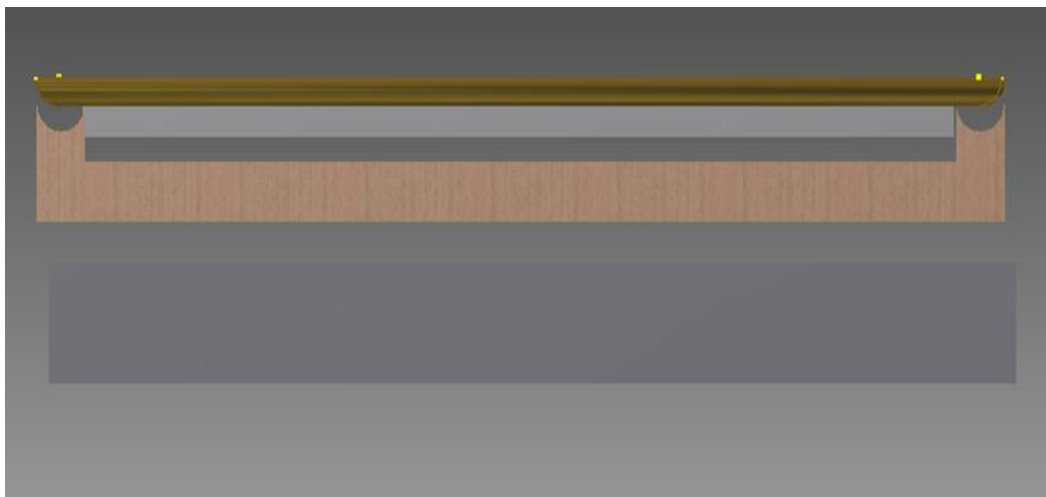


Figura A 11.8. Montaje de la lana de vidrio vista frontal

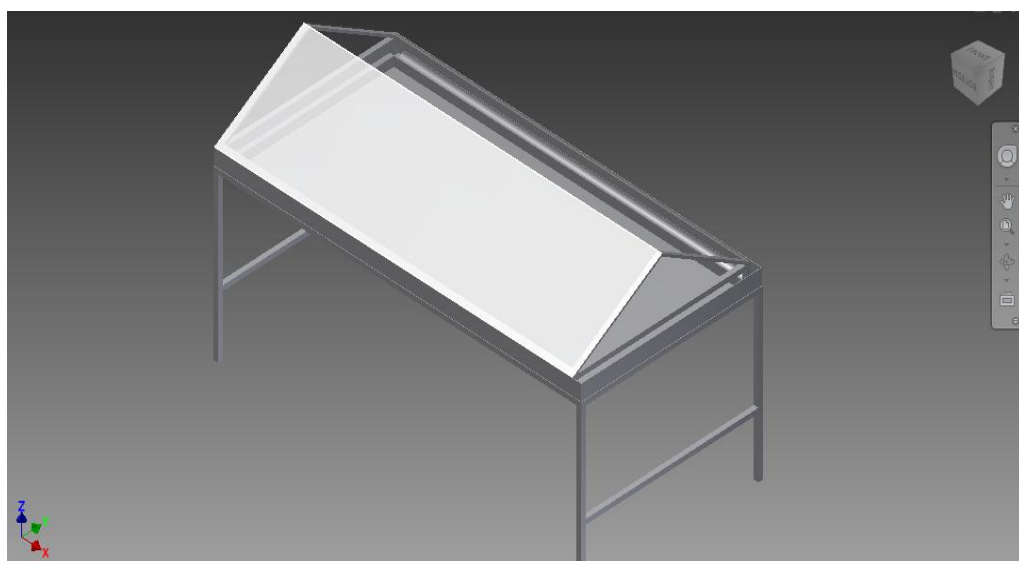


Figura A 11.9. Ensamble del destilador solar tipo caseta

CRONOGRAMA DE MANTENIMIENTO

DATOS GENERALES

EMPRESA	U.P.S.	NOMBRE	Destilador solar
DEPARTAMENTO	CIVABI	MODELO	
SECCION		SERIE	

CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO DE UN DESTILADOR SOLAR TIPO CASETA

SEMANAS

ITEM	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Recarga de agua	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Estado de la cubierta	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Estado de los canales de recolección	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Estado de la estructura soporte	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Estado del exterior del equipo	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Verificar bisagras				▲				▲				▲				▲				▲				▲
Verificar zonas con corrosión				▲				▲				▲				▲				▲				▲
Pintar exterior del equipo				▲				▲				▲				▲				▲				▲

DIARIO	○
SEMANAL	□
MENSUAL	▲
TRIMESTRAL	◻

REVISION	
CAMBIO	
LLENADO	
PINTURA	