



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN DESTILADOR SOLAR PARA
AGUAS RESIDUALES EN LA CIUDAD DE RIOBAMBA

Trabajo de titulación presentado para optar por el título de:
INGENIERA EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL

AUTORA: ANDREA VALERIA SABANDO ÁLVAREZ
TUTOR: DR. GERARDO LEÓN CHIMBOLEMA

Riobamba - Ecuador

2017

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: El trabajo técnico: **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN DESTILADOR SOLAR PARA AGUAS RESIDUALES EN LA CIUDAD DE RIOBAMBA”**, de responsabilidad de la Señorita Andrea Valeria Sabando Álvarez, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del trabajo de titulación, quedando autorizada su presentación.

Dr. Gerardo León

.....

.....

**DIRECTOR DEL TRABAJO
DE TITULACIÓN**

MSc. Juan Carlos González

.....

.....

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

©2017, Andrea Valeria Sabando Álvarez

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de la Autora.

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Yo, Andrea Valeria Sabando Álvarez, declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autora, asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación.

Riobamba, 22 de febrero del 2017

.....
Andrea Valeria Sabando Álvarez
C.I. 060333974-8

Yo, Andrea Valeria Sabando Álvarez soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en este trabajo de titulación y el patrimonio intelectual del trabajo de titulación pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

ANDREA VALERIA SABANDO ÁLVAREZ

DEDICATORIA

A Dios porque gracias a él todo se logra.

A mi madre Belisa, hermanas (Alexita y Viky) por su amor infinito que fueron necesarios para poder seguir adelante y alcanzar esta meta y sueño planteado.

A mi padre donde esté siempre lo recordaré con ternura y amor.

A mis profesores por cultivar en mi nuevos conocimientos.

A mis amigos Mishel, Jean Pierre, Pamela, Robert, Damián, Iván, Alejandra por ver compartido una vida de universidad que jamás olvidare.

Andrea Valeria.

AGRADECIMIENTO

A Dios por haberme permitido crecer y estar rodeado de una familia extraordinaria, gracias por la salud, la paciencia, el coraje y el conocimiento, que fueron indispensables para poder alcanzar este sueño.

A mi mami por ser mi principal pilar para lograr lo que soy hoy, por su paciencia y cariño que siempre me entrega.

A mis hermanas que siempre de alguna manera me ayudan.

A mis amigos y compañeros por ser cómplices de todas las locuras y travesuras que realizamos a lo largo de toda la carrera.

A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo mi querida universidad que me llenó de conocimientos y me formó como un profesional de calidad y, a todos mis profesores, quiénes de alguna u otra manera permitieron realizar esta investigación.

A Ginita por hacer que mi vida universitaria fuese más interesante ya que día a día sigue entregándome conocimientos en el laboratorio.

Al Dr. Gerardo por la ayuda, paciencia que ha tenido conmigo y sobre todo por sus instrucciones que supieron guiarme para llegar a culminar mi trabajo.

Al personal de la Estación Meteorológica ubicada en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo por verme abierto las puertas y verme entregado datos para la realización del presente trabajo.

En realidad faltan varias personas que me ayudaron en la realización del equipo y en la recolección de datos.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL	viii
INDICE ABREVIATURAS	xii
ÍNDICE ECUACIONES	xiv
ÍNDICE FIGURAS	xv
ÍNDICE MAPAS	xvi
ÍNDICE TABLAS	xvii
RESUMEN	xviii
SUMMARY	xix
INTRODUCCIÓN	1
ANTECEDENTES	3
JUSTIFICACIÓN	4
OBJETIVOS	6
General	
Específicos	
CAPÍTULO I	
1 MARCO TEÓRICO REFERENCIAL	7
1.1 Agua residual	7
1.1.1 Características del agua residual	7
1.1.1.1 Características físicas	7
1.1.1.2 Características químicas	9
1.1.1.3 Características biológicas	10
1.1.2 Tipos de agua residual	10
1.2 Tecnologías para el tratamiento del agua	11
1.3 Energía solar	12
1.3.1 Ventajas, desventajas y aplicaciones	12
1.4 Destiladores solares	12
1.4.1 Principales partes de un destilador solar	13
1.4.2 Destilación	14
1.4.3 Evaporación	15
1.4.3.1 Temperatura y cantidad de calor en la evaporación	15
1.4.3.2 Factores que influyen a la evaporación	16
1.4.4 Condensación	16

1.4.5	Modelos de Destiladores Solares	17
1.5	Factores que interfieren en la destilación solar	19
1.6	Variables secundarias en la radiación solar	20
1.6.1	Intensidad de radiación solar en Ecuador	20
1.6.2	Declinación solar (δ)	21
1.6.3	Ángulo horario (ω_s)	21
1.6.4	Número de horas de sol teóricas(N)	21
1.6.5	Número de horas de luz solar real(nr)	22
1.6.6	Constante solar (G_{sc})	22
1.6.7	Radiación extraterrestre diaria sobre una superficie horizontal (H_o)	22
1.6.8	Radiación solar diaria promedio terrestre sobre una superficie horizontal(H)	23
1.6.9	Índice de claridad(KT)	23
1.6.10	Radiación solar difusa horaria en una superficie horizontal(Hd)	24
1.6.11	Radiación solar directa horaria en una superficie horizontal(Hb)	24
1.6.12	Factor de cambio de ángulo de incidencia en el transcurso del día(Rb)	25
1.6.13	Estimación de la radiación solar en una superficie inclinada (HT)	25
1.6.14	Radiación directa sobre una superficie inclinada(HbT)	25
1.6.15	Radiación difusa sobre una superficie inclinada(HdT)	26
1.6.16	Radiación reflejada por el suelo (HrT)	26
1.6.17	Cálculo de la energía solar disponible para la transferencia de calor y masa	27
1.6.18	Transferencia de calor por conducción (qc)	28
1.6.19	Resistencia térmica de las paredes del aislante (R_{eq})	28
1.6.20	Coeficiente de calor convectivo (hct)	29
1.6.21	Resistencia térmica equivalente del aislante (kb)	29
1.6.22	Transferencia de calor por radiación en el vidrio (qrg)	30
1.6.23	Temperatura del cielo (T_s)	30
1.6.24	Calor perdido por convección del vidrio (qcg)	31
1.6.25	Calor perdido por radiación del agua (qrw)	31

1.6.26	Calor perdido por convección del agua (qcw)	31
1.6.27	Calor perdido por evaporación (qe)	33
1.7	Normativa ambiental aplicable	35
CAPÍTULO II		
2	MARCO METODOLÓGICO	37
2.1	Metodología	37
2.1.1	Localización de la experimentación	37
2.1.2	Diseño del destilador solar para agua residual	37
2.1.2.1	Procedimiento	38
2.1.3	Construcción del destilador solar	38
2.1.3.1	Materiales	38
2.1.4	Pruebas experimentales del destilador solar para tratar el agua residual	40
2.1.4.1	Recolección del agua residual para la destilación	40
2.1.4.1.1	Materiales	40
2.1.4.1.2	Procedimiento	41
2.1.4.2	Pre tratamiento del agua residual domestica-industrial para el destilado	41
2.1.4.3	Caracterización inicial del agua residual	41
2.1.4.3.1	Muestreo inicial del agua residual	42
2.1.4.3.2	Análisis inicial de la muestra de agua residual	42
2.1.4.4	Prueba de Destilación	43
2.1.4.4.1	Materiales	43
2.1.4.4.2	Equipo	43
2.1.4.4.3	Procedimiento	43
2.1.4.5	Caracterización intermedia del agua destilada	44
2.1.4.5.1	Muestreo intermedio del agua destilada	44
2.1.4.5.2	Materiales	45
2.1.4.5.3	Procedimiento	45
CAPÍTULO III		
3	ANÁLISIS DE DISCUSIÓN DE RESULTADOS	46

3.1	Análisis y discusión de resultados	46
3.1.1	Localización de la experimentación	46
3.1.2	Lugar del muestreo	47
3.1.3	Destilador solar	49
3.1.4	Parámetros físicos de los días de destilación del agua	50
3.1.4.1	Datos obtenidos de los parámetros físicos de los días de destilación del agua del punto de descarga de “El Batán”	50
3.1.4.2	Datos obtenidos de los parámetros físicos de los días de destilación del agua residual del punto de descarga de la “Familia Amaguayo-Sánchez”	52
3.1.4.3	Datos obtenidos de los parámetros físicos de los días de destilación del agua residual del punto de descarga de la “Empresa TEIMSA”	53
3.1.5	Caracterización del agua residual antes y después del tratamiento	54
3.1.5.1	Datos obtenidos de la caracterización del agua residual del punto de descarga de “El Batán”	54
3.1.5.2	Cálculos para conocer el funcionamiento del destilador	62
3.1.5.3	Costo de construcción del destilador solar para aguas residuales	78
	CONCLUSIONES	80
	RECOMENDACIONES	82
	BIBLIOGRAFIA	
	ANEXOS	

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

d	Día
ESPOCH	Escuela Superior Politécnica de Chimborazo
h	Hora
Kg/L	Kilogramos sobre litro
Kg/m ³	Kilogramos sobre metros cúbicos
Kg/m ² .d	Kilogramos sobre metros cuadrados por día
mg/L	Miligramos sobre litro
m	Metros
SST	Sólidos suspendidos totales
%	Porcentaje
π	Pi
DBO	Demanda Bioquímica de Oxígeno
DQO	Demanda Química de Oxígeno
T _{w_e}	Temperatura de entrada del agua
T _w	Temperatura media del agua
T _a	Temperatura ambiente
T _g	Temperatura media del vidrio
T _b	Temperatura de la bandeja colectora
P _w	Presión del agua
P _{w_v}	Presión del vidrio
X1	Espesor plancha de acero inoxidable
X2	Espesor plancha de lana de vidrio
X3	Espesor plancha de hierro tol
K1	Coefficiente de conductividad térmica. Acero inoxidable
K2	Coefficiente de conductividad térmica. Lana de vidrio
K3	Coefficiente de conductividad térmica. Hierro
V	Velocidad promedio del viento
ϵ_g	Emisividad del vidrio
ϵ_w	Emisividad del agua
ϵ_b	Emisividad del acero inoxidable (material de la bandeja colectora)
\emptyset	Latitud
ρ_a	Densidad del aire
C _{pa}	Calor específico del aire
Λ	Calor latente de evaporación

PT	Presión total
Eg	Espesor del vidrio
ρ_g	Densidad del vidrio
V	Volumen del agua a destilar
Cpg	Calor específico del vidrio
Cpw	Calor específico del agua
ρ_w	Densidad del agua
Hr	Humedad relativa
PM aire	Peso molar del aire
PM agua	Peso molar del agua
ha	Coficiente convectivo de transferencia de calor del aire
hw	Coficiente convectivo de transferencia de calor del agua
σ	Constante de Stefan- Boltzman
T _{dp}	Temperatura de rocío
P	Valor del albedo (suelo desnudo)

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1-1.	Declinación solar (δ)	21
Ecuación 2-1.	Ángulo horario (ω_s)	21
Ecuación 3-1.	Número de horas de sol teóricas(N)	22
Ecuación 4-1.	Radiación extraterrestre diaria sobre una superficie horizontal (H_o)	23
Ecuación 5-1.	Radiación solar diaria promedio terrestre sobre una superficie horizontal (H)	23
Ecuación 6-1.	Índice de claridad (KT)	23
Ecuación 7-1.	Radiación solar difusa horaria en una superficie horizontal (H_d)	24
Ecuación 8-1.	Radiación solar directa horaria en una superficie horizontal (H_b)	24
Ecuación 9-1.	Estimación de la radiación solar en una superficie inclinada (H_T)	25
Ecuación 10-1.	Factor de cambio de ángulo de incidencia en el transcurso del día (R_b)	25
Ecuación 11-1.	Radiación directa sobre una superficie inclinada (H_{bT})	26
Ecuación 12-1.	Radiación difusa sobre una superficie inclinada (H_{dT})	26
Ecuación 13-1.	Radiación reflejada por el suelo (H_{rT})	26
Ecuación 14-1.	Cálculo de la energía solar disponible para la transferencia de calor y masa(G_s)	27
Ecuación 15-1.	Transferencia de calor por conducción (q_c)	28
Ecuación 16-1.	Resistencia térmica de las paredes del aislante (Req)	28
Ecuación 17-1.	Coeficiente de calor convectivo (hct)	29
Ecuación 18-1.	Resistencia térmica equivalente del aislante (kb)	29
Ecuación 19-1.	Transferencia de calor por radiación en el vidrio (q_{rg})	30
Ecuación 20-1.	Temperatura del cielo (T_s)	30
Ecuación 21-1.	Calor perdido por convección del vidrio (q_{cg})	31
Ecuación 22-1.	Calor perdido por radiación del agua (q_{rw})	31
Ecuación 23-1.	Calor perdido por convección del agua (q_{cw})	31
Ecuación 24-1.	Coeficiente de transferencia de calor por convección del agua (hT)	32
Ecuación 25-1.	Coeficiente de radiación efectivo (hR)	32
Ecuación 26-1.	Coeficiente natural (hC)	32
Ecuación 27-1.	Calor perdido por evaporación (q_e)	33
Ecuación 28-1.	Coeficiente de calor evaporativo (he)	33

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1.	Metodos de purificación del agua	11
Figura 2-1.	Principales partes de un destilador solar	14
Figura 3-1	Destilación simple	14
Figura 4-1.	Evaporación en la naturaleza	15
Figura 5-1.	Condensación	16
Figura 6-1.	Comportamiento de las radiaciones	27
Figura 7-1.	Resistencias térmicas conectadas	29
Figura 1-3.	Parámetros físicos de los días de destilación del agua del punto de descarga de “El Batán”	51
Figura 2-3.	Parámetros físicos de los días de destilación del agua del punto de descarga de la “Familia Amaguayo-Sánchez”	52
Figura 3-3.	Parámetros físicos de los días de destilación del agua del punto de descarga de la “Empresa TEIMSA”	53
Figura 4-3.	Curvas de comportamientos de los parámetros físicos durante la destilación.	55
Figura 5-3.	Curvas de comportamientos de los parámetros químicos durante la destilación	55
Figura 6-3.	Curvas de comportamientos de los parámetros microbiológicos durante la destilación	56
Figura 7-3.	Curvas de comportamientos de los parámetros físicos durante la destilación	57
Figura 8-3.	Curvas de comportamientos de los parámetros químicos durante la destilación	58
Figura 9-3.	Curvas de comportamientos de los parámetros microbiológicos durante la destilación	58
Figura 10-3.	Curvas de comportamientos de los parámetros físicos durante la destilación	60
Figura 11-3.	Curvas de comportamientos de los parámetros químicos durante la destilación	61
Figura 12-3.	Curva de comportamiento del parámetro químico durante la destilación	61

ÍNDICE DE MAPAS

Mapa 1-3.	Ubicación del destilador solar, Estación Meteorológica ESPOCH	46
Mapa 2-3	Ubicación punto de descarga de “El Batán”	47
Mapa 3-3.	Ubicación punto de descarga de la “Familia Amaguayo-Sánchez”	48
Mapa 4-3.	Ubicación punto de descarga de la “Empresa TEIMSA”	49

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1.	Modelos de destiladores solares	17
Tabla 2-1.	Día representativo de cada mes	20
Tabla 3-1.	VARIABLES Y CONSTANTES PARA EL CALCULO DE TRANSFERENCIA DE CALOR	34
Tabla 4-1.	Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce	35
Tabla 1-2.	Análisis de muestra del agua residual inicial	42
Tabla 1-3.	Datos obtenidos de la caracterización del agua residual del punto de descarga de “El Batán”	54
Tabla 2-3.	Datos obtenidos de la eficiencia de remoción de contaminantes del agua residual del punto de descarga de “El Batán”	56
Tabla 3-3.	Datos obtenidos de la caracterización del agua residual del punto de descarga de la “Familia Amaguayo-Sánchez”	57
Tabla 4-3.	Datos obtenidos de la eficiencia de remoción de contaminantes del agua residual del punto de descarga de la “Familia Amaguayo-Sánchez”	59
Tabla 5-3.	Datos obtenidos de la caracterización del agua residual del punto de descarga de la “Empresa TEIMSA”	60
Tabla 6-3.	Datos obtenidos de la eficiencia de remoción de contaminantes del agua residual del punto de descarga de la “Empresa TEIMSA”	62
Tabla 7-3.	Costo de construcción del destilador solar	78
Tabla 8-3.	Costo de los análisis de laboratorio de las aguas residuales	79

RESUMEN

El objetivo de la investigación fue diseñar y construir un destilador solar para el tratamiento de aguas residuales, en la ciudad de Riobamba, el mismo que se instaló en la estación meteorológica ubicada en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Se realizó el análisis de investigaciones realizadas para identificar procesos similares y establecer los parámetros de diseño y ecuaciones para obtener los valores teóricos y usarlo en la posterior construcción. Se utilizó acero inoxidable de calidad para uso en alimentos, en la construcción de la bandeja y canales que van a alojar el agua residual a ser tratada, para evitar contaminación de minerales provenientes de este material, la base se hizo de hierro por lo que no se necesitaba un material tan resistente siendo el soporte solo para la lana de vidrio que funcionó como aislante térmico para mantener una temperatura casi constante durante la destilación, la cubierta se realizó en vidrio de un espesor de 4 líneas a un ángulo de 30° de inclinación para obtener una buena recepción de la radiación solar y mediante esa inclinación se obtuvo el agua tratada por la condensación en el vidrio, la construcción se llevó a cabo en un taller en la ciudad de Riobamba. Se realizaron 3 distintas pruebas con tres tipos de aguas residuales (domestica-industrial, domestica e industrial). Se evaluó los parámetros más representativos físicos (turbiedad y color), químicos demanda bioquímica de oxígeno y demanda química de oxígeno (DBO₅ y DQO) y microbiológicos (coliformes fecales y totales). Como valores de referencia para establecer el cumplimiento de normas se tomó la tabla 10 del libro 6 del TULSMA. Los resultados conseguidos permitieron concluir que el destilador solar tiene eficiencias; para aguas residuales (industrial y domestica) del 89.96%, agua residual domestica del 94.28% y de aguas residuales industriales del 99.31% de disminución de contaminantes, demostrando que el destilador solar es un método eficiente para tratar aguas residuales. Se recomienda utilizar volúmenes bajos de agua para una mayor eficiencia en tiempo de la destilación y un lavado previo al destilador para evitar contaminación al momento de cambiar el agua a destilar.

Palabras claves:

<BIOTECNOLOGÍA> <INGENIERÍA AMBIENTAL> <DESTILADOR SOLAR>
<AGUA RESIDUAL> <AGUA TRATADA>

SUMMARY

The objective of the research was to design and construct a solar distiller for the waste water treatment, in the city of Riobamba, the same one that was installed in the meteorological station located at Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. The analysis of research was carried out to identify similar processes and establish the design parameters and equations to obtain the theoretical values and use it in the subsequent construction. Quality stainless steel was adapted for food use, in the construction of the tray and canals that will house the waste water to be treated, to avoid contamination of minerals from this material, the base was made of iron so it was not necessary such a resistant material being the support only for the glass wool that functioned as thermal insulation to maintain an almost constant temperature during the distillation, The cover was made in glass of a thickness of 4 lines at an angle of 30 ° of inclination to obtain a good reception of the solar radiation and by that inclination the water treated by the condensation in the glass was obtained, The construction was carried out in a workshop in the city of Riobamba. Three different tests were implemented with three types of wastewater (domestic-industrial, domestic and industrial).The most representative physical parameters (turbidity and color), chemicals, biochemical oxygen demand and chemical oxygen demand (BOD₅ and COD) as well as microbiological (fecal and total coliforms) were evaluated. Table 10 of book 6 of TULSMA, (Unified Text of the Secondary Legislation of the Ministry of Environment) was taken as reference values to establish the enforcement of standards. The obtained results allowed concluding that the solar distiller has efficiencies; for waste water (industrial and domestic) of 89.96%, domestic wastewater of 94.28% and industrial wastewater of 99.31of reduction of pollutants, demonstrating that solar distillation is an efficient method to treat wastewater. It is recommended to use low volumes of water for a greater efficiency in the time of the distillation and a previous wash to the distiller to avoid contamination when changing the water to be distilled.

Key Words:

<BIOTECHNOLOGY> <ENVIRONMENTAL ENGINEERING> <SOLAR DISTILLER>
<WASTEWATER> <TREATED WATER>

INTRODUCCIÓN

Es por todos conocido que el agua como uno de los recursos de la naturaleza está en constante movimiento, este fenómeno natural es conocido como Ciclo del Agua o Ciclo Hidrológico, en este proceso el agua cambia de estado físico, de líquido a gaseoso por evaporación y nuevamente vuelve a ser líquido por condensación estos cambios de estado y de ubicuidad del agua se producen gracias a la presencia de cambios de temperatura, la energía requerida para la evaporación, es suministrada por el sol en forma constante y el cambio de temperatura para la condensación se genera por el viento en la atmosfera, este conjunto de procesos permite la renovación de la calidad del agua en la naturaleza, o lo que podríamos decir una de las formas de autodepuración, ya que el momento de la evaporación los contenidos en sustancias minerales y biológicas del agua se quedan en los sustratos de donde son evaporadas.

El sol es una fuente abundante y constante de energía que podemos usarla en los procesos que demanden potencia o calor utilizándola como una alternativa barata y limpia para generar calor y reproducir a nuestro favor el proceso del ciclo natural del agua como una forma de depuración de aguas contaminadas. De esta forma estamos haciendo uso de los recursos que la naturaleza nos brinda, para obtener agua limpia partiendo de aguas ya utilizadas que de otra forma irían a provocar más problemas de contaminación. Y obtenemos agua con potencial de ser utilizada en forma segura, ayudando a las poblaciones en donde el recurso de agua limpia puede ser escaso.

La accesibilidad al agua potable es un factor fundamental en los hogares y la vida diaria de las personas. Según las Naciones Unidas, “Aproximadamente una sexta parte de la población mundial carece de acceso a agua potable”.

En el Ecuador, la región que tiene más accesibilidad es la Sierra (87,4%), la cual sobrepasa el porcentaje nacional (76,5%), seguido de la región Costa (64,7%). Lo contrario sucede en la región Amazónica, que presenta la tasa más alta de hogares que no cuenta con este servicio (52%).

La Organización Mundial de la Salud (OMS) considera que la cantidad adecuada de agua para consumo humano (beber, cocinar, higiene personal y limpieza del hogar) es de 50 litros/habitante-día. A estas cantidades debe sumarse el aporte necesario para la agricultura, la industria y, por supuesto, la conservación de los ecosistemas acuáticos, fluviales y, en general, dependientes del agua dulce. Teniendo en cuenta todos estos parámetros, se considera una

cantidad mínima de 100 litros/habitante/día. El consumo medio de agua al mes en los hogares a nivel nacional es aproximadamente de 27m³, la región Amazónica consume en promedio 39,0m³ mensuales, mientras que la región Sierra consume 23,3 m³, siendo la tasa más alta y baja de consumo de agua.

Geográficamente nuestro país está ubicado en la zona de mayor abundancia de agua a nivel mundial , en esta zona existe el 40% de los recursos de agua del planeta y solo se encuentra el 10% de la población, por tanto podemos considerar que somos muy afortunados en manejar grandes cantidades de agua, pero esta misma abundancia ha provocado que no afrontemos el problema de la depuración de las aguas servidas como una prioridad, como lo es en otras regiones del planeta y consecuentemente ente proceso hace también que nuestro desarrollo tecnológico sea limitado, pues no buscamos o desarrollamos alternativas de transformación de las aguas negras y grises para reutilizarlas.

El problema es más grave en los países en desarrollo, arrojamos a los ríos y a la superficie, más del 90 % de los desechos urbanos sin procesar y el 70 % de los desechos industriales sin tratar se vierten en aguas superficiales, como advierte el folleto informativo oficial difundido por la ONU.

En cuanto al saneamiento básico, el ritmo actual de los progresos en los países en vías de desarrollo, es demasiado lento para que se alcance la meta de los ODM (Objetivos Del Milenio) a nivel mundial. En 2012, 2500 millones de personas no tenían acceso a instalaciones de saneamiento mejoradas, y 1000 millones de estas personas todavía practican la defecación al aire libre. Por lo tanto la falta de agua limpia es uno de los problemas que amenaza actualmente a la humanidad sobre todo en los países pobres. Existen estadísticas de las Naciones Unidas que para el año 2025 habrá una gran escasez de agua para 2700 millones de personas y en la actualidad alrededor de 77 millones de personas en Latinoamericano no tiene acceso al agua potable.

El agua es un recurso natural limitado cuya cuantía disminuye con el pasar de los años. Por esta razón, se debería realizar cambios en los hábitos del uso y su manejo en los hogares basados en el ahorro y la sensibilización de que este recurso natural es limitado, tomando conciencia de que debemos utilizar la cantidad necesaria evitando desperdicios y garantizando el bienestar de nuestras futuras generaciones. Y a nivel de los gestores de la sociedad es decir los gobiernos locales, se deben hacer los esfuerzos necesarios para implementar de manera eficiente sistemas de depuración de las aguas servidas, estos procesos deben incluir los tratamientos convencionales y también dar apertura a las nuevas formas y criterios de depuración del agua.

Con pensamiento innovador se plantea el presente trabajo de tratamiento de aguas residuales, en el que se describe las etapas que se realizaron para obtener el sistema de destilación solar y las variables que se tomaron en cuenta como la evaporación, condensación, viento, cantidad de horas del sol al día y las demás como temperaturas externas e internas. Se dio como alternativa de purificación del agua mediante el uso de la energía solar, para el calentamiento del sistema haciendo que el ambiente interno del destilador tenga un efecto invernadero, logrando así la destilación.

ANTECEDENTES

Las aguas residuales domesticas en el país son escasamente tratadas antes de devolverlas al ambiente, son pocas las ciudades que realizan el proceso de depuración de sus aguas aunque, esta sea una de las competencias asignadas en la Constitución de la Republica a los Gobiernos Autónomos (GAD's) tanto cantonales como parroquiales y que deben ser controladas por el Ministerio del Ambiente, sin embargo el nivel de cumplimiento no es efectivo. Dentro de los procesos de depuración de aguas residuales se pueden encontrar en su mayoría sistemas de tratamientos biológicos como las lagunas de estabilización como las que operan en la ciudad de Cuenca, otros procesos de depuración utilizan los métodos anaeróbicos como os tanques inhoff y bio-reactores, que operan con volúmenes de menos cuantía y generalmente se los ubica para zonas puntuales, hay experiencias también de los lechos de infiltración o humedales y en zonas rurales se utilizan sistemas de depuración menores como los tanques sépticos. Estos sistemas han sido los métodos tradicionales para el tratamiento de las aguas negras y grises, sin que su aplicación sea general como ya se había mencionado. Son pocas las experiencias de uso de sistemas de depuración a través de los procesos de destilación de este tipo de aguas, seguramente no incentivados por el gasto energético que pueden ocasionar, sin embargo es un proceso que puede ser muy fácil de implementar y haciendo uso de fuentes no tradicionales de energía como la energía solar, se puede dar lugar a este tratamiento sin gasto energético de fuentes de combustión y con una elevada eficiencia en cuanto a la cantidad de agua generada limpia, y a la calidad del agua resultante del procesos de destilación.

Actualmente no son muchas las experiencias que se han implementado con este tipo de metodología sin embargo aquí se exponen algunos ejemplos de estos:

El primer destilador solar registrado en la historia es el de Chile que abastecía alrededor de 23000 Litros al día de agua dulce con una duración de funcionamiento de 40 años; en Argentina se aplicó este equipo con aguas contaminadas con arsénico aunque se tiene un cierto rechazo a

nuevas tecnologías de utilización de energía solar en la zona rural: en Venezuela se aplicó el equipo para la desalinización de agua para determinar su eficiencia y su posible implementación a escala de las poblaciones rurales con problemas de aguas salobres.

En Ecuador tenemos algunos ejemplares como en:

Quito en la Universidad Politécnica Salesiana “Diseño y construcción de un destilador solar para agua de una capacidad de 200 mL/día para los laboratorios del CIVABI” se obtuvo una eficiencia del 35% se obtuvo 1 L/día aproximadamente agua destilada.

Machala en la Universidad Técnica de Machala “Destilador solar para potabilizar el agua para una familia de 3 a 4 personas en el sitio bajo alto, cantón el Guabo, Provincia de el Oro” se obtuvo una producción de 3 L/día.

Sangolquí en la Escuela Politécnica del Ejercito “Diseño y construcción de un destilador solar de aguas residuales para el laboratorio de Energías Renovables-DECEM” se obtuvo una eficiencia de 22% se obtuvo 2 L/día.

Para una buena obtención de agua destilada se requiere las mejores condiciones climáticas para una eficiencia alta.

JUSTIFICACIÓN

La creciente necesidad de agua para abastecer el consumo de una población cada día va en aumento y demandante de mayores cantidades de agua, exige la sociedad nuevas formas de comportamiento en cuanto al uso más eficiente del agua, este criterio tiene que ver con consumir agua limpia en forma austera y además de tratar el agua ya usada para volverla útil en el menor tiempo posible y destinarla a usos adecuados con su calidad. Como todos sabemos la cantidad de agua en el planeta es una sola y su disponibilidad cada día es más limitada por todos los procesos de contaminación que el desarrollo de la sociedad promueve, por tanto es necesario implementar todos los procesos de depuración posibles a este recurso y enfocarse fundamentalmente en aquellos métodos que no contaminen más y que tengan un gasto energético bajo para no crear nuevos problemas ambientales.

Los procesos tradicionales de tratamiento de aguas residuales en conjunto pueden resultar muy costosos y requieren de espacios amplios para su aplicación, por ese motivo se ha contemplado la necesidad de buscar nuevos mecanismos para tratar estos contaminantes en mejores

condiciones tanto económicas como ambientales, y en este sentido surge la inquietud de estudiar el comportamiento de un sistema de depuración de aguas residuales implementando un procedimiento de destilación utilizando para ello la energía solar, de esta forma estaremos propiciando un sistema eficiente.

Este tipo de tratamiento es oportuno de emplear en la zona de la sierra central en donde las horas de heliofanía al día son de 8 a 10 por tanto la disponibilidad de energía es abundante, además se considera muy oportuno la aplicación de esta metodología en sectores puntuales de la zona rural donde la implementación de sistemas de alcantarillado y depuración centralizada no existen. El agua que se obtiene de este tipo de tratamiento es de buena calidad y puede utilizarse sin inconveniente alguno en el uso pecuario y agrícola.

El costo de la implementación de un sistema de depuración por destilación solar es bajo se requiere de la inversión inicial para la construcción del sistema de pre-tratamiento físico y la construcción del destilador, luego el procesos de mantenimiento bajo.

Con la demostración fehaciente de conversión del agua sucia en agua limpia con un procesos sencillo de destilación, se quiere incidir también en el cambio la mentalidad de la ciudadanía ya que conocerá otra tecnología alternativa eficiente e innovadora utilizando solamente energía solar y también el convencimiento de como el agua que está contaminada puede volver a tener las características de agua limpia y poder ser utilizada nuevamente.

En el presente trabajo se contó con la ayuda de la Estación Meteorológica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo que ofreció el espacio físico para la colocación del destilador solar y el aporte de los datos meteorológicos necesarios que complementan el trabajo tanto de manera científica.

La investigación es factible por cuando los gastos asume la investigadora, que además cuenta con personal adecuado para el proyecto tanto en forma teórica, practica y para la construcción adecuada del equipo. La realización del proyecto es viable ya que donde se tomara las muestras es de fácil acceso y con los permisos de los beneficiarios.

El equipo no genera ruido es de un diseño compacto, eficaz, de fácil mantenimiento y limpieza ya que sus dimensiones son pequeñas, utiliza energía renovable siendo un equipo ecológico.

OBJETIVOS

General

- Diseñar y construir un destilador solar para el tratamiento de aguas residuales.

Específicos

- Caracterizar física, química y microbiológica, el agua residual provenientes de tres fuentes de descarga (domesticas, industrial, mezcla domestica-industrial).
- Dimensionamiento, diseño y construcción del destilador solar.
- Evaluar la eficiencia del destilador solar en base a la caracterización de las aguas residuales antes y después del tratamiento de destilación.

CAPÍTULO I

1 MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

1.1 Agua residual

El agua residual es una parte líquida formada de residuos, creada por una población después de haber sido manipulada para un fin determinado. (Metcalf & Eddy, 1996, p. 1)

1.1.1 *Características del agua residual*

Las características más relevantes a considerar son las siguientes:

Características físicas: Color, densidad, olor, sólidos, temperatura y turbiedad.

Características químicas: Demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno y potencial hidrogeno.

Características biológicas: Microorganismos patógenos. (Metcalf & Eddy, 1996, pp. 53-58)

La constitución del agua residual depende del origen y el tiempo de retención antes de la desembocadura.

1.1.1.1 *Características físicas*

- **Color**

El color varía de acuerdo al tiempo de recorrido del agua residual por el sistema de alcantarillado, normalmente comienza con un color gris pasa a un gris oscuro de acuerdo a su paso y al final llega a un color negro esto es por las condiciones que casi siempre son anaeróbicas por las tuberías. (Metcalf & Eddy, 1996, p. 72)

El agua residual puede mostrar dos tipos de color:

- **Color aparente:** El color aparente es el producido por la incorporación de sustancias en solución coloidales y por materiales en suspensión al agua residual. (Castillo Reinoso & Guerra Huilca, 2014, p. 14)
- **Color verdadero:** El color verdadero es el producido al momento que se elimina la turbidez del agua residual. (Castillo Reinoso & Guerra Huilca, 2014, p. 14)

- **Conductividad**

La conductividad del agua es una medida para conocer su habilidad de transportar corriente eléctrica, depende de la cantidad de sustancias disueltas ionizadas en el agua y de su temperatura ya que esta puede modificar la conductividad. El valor de la conductividad se usa en análisis de agua para obtener un valor estimado del contenido de sólidos disueltos. (Calidad del Agua, Jairo Alberto Romero Rojas, 2002, p. 74)

- **Olor**

El olor es provocado por los gases expulsados por la descomposición de materia orgánica y por ende es desagradable dando así esta característica. (Metcalf & Eddy, 1996, p. 63)

- **Sólidos**

Es la porción sólida comprendida en el agua residual.

En el agua residual puede distinguirse varios tipos de sólidos como:

- **Sólidos totales disueltos:** Los sólidos disueltos corresponden a material filtrable normalmente están compuestos por moléculas orgánicas e inorgánicas y también por iones en disolución. (Metcalf & Eddy, 1996, p. 59)
- **Sólidos totales en suspensión:** Los sólidos suspendidos corresponden al material no filtrable obtenido después de someter al agua a un proceso de filtrado. (Metcalf & Eddy, 1996, p. 60)

- **Turbiedad**

La turbiedad es una medida muy importante de la transmisión de luz en el agua, se mide de acuerdo a la “*comparación entre la intensidad de luz dispersada en la muestra y la intensidad registrada en una suspensión de referencia*”. (Metcalf & Eddy, 1996, p. 73)

1.1.1.2 Características químicas

- **Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)**

La demanda bioquímica de oxígeno (DBO) es un parámetro que demuestra la cantidad de oxígeno disuelto consumido por los microorganismos para oxidar o degradar del agua residual toda la materia orgánica presente. (Metcalf & Eddy, 1996, p. 80)

El análisis mayormente utilizado para determinar este parámetro es llamando demanda bioquímica de oxígeno en 5 días (DBO5) lo que quiere decir es que el análisis tiene un periodo de 5 días a una temperatura de 20°C, para conocer sus resultados. (Metcalf & Eddy, 1996, p. 80)

- **Demanda química de oxígeno (DQO)**

La demanda química de oxígeno (DQO) es un parámetro que calcula el contenido de materia orgánica, es decir determina la cantidad de oxígeno disuelto consumido por el agua residual durante su proceso de oxidación mediante la ayuda de agente químicos que apresuran el proceso de la reacción. (Metcalf & Eddy, 1996, p. 93)

- **Potencial hidrógeno**

El potencial hidrogeno (pH) es un parámetro que determina el grado de acidez o alcalinidad que presenta una sustancia, aquel valor puede afectar considerablemente la vida de los microorganismos.

En el agua residual para lograr un tratamiento eficiente requiere que el valor del pH se lo más cercano a neutro lo cual debe fluctuar entre los valores de 6.5 a 8.5 UpH. (Metcalf & Eddy, 1996, p. 93)

1.1.1.3 *Características biológicas*

- **Microorganismos patógenos**

Los microorganismos patógenos presentes en un agua residual son los principales causantes de enfermedades y se encuentran en un número considerable.

Los principales microorganismos presentes son:

- **Bacterias:** Las bacterias forman la agrupación más importante de microorganismos unicelulares, anaerobios, facultativos o aerobios, que actúan en los procesos de transformación y estabilización de la materia orgánica. (Romero Rojas, 2002, p. 191)
- **Hongos:** Los hongos son microorganismos eucarióticos “*aerobios, multicelulares, no fotosintéticos*” que descomponen y degradan el carbono, obteniendo su alimento de materia orgánica descompuesta. (Metcalf & Eddy, 1996, p. 104)
- **Virus:** Los virus son partículas constituidas por ADN o RNA, revestido por proteínas, atacan a una célula viva, cuando la célula infectada muere emite una alta cantidad de virus hacia las otras células, siempre requieren de un huésped para desarrollarse. (Romero Rojas, 2002, p. 195)

1.1.2 *Tipos de agua residual*

El tipo de agua residual se caracteriza por su procedencia y la composición de la misma.

Los tipos de aguas residuales más comunes son:

- **Agua residual urbana o doméstica**

El agua residual doméstica es la generada en los hogares, edificios comerciales, derivada de las actividades cotidianas de los domicilios como cocinar, lavar, bañarse y otras. Las aguas residuales domésticas pueden ser combinaciones de aguas negras, aguas lluvias, aguas grises. La composición y carga contaminante en el agua residual doméstica es heterogénea, por lo que ninguna población es igual ni tiene las mismas costumbres ni la cantidad de habitantes. (Romero Rojas, 2002, p. 17)

- **Aguas negras**

Es el agua residual resultante de inodoros, son aquellas que transportan excrementos humanos y fluidos corporales como la orina altas en cantidades de solidos suspendidos, nitrógeno y coliformes fecales. (Romero Rojas, 2002, p. 17)

- **Aguas grises**

Es el agua residual resultante de tinas, duchas, lavamanos y lavadoras, contenidas de jabones y detergentes aportantes de DBO, solidos totales disueltos, grasas, fosforo y coliformes fecales, en otras palabras es una agua domestica excluyendo a las del inodoro. (Romero Rojas, 2002, p. 17)

- **Agua residual industrial**

El agua residual industrial es la generada en los procesos de empresas que cuya composición y carga contaminante es diferente a todas ya que depende de la función, tamaño, de la industria. (Romero Rojas, 2002, p. 17)

1.2 Tecnologías para el tratamiento del agua

El agua como elemento vital para la vida proviene de fuentes que con el paso de algunos años se han ido contaminando por causas antropogénicas o naturales, por lo cual se ha buscado varios métodos para la purificación de la misma para su consumo, como las siguientes:

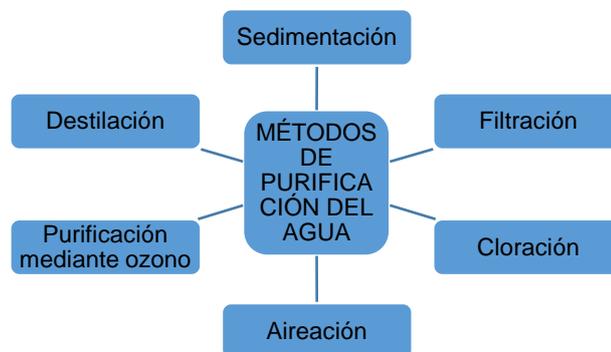


Figura 1-1. Métodos de purificación del agua

Fuente: (Marín Galvín, 2012 págs. 1,2)

Realizado por: Sabando Andrea, 2016.

1.3 Energía solar

La Energía solar es una energía renovable proveniente del sol que llega a la Tierra de forma de radiación electromagnética (calor, luz y principalmente rayos ultravioleta). Almacenando la radiación solar de forma adecuada se puede transformar en energía térmica o energía eléctrica.

En el Ecuador por su ubicación geográfica nos convierte en un país privilegiado a lo que se refiere al recurso de la energía solar. En el Ecuador el ángulo de incidencia del sol es perpendicular a la superficie en el periodo total al año lo cual, no ocurre lo mismo en otros lugares, en donde el ángulo de incidencia del sol depende de las 4 temporadas naturales en el año.

Esta ventaja de la posición del Ecuador da el resultado de que la recepción de energía solar sea mayor y constantes lo único que interrumpe el paso de esta es las condiciones climatológicas locales. (INER, 2015, pp. 2-10)

1.3.1 Ventajas, desventajas y aplicaciones

- **Ventajas:** Es una energía renovable que no contamina y su uso no proporciona grandes costes.
- **Desventajas:** Es una fuente energética intermitente ya que su dependencia es del clima y el número de horas del sol anual. En general el rendimiento energético es bajo.
- **Aplicaciones:** Las aplicaciones tienen un campo muy variado ya que puede ser utilizada mediante calentadores solares de agua, en la utilización de cocción de alimentos. Calefacción, energía eléctrica por medio de paneles solares, climatización de piscinas y purificación del agua mediante la destilación. (Baird, 2001, p. 257)

1.4 Destiladores solares

Los destiladores solares son sistemas que mediante la captación de energía solar, purifican el agua simulando el ciclo del agua como la evaporación y condensación (efecto invernadero), este proceso se lo conoce como destilación solar, ya que el agua producida de la destilación queda parcial o totalmente libre de bacterias, hongos, sales, virus y otros tipos de contaminantes.

El proceso de la destilación solar dependerá de varios factores como la velocidad del viento ya que este puede enfriar el exterior del vidrio, la intensidad de radiación solar, temperatura interior del sistema entre otros.

Existen destiladores solares que pueden ser aplicados tanto de forma industrial como domestica ya esto depende de la cantidad de agua destilada que se quiere obtener. (Santín Luna, 2004, p. 37)

1.4.1 Principales partes de un destilador solar

- **Cámara de aire:** Se ubica entre la superficie del agua (evaporador) y la superficie interna del vidrio (condensador), en esta área se encuentra un porción de aire la cual es responsable de la elevación de las partículas de agua que suben por medio de la difusión molecular. (Santín Luna, 2004, p. 46)
- **Colector solar:** Es un recipiente donde se acopia el agua a destilar, esta debe tener las debidas características físicas para la eficiencia de absorción, se necesita un aislante térmico en la base para evitar pérdidas de calor. (Santín Luna, 2004, p. 45)
- **Condensador o cubierta:** Es la superficie interna de la cubierta del destilador la cual debe ser transparente para el paso adecuado de los rayos solares, debe tener una temperatura inferior al resto de materiales del destilador y que tenga una distancia del colector para que pueda producirse el vapor de agua en la cámara de aire, logrando que la diferencia de temperaturas logre el cambio de la fase de vapor a líquido, logrando así el condensado. La eficiencia del condensador se basa en la velocidad del viento ya que es importante para la ventilación obteniendo una temperatura baja y la inclinación de la superficie que debe ser adecuada para a condensación y el despliegue de las gotas hacia el depósito del agua destilada. (Santín Luna, 2004, p. 47)
- **Elementos para la recopilación del líquido condensado:** El líquido obtenido de la destilación baja por la cubierta inclinada sin interrupción de nada para evitar la contaminación. Se utiliza conductores ubicados en la parte baja del condensador que tienen conexión cercana para receptor todo lo destilado. El producto puede ser usado para consumo humano, riego, uso en laboratorios y otros. (Santín Luna, 2004, p. 47)

- **Evaporador:** La superficie del agua opera como evaporador esto quiere decir que la temperatura en el cual se logra iniciar el proceso evaporativo, donde aumenta la presión del vapor de agua por la intensidad de la radiación solar. (Santín Luna, 2004, p. 46)

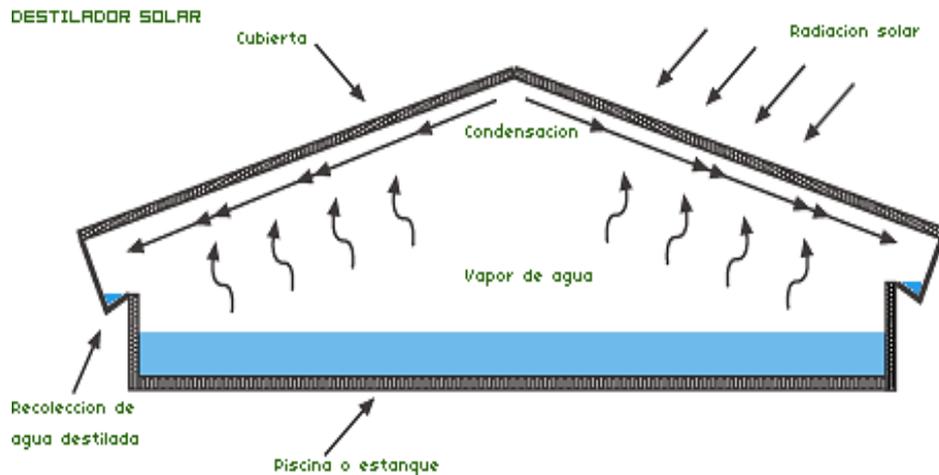


Figura 2-1. Principales partes de un destilador solar

Fuente: (Santín Luna, 2004 pág. 46)

1.4.2 Destilación

En la naturaleza, la destilación es un proceso en el ciclo del agua donde por medio del calentamiento solar se purifica el agua del planeta y pasa a la evaporación posteriormente a la condensación y por medio de la lluvia baja el agua, se simula este proceso mediante un destilador solar a escala.

La destilación es un proceso por el cual una cantidad de una sustancia ubicada en un recipiente herméticamente cerrado y conectado con el condensador en la parte superior consiste en que el vapor del agua sube y al pasar por el condensador nuevamente se convierte en líquido (sustancia destilada), el cual es recolectado en el otro extremo de condensador. (Fig 3-1) (Aguapuraysana, 2009)



Figura 3-1. Destilación simple

Fuente: (Aguapuraysana, 2009)

1.4.3 Evaporación

La evaporación es el proceso físico donde el agua cambia de estado líquido a gaseoso. En la naturaleza se da mediante la radiación solar que proporciona energía a las moléculas de agua para el cambio de estado. En la superficie terrestre todo tipo de agua está expuesta a la evaporación.

La superficie evaporante debe tener la capacidad suficiente para receptor el vapor de agua generado esto se llama poder evaporante en la atmosfera.

El proceso de evaporación comienza por el movimiento continuo de las moléculas de agua, cuando llegan a la superficie el líquido aumenta su temperatura por la radiación solar y también su velocidad, la cual crece su energía cinética hasta que algunas logran liberarse de la atracción de las moléculas adyacentes y pasan a convertirse en vapor. Entonces la capa de aire pasa inmediatamente en la superficie a saturarse de humedad. (Castro, 2012 págs. 1,4)

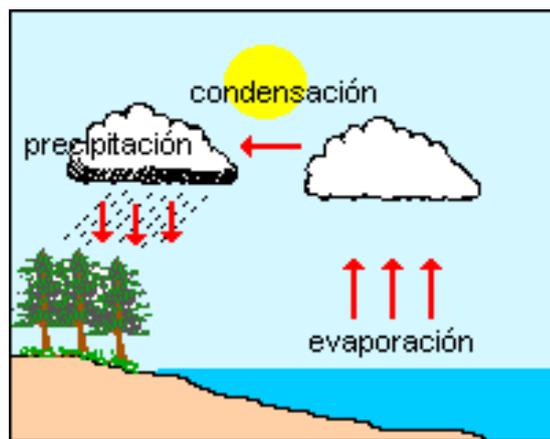


Figura 4-1. Evaporación en la naturaleza

Fuente: (Castro, 2012 pág. 3)

1.4.3.1 Temperatura y cantidad de calor en la evaporación

La evaporación del agua se produce a temperaturas de 0 y 100°. El calor se incorpora al líquido para que incremente su temperatura lo que se conoce como sensible. El líquido se va calentando hasta que llega a una temperatura constante, cambia su estado a vapor. (Castro, 2012 pág. 3)

1.4.3.2 Factores que influyen a la evaporación

- La concentración de una sustancia que en el aire se evapora, depende si el aire contiene una elevada concentración de la sustancia a evaporar, entonces la sustancia tardara en evaporarse.
- Si la concentración de otras sustancias saturan el aire, la capacidad de evaporar una sustancia es inferior.
- La tasa de flujo de aire es la cantidad de aire que pasa todo el tiempo sobre la sustancia, así la concentración de la misma en el aire tendrá menos posibilidades de subir con el tiempo y su evaporación será más rápida.
- La sustancia que contiene impurezas en su concentración tendrá una capacidad baja de evaporación.
- Cuando mayor son las fuerzas intermoleculares de un líquido se necesitara más energía para lograr su evaporación. (Castro, 2012 pág. 4)

1.4.4 Condensación

La condensación es la fase en el que el agua cambia de gas o vapor a líquido, sucede cuando la presión de agua (PV) es mayor a la presión de vapor de saturación (PVS). Esta fase depende de dos elementos como la presión y la temperatura.

Esta es la fase responsable de la formación de las nubes, igual del rocío que se forma en la hierba desde la noche hasta la madrugada. (Rice, 2011 pág. 17)



Figura 5-1. Condensación

Fuente: (Castro, 2012 pág. 4; Rice, 2011 pág. 18)

Los mecanismos de enfriamiento de la atmosfera pueden ser:

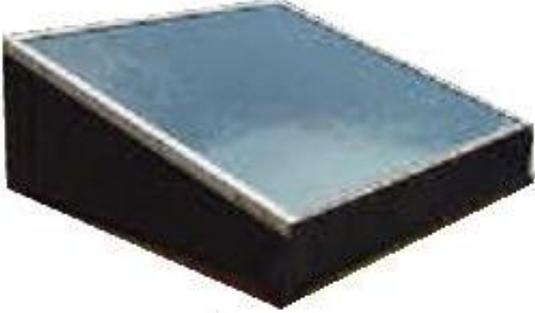
- Contacto con una superficie fría.
- Enfriamiento adiabático es el enfriamiento que se obtiene mediante la evaporación del agua en el aire; consecuentemente la temperatura seca disminuye mientras aumenta la humedad, llamado también enfriamiento por evaporación.
- Mezcla de masas de aire húmedo a distintas temperaturas.

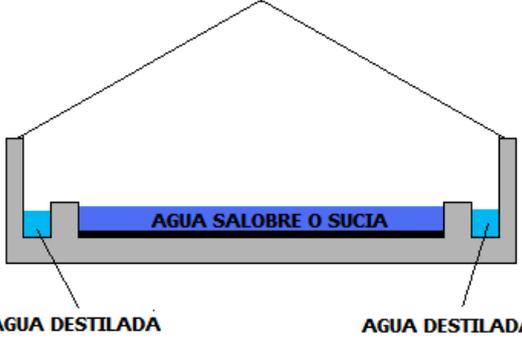
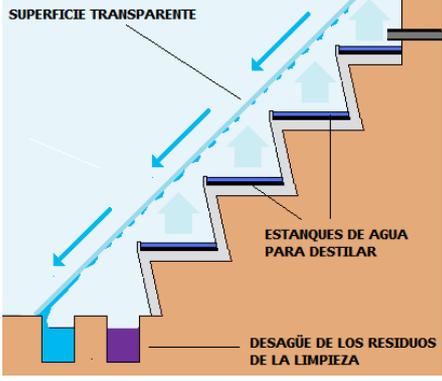
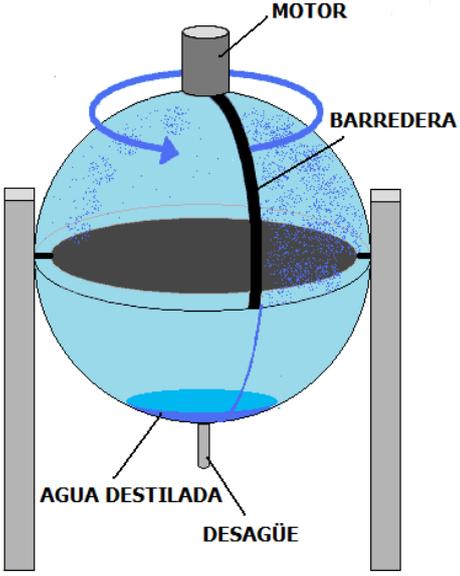
En la fase de condensación hay desprendimiento de energía igual a la del calor latente de la vaporización. Es fundamental que haya núcleos de condensación llamados partículas higroscópicas por su capacidad de absorción de humedad. Si las partículas de este tipo no existieran el agua puede persistir en forma de vapor aunque exista presión de agua (PV) > a la presión de vapor de saturación (PVS). (J. Nebel, y otros, 1999 pág. 88)

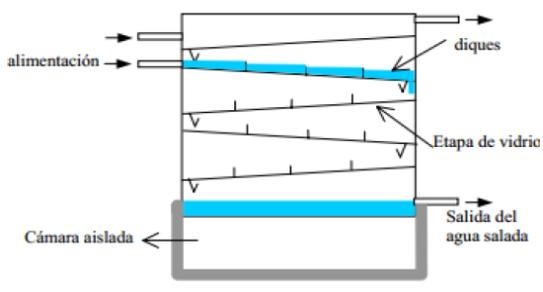
1.4.5 Modelos de Destiladores Solares

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 una mayor o menor eficiencia. (Sitiosolar pág. 1)

Tabla 1-1: Modelos de destiladores solares

CARACTERISTICAS	FIGURA
<p>Destilador solar de una vertiente</p> <p>Es el más sencillo de estructura. Es un cajón cubierto de un vidrio en forma inclinado. Fraccionada en dos sitios: el primero de base negra donde se ubica el agua a evaporar y el segundo el receptor donde se recopila el agua destilada.</p>	

<p>Destilador solar de dos vertientes</p> <p>El siguiente en complejidad estructural. Consta de un “tejado” de material transparente de dos vertientes. Las gotas de agua condensadas en la cubierta transparente se resbalan por los lados llegando a un sitio bajo la bandeja donde se coloca antes el líquido para destilar.</p>	
<p>Destilador solar de invernadero</p> <p>Destilador solar de gran tamaño. Se trata de estructuras de invernadero con un estanque de agua de escasa profundidad y con la base negro. El agua evaporada se condensa en las paredes del invernadero y se resbala hacia los receptores situados en la base de las paredes.</p>	
<p>Destilador solar de cascada</p> <p>Destilador en forma de gradas. En la parte superior de cada terraza se encuentran reservorios con fondo de color negro llenos de agua para destilar. El agua condensada sobre las terrazas se desliza hacia el receptor situado en la parte baja del destilador.</p>	
<p>Destilador solar esférico de barredera</p> <p>Tiene forma de esfera transparente que tiene una barredera para las gotas condensadas en su cara interna y que está maniobrada por un pequeño motor. En una bandeja con fondo negro situada en la parte central de la esfera se coloca el líquido a destilar. Este modelo busca la captación solar al evitar las sombras que alguna parte del destilador pueda provocar. Además la forma esférica logra mantener una mayor inercia térmica facilitando un mayor aprovechamiento del calor producido por la energía solar.</p>	

<p style="text-align: center;">Destilador solar multietapa</p> <p>Es el modelo más complejo y eficiente que emplea sistemas de colectores solares complejos (concentradores parabólicos, tubos de vacío, e incluso sistemas de placa plana de alta eficiencia) para alcanzar altas temperaturas y llevar al punto de ebullición al agua. El vapor de agua se condensa con ayuda de un refrigerante y el calor se recupera y se almacena en depósitos. Este sistema requiere ya de inversiones importantes.</p>	
---	--

Fuente (Sitiosolar págs. 1,5)

Realizado por: Sabando Andrea, 2016.

El Destilador solar de dos vertientes fue el escogido para el trabajo de titulación ya que es el modelo de captación de energía solar es en principio más eficiente que en el modelos anteriores debido por el fácil manejo, limpieza y bajo coste.

1.5 Factores que interfieren en la destilación solar

Los principales factores a considerar para la destilación solar son los siguientes:

- Temperatura ambiente

La temperatura ambiente en la que se encuentra la naturaleza esta es muy variante debido a que cambia conforme al viento, cantidad de humedad, presencia o usencia a de lluvia y más. (Comisión Nacional del Agua, 2010 pág. 9)

- Humedad relativa

La humedad relativa en el ambiente influye sobre la cantidad de agua destilada debido a que a menor humedad en el ambiente mayor cantidad de agua destilada hay o viceversa depende directamente de la temperatura ambiental ya que a mayor temperatura menor humedad relativa. (Comisión Nacional del Agua, 2010 pág. 66)

- Velocidad del viento

La velocidad del viento influye directamente en la producción de agua destilada debido a mayor velocidad del viento enfriara el vidrio y así acelera la transferencia de agua por el vidrio hacia las canaletas receptoras. (Comisión Nacional del Agua, 2010 pág. 80)

- Heliofania

La heliofania representa la duración del brillo solar y horas de sol medidas durante el día, se mide mediante una faja de papel que va quemándose para luego analizar el tiempo en que recibe la radiación solar directa. y está ubicada en el instrumento heliofanógrafo. (Hidrología, 2014 pág. 17)

1.6 Variables secundarias en la radiación solar

1.6.1 Intensidad de radiación solar en Ecuador

La medición de la radiación solar en Ecuador no se realiza en valores o parámetros de fácil comparación (W/m^2 o $W/m^2 d$), sino que se utiliza la conversión de la heliofanía a valores de radiación, se realiza a partir de modelos empíricos o teóricos que incorporan dentro de sus coeficientes los registros velocidad del viento, temperatura, ubicación geográfica, entre otras variables. (INER, 2015 págs. 2,5)

Tabla 2-1: Día representativo de cada mes

Mes	Días del mes para el calculo	Día promedio (i)	Día del mes	N
Enero	31	16	i	16
Febrero	28	14	31 + i	45
Marzo	31	16	59 + i	75
Abril	30	15	90 + i	105
Mayo	31	16	120 + i	136
Junio	30	15	151 + i	166
Julio	31	16	181 + i	197
Agosto	31	16	212 + i	229
Septiembre	30	15	243 + i	258
Octubre	31	16	273 + i	289
Noviembre	30	15	304 + i	319
Diciembre	31	16	334 + i	350

El valor n es el día representativo de cada mes, con este valor se calcula la declinación utilizando la Ec. 1-1.

Fuente: (Duffie, y otros, 2005 pág. 14)

Realizado por: Sabando Andrea, 2016.

1.6.2 Declinación solar (δ)

Delta (δ) interpreta la declinación solar al medio día con respecto al plano del Ecuador, positivo al norte. Se toma en cuenta que es cero en los equinoccios de 21 de marzo y 22 de septiembre varía cíclicamente de $+23,45^\circ$ correspondiendo al solsticio de verano en junio 22, y en el solsticio de invierno en diciembre 22 correspondiendo a $-23,45^\circ$. (Duffie, y otros, 2005 pág. 13)

$$\delta = 23.45^\circ * \sin \left[\frac{360^\circ * (284 + n)}{365} \right]$$

(Ec. 1-1.)

Dónde:

δ : Ángulo de declinación solar ($^\circ$)

n: Número de día del año

1.6.3 Ángulo horario (ω_s)

Ángulo horario es el traslado angular del sol hacia el este o al oeste del meridiano local por la rotación de la Tierra sobre su eje, $\omega < 0$ en las horas de la mañana, $\omega > 0$ en las horas de la tarde. Sucede que el ángulo al momento de la salida del sol es de $\omega = -90^\circ$ y en la puesta del mismo es de $\omega = 90^\circ$ solo cuando ocurre los equinoccios que ocurren a una hora determinada y en una fecha particular, pero en el Ecuador sucede en cualquier fecha es la excepción debido a la rotación del sol hacia el Norte en primavera y al Sur en otoño, se lo calcula por la siguiente fórmula: (Duffie, y otros, 2005 pág. 16)

$$\omega_s = \text{acos} [-\tan(\delta) \cdot \tan(\varnothing)]$$

(Ec. 2-1.)

Dónde:

δ : Ángulo de declinación solar ($^\circ$)

\varnothing : Latitud de Riobamba ($^\circ$)

1.6.4 Número de horas de sol teóricas(N)

El número de horas teóricas de sol, es la cantidad de horas útiles desde que sale el sol y se oculta, se usa como referencia en el diseño de equipos que utilizan energía solar para su funcionamiento, se calcula mediante la siguiente fórmula: (Duffie, y otros, 2005 pág. 17)

$$N = \left(\frac{2}{15}\right) * \omega_s$$

(Ec. 3-1.)

Dónde:

N: Número de horas de sol teóricas (h)

ω_s : Ángulo del ocaso (°)

1.6.5 Número de horas de luz solar real(nr)

El número de horas reales de sol en otras palabras es la cantidad de heliofania, en el mes de junio que se desarrolló la destilación se obtuvo un promedio mensual de heliofania de 3.99 horas en la práctica, como teoría existe 12 horas de luz solar de 6 am a 18:00 pm. (Duffie, y otros, 2005 pág. 17)

1.6.6 Constante solar (G_{sc})

La constante solar es el flujo de energía solar que incide sobre una superficie terrestre perpendicular por una unidad de tiempo el recurso energético proveniente del sol depende de las variaciones ambientales del planeta y no de los factores como la distancia del sol a la Tierra, diámetro del sol o de la temperatura del sol, estos factores no son relevantes ya que cada 22 años el ciclo solar cambia apenas varía con menos del 1% de sus características. Por ello la incidencia de la radiación solar sobre la Tierra es casi constante.

Su valor más exacto es dado de la NASA (Administración Aeronáutica y Espacial Nacional de Estados Unidos de América). $G_{sc} = 1353 \left(\frac{W}{m^2}\right)$. (Duffie, y otros, 2005 pág. 6)

1.6.7 Radiación extraterrestre diaria sobre una superficie horizontal (H_o)

La radiación solar extraterrestre es la radiación solar diaria que se acoge sobre una superficie Se procede acoger los valores de ω con nuestra posición, tomando en consideración el valor del ángulo de la latitud geográfica y el ángulo de la declinación δ , todos estos son constantes en un lugar y fecha específica y se prosigue a calcular mediante la siguiente formula: (Duffie, y otros, 2005 pág. 37)

$$H_o = \frac{24 * G_{sc}}{\pi} * A * B$$

$$A = \left(1 + 0,033 * \cos \frac{360 * n}{365} \right)$$

$$B = \left[\cos \varnothing * \cos \delta * \sin \omega_s + \left(\frac{\pi * \omega_s}{180} \right) * \sin \varnothing * \sin \delta \right]$$

(Ec. 4-1.)

Dónde:

G_{sc} : Constante solar

n : Número de día del año

δ : Ángulo de declinación solar (°)

\varnothing : Latitud del lugar realizada la destilación (° ' ")

ω_s : Ángulo del ocaso (°)

1.6.8 Radiación solar diaria promedio terrestre sobre una superficie horizontal(H)

La radiación solar diaria promedio es la relación entre las horas de sol y la radiación solar se necesita la relación de Angstrom-PreScott se calcula mediante la siguiente formula: (Duffie, y otros, 2005 pág. 66)

$$H = H_o * \left[(a + b) * \frac{nr}{N} \right]$$

(Ec. 5-1.)

Dónde:

a y b : Constantes de Angstrom

N : Horas de sol teóricas (h)

nr : Promedio mensual de Heliofania (h)

1.6.9 Índice de claridad(KT)

El índice de claridad es un parámetro que mide la transparencia de la atmosfera, se usa para medir la radiación, es la relación entre la radiación solar promedio y la radiación extraterrestre, se calcula mediante la siguiente formula: (Duffie, y otros, 2005 pág. 71)

$$KT = \frac{H}{H_o}$$

(Ec. 6-1.)

Dónde:

H : Radiación diaria solar promedio terrestre sobre una superficie horizontal $\left(\frac{W * h}{m^2 * d}\right)$

H_o : Radiación extraterrestre diaria sobre una superficie horizontal $\left(\frac{W * h}{m^2 * d}\right)$

1.6.10 Radiación solar difusa horaria en una superficie horizontal(H_d)

La radiación solar difusa es la recepta desde el sol y al momento de ser reflejada en la atmosfera y difundida en diferentes trayectorias, se calcula por el índice de claridad propuesto por Lui y Jordan (1960), mediante la siguiente formula: (Duffie, y otros, 2005 pág. 78)

$$H_d = H * [1.39 - (4.03 * KT) + (5.53 * KT^2) - (3.11 * KT^3)] \quad (\text{Ec. 7-1.})$$

Dónde:

H : Radiación diaria solar promedio terrestre sobre una superficie horizontal $\left(\frac{W * h}{m^2 * d}\right)$

KT : Índice de claridad

1.6.11 Radiación solar directa horaria en una superficie horizontal(H_b)

La radiación solar directa en la receptada desde el sol con una dirección sin cambio al llegar a la atmosfera., se calcula por la radiación difusa y la radiación solar diaria., mediante la siguiente formula: (Duffie, y otros, 2005 pág. 80)

$$H_b = H - H_d \quad (\text{Ec. 8-1.})$$

Dónde:

H : Radiación diaria solar promedio terrestre sobre una superficie horizontal $\left(\frac{W * h}{m^2 * d}\right)$

H_d : Radiación solar difusa horaria en una superficie horizontal $\left(\frac{W * h}{m^2 * d}\right)$

1.6.12 Factor de cambio de ángulo de incidencia en el transcurso del día (R_b)

El factor de cambio es la radiación directa sobre una superficie inclinada al promedio de la misma magnitud de una superficie horizontal. (Duffie, y otros, 2005 pág. 24)

$$R_b = \frac{\text{sen}(\delta) * \text{sen}(\phi - \beta) * (t_2 - t_1) + \frac{12}{\pi} * \cos(\delta) * \cos(\phi - \beta) * [\text{sen}(15 * t_1) - \text{sen}(15 * t_2)]}{\text{sen}(\delta) * \text{sen}(\phi) * (t_2 - t_1) + \frac{12}{\pi} * \cos(\delta) * \cos(\phi) * [\text{sen}(15 * t_1) - \text{sen}(15 * t_2)]}$$

(Ec. 9-1.)

Dónde:

β : Ángulo de inclinación de la cubierta del vidrio.

t_1 : tiempo inicial 9 (h)

t_2 : tiempo final 12 (h)

δ : Ángulo de declinación solar (°)

ϕ : Latitud del lugar realizada la destilación (° ' ")

1.6.13 Estimación de la radiación solar en una superficie inclinada (H_T)

La radiación solar total sobre una superficie inclinada β con respecto al plano inclinado, la sumatoria de las componentes de radiación solar directa, difusa, reflejada por el suelo, se calcula mediante la siguiente formula: (Duffie, y otros, 2005 pág. 103)

$$H_T = Hb_T + Hd_T + Hr_T$$

(Ec. 10-1.)

Dónde:

Hb_T : Radiación directa sobre una superficie inclinada $\left(\frac{W * h}{m^2 * d}\right)$

Hd_T : Radiación difusa sobre una superficie inclinada $\left(\frac{W * h}{m^2 * d}\right)$

Hr_T : Radiación reflejada por el suelo $\left(\frac{W * h}{m^2 * d}\right)$

1.6.14 Radiación directa sobre una superficie inclinada (Hb_T)

La radiación directa en una superficie inclinada se calcula a base de la radiación directa en una superficie horizontal y el factor de cambio, mediante la siguiente formula: (Duffie, y otros, 2005 pág. 103)

$$Hb_T = H_b * Rb$$

(Ec. 11-1.)

Dónde:

H_b : Radiación solar directa horaria en una superficie horizontal $\left(\frac{W * h}{m^2 * d}\right)$

Rb : Factor de cambio de ángulo de incidencia en el transcurso del día

1.6.15 Radiación difusa sobre una superficie inclinada (Hd_T)

La radiación difusa sobre una superficie inclinada y la de la superficie horizontal son distintas ya que la radiación difusa inclinada no mira hacia toda la bóveda, se calcula mediante la siguiente formula: (Fernández Díez pág. 22)

$$Hd_T = H_d * \left[\frac{1 + \cos(\beta)}{2} \right]$$

(Ec. 12-1.)

Dónde:

H_d : Calculo de la radiación solar difusa horaria en una superficie horizontal $\left(\frac{W * h}{m^2 * d}\right)$

β : Angulo de inclinación del vidrio ($^{\circ}$)

1.6.16 Radiación reflejada por el suelo (Hr_T)

La radiación reflejada por el suelo se mide de acuerdo a que el destilador está colocado sobre este y recibe radiación directa y difusa reflejada sobre el terreno, se calcula mediante la siguiente formula: (Fernández Díez pág. 23)

$$Hr_T = \rho * H \left[\frac{1 + \cos(\beta)}{2} \right]$$

(Ec. 13-1.)

Dónde:

ρ : Albedo

H : Radiación diaria solar promedio terrestre sobre una superficie horizontal

β : Angulo de inclinación del vidrio ($^{\circ}$)

1.6.17 Cálculo de la energía solar disponible para la transferencia de calor y masa

La energía solar es un parámetro a considerar que está disponible en el área en el cual se ejecutará el destilador solar, se deben tener en cuenta para los balances de energía. Después de calcular la energía incidente que recibe la superficie inclinada del equipo (HT); una porción se refleja, la otra se absorbe y una última es transmitida en las tres partes del destilador: el vidrio (g), el agua (w) y la bandeja colectora (c). (Duffie, y otros, 2005 pág. 643)

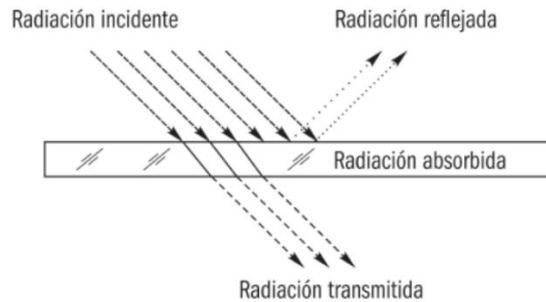


Figura 6-1. Comportamiento de las radiaciones

Fuente: (Duffie, y otros, 2005 pág. 645)

Dónde se desarrolla el siguiente proceso:

Éste equipo aprovecha la radiación directa y difusa con la finalidad de generar un proceso térmico que transfiera calor y masa.

$$G_s = H_b + H_d$$

(Ec. 14-1.)

Dónde:

H_b : Radiación solar directa horaria en una superficie horizontal. $\left(\frac{W \cdot h}{m^2 \cdot d}\right)$

H_d : Radiación solar difusa horaria en una superficie horizontal. $\left(\frac{W \cdot h}{m^2 \cdot d}\right)$

H o G_s : Radiación diaria solar promedio terrestre sobre una superficie horizontal $\left(\frac{W \cdot h}{m^2 \cdot d}\right)$

1.6.18 *Transferencia de calor por conducción (q_c)*

El equipo de destilación solar se encuentra ubicado sobre una estructura metálica elevada del suelo, debido a esto existen pérdidas de calor por conducción en la base y en las paredes; sin embargo, en las paredes la pérdida es mínima.

Se enfoca en la base del destilador, la transferencia de calor se basa en los sistemas unidimensionales a través de la pared plana compuesta y su analogía eléctrica, se calcula mediante la siguiente fórmula: (Duffie, y otros, 2005 pág. 154)

$$q_c = k_b * (T_w - T_a) \quad (\text{Ec. 15-1.})$$

Donde:

K_b : Resistencia térmica equivalente del aislante $\left(\frac{m^2 \cdot k}{W}\right)$ -

T_w : Temperatura del agua (K)

T_a : Temperatura ambiente (K)

1.6.19 *Resistencia térmica de las paredes del aislante (R_{eq})*

Para obtener el valor de q_c , se debe calcularla resistencia térmica de las paredes del aislante (R_{eq}), la base del colector del agua es de acero inoxidable y como aislante lana de vidrio para evitar la pérdida de calor, la base de la estructura donde se monta el destilador es de hierro. (Duffie, y otros, 2005 pág. 398)

$$R_{eq} = \frac{x_1}{k_1} + \frac{x_2}{k_2} + \frac{x_3}{k_3} \quad (\text{Ec. 16-1.})$$

Dónde:

x_1 : Espesor plancha acero inoxidable (m)

x_2 : Espesor plancha lana de vidrio (m)

x_3 : Espesor plancha hierro tol (m)

k_1 : Coeficiente de conductividad térmica acero inoxidable $\left(\frac{m^2 \cdot k}{W}\right)$

k_2 : Coeficiente de conductividad térmica lana de vidrio $\left(\frac{m^2 \cdot k}{W}\right)$

k_3 : Coeficiente de conductividad térmica hierro $\left(\frac{m^2 \cdot k}{W}\right)$

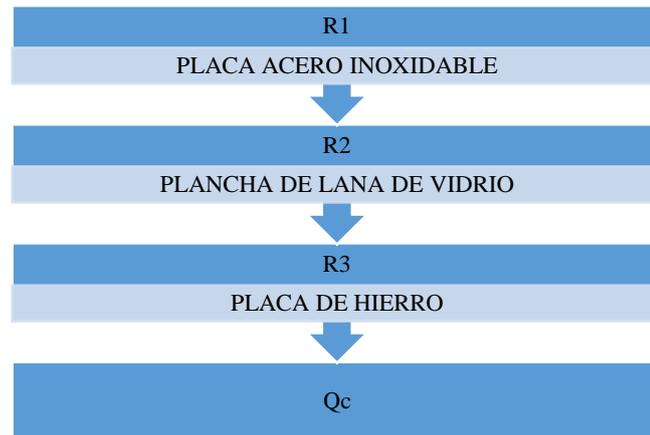


Figura 7-1: Resistencias térmicas conectadas en serie del destilador

Fuente: (Duffie, y otros, 2005 pág. 399)

Realizado por: Sabando Andrea, 2016.

1.6.20 Coeficiente de calor convectivo (hct)

Se lo realiza para calcular pérdidas de calor por convección, este depende de la velocidad del viento. (Duffie, y otros, 2005 pág. 164)

Velocidad del viento: $0 \leq v \leq 5 \left(\frac{m}{s}\right)$

$$hct = 5.7 + 3.8 * (v)$$

(Ec. 17-1.)

Dónde:

v : Velocidad del viento $\left(\frac{m}{s}\right)$

1.6.21 Resistencia térmica equivalente del aislante (k_b)

Para calcular se necesita el coeficiente convectivo de calor hct y la resistencia térmica del aislante R_{eq} . (Duffie, y otros, 2005 pág. 165)

$$k_b = \frac{1}{R_{eq} + \frac{1}{hct}}$$

(Ec. 18-1.)

Dónde:

R_{eq} : Resistencia térmica de las paredes aislantes $\left(\frac{m^2 \cdot K}{W}\right)$

h_{ct} : Coeficiente de calor convectivo $\left(\frac{W}{m^2 \cdot K}\right)$

1.6.22 *Transferencia de calor por radiación en el vidrio (q_{rg})*

La transferencia de calor por radiación en el vidrio se calcula mediante la siguiente formula:
(Duffie, y otros, 2005 pág. 168)

$$q_{rg} = \varepsilon_v * \sigma * (T_g^4 - T_s^4)$$

(Ec. 19-1.)

Dónde:

ε_v : Emisividad del vidrio

σ : Constante de Stefan Boltzman $\left(\frac{W}{m^2 \cdot K}\right)$

T_g : Temperatura del vidrio (K)

T_s : Temperatura del cielo (K)

1.6.23 *Temperatura del cielo (T_s)*

La temperatura del cielo normalmente es importante en las horas de 6 pm – 6 am ya que su temperatura regular es de -10°C . (Castilla Prados, 2007 pág. 65)

$$T_s = T_\alpha * \left(0.8 + \frac{T_{dp} - 273}{250}\right)^{0.25}$$

(Ec. 20-1.)

Dónde:

T_α : Temperatura ambiente (K)

T_{dp} : Temperatura de rocío (K)

1.6.24 Calor perdido por convección del vidrio (q_{cg})

En la cubierta del destilador compuesta de vidrio por convección se pierde calor por transferencia. Se calcula con la siguiente fórmula: (Conesa Ferrer, 2013 pág. 7)

$$\begin{aligned}q_{cg} &= h_{cv} * (T_g - T_a) \\h_{cv} &= h_{ct}\end{aligned}\tag{Ec. 21-1.}$$

Dónde:

h_{cv} : Coeficiente de transferencia de calor convectivo del vidrio $\left(\frac{W}{m^2 * K}\right)$

T_g : Temperatura del vidrio (K)

1.6.25 Calor perdido por radiación del agua (q_{rw})

Para obtener el valor de transferencia de calor por radiación entre el agua y la cubierta de vidrio del destilador se efectúa entre superficies paralelas usando la siguiente ecuación:

$$q_{rw} = \frac{\sigma}{\frac{1}{\varepsilon_w} + \frac{1}{\varepsilon_g} - 1} * (T_w^4 - T_a^4)\tag{Ec. 22-1.}$$

Dónde:

σ : Constante de Stefan Boltzman $\left(\frac{W}{m^2 * K}\right)$

ε_w : Emisividad del agua

ε_g : Emisividad del vidrio

1.6.26 Calor perdido por convección del agua (q_{cw})

Dentro del destilador el calor perdido por convección en el agua se lo calcula mediante la siguiente fórmula: (Coeficientes de transferencia de calor en enfriadores de mineral laterítico a escala piloto, 2009 pág. 10)

$$q_{cw} = h_T * (T_w - T_a)\tag{Ec. 23-1.}$$

Dónde:

h_T : Coeficiente total de transferencia de calor por convección del agua $\left(\frac{W}{m^2 \cdot K}\right)$

T_w : Temperatura del agua (K)

T_a : Temperatura ambiente (K)

Si $h_r < h_c$ se usa la siguiente ecuación para determinar el valor del coeficiente de transferencia de calor por convección del agua. (Coeficientes de transferencia de calor en enfriadores de mineral laterítico a escala piloto, 2009 pág. 10)

$$h_T = h_c + \frac{3}{4} * h_r \quad (\text{Ec. 24-1.})$$

Dónde:

h_c : Coeficiente de transferencia de calor por convección entre el agua y la cubierta $\left(\frac{W}{m^2 \cdot K}\right)$

h_r : Coeficiente de radiación efectivo $\left(\frac{W}{m^2 \cdot K}\right)$

Se necesita el valor del coeficiente de radiación efectivo (h_r), se calcula mediante la siguiente fórmula: (Coeficientes de transferencia de calor en enfriadores de mineral laterítico a escala piloto, 2009 pág. 11)

$$h_r = \frac{\varepsilon_b * \sigma * (T_g^4 - T_w^4)}{T_g - T_w} \quad (\text{Ec. 25-1.})$$

ε_b : Emisividad de acero inoxidable (bandeja colectora)

σ : Constante de Stefan Boltzman $\left(\frac{W}{m^2 \cdot K}\right)$

T_g : Temperatura del vidrio (K)

T_w : Temperatura del agua (K)

Se pierde calor por convección natural, se calcula mediante la siguiente fórmula: (Coeficientes de transferencia de calor en enfriadores de mineral laterítico a escala piloto, 2009 pág. 11)

$$h_c = 0.884 \left[(T_w - T_g) \frac{(P_w - P_{wv})}{268.9 * 10^3 - P_w} * (T_w + 273) \right]^{\frac{1}{3}} \quad (\text{Ec. 26-1.})$$

Dónde:

P_w : Presión saturada de vapor de agua a la temperatura del agua (Pa)

P_{wv} : Presión saturada de vapor de agua a la temperatura del vidrio (Pa)

T_g : Temperatura del vidrio (K)

T_w : Temperatura del agua (K)

1.6.27 Calor perdido por evaporación (q_e)

El calor perdido por evaporación es generado a partir del agua que se encuentra en el destilador, se requiere calcular el flujo de calor por evaporación mediante la siguiente formula: (FAO, 2016 pág. 1)

$$q_e = h_e * (P_w - P_v) \quad (\text{Ec. 27-1.})$$

Dónde:

q_e : Calor perdido por evaporación $\left(\frac{W}{m^2}\right)$

h_e : Coeficiente de transferencia de calor evaporativo $\left(\frac{W}{m^2 * K}\right)$

P_w : Presión de vapor del agua a la temperatura del agua (Pa)

P_v : Presión de vapor del agua a la temperatura del vidrio (Pa)

Se relaciona el coeficiente de transferencia de calor evaporativo con el coeficiente total de transferencia de calor por convección del agua h_T , se calcula mediante la siguiente ecuación: (Coeficientes de transferencia de calor en enfriadores de mineral laterítico a escala piloto, 2009 pág. 11)

$$h_e = 0.013 * h_T \quad (\text{Ec. 28-1.})$$

Dónde:

h_T : Coeficiente total de transferencia de calor por convección del agua $\left(\frac{W}{m^2 * K}\right)$

Tabla 3-1: Variables y constantes para el cálculo de transferencia de calor

Constante/Variable	Símbolo	Valor	Referencia
Temperatura de entrada del agua	T_{w_e}	16°C/289K	(Sabando Andrea, 2016)
Temperatura media del agua	T_w	35.8°C/308.95K	(INAMHI, 2016)
Temperatura ambiente	T_a	13.4°C/286.55K	(INAMHI, 2016)
Temperatura media del vidrio	T_g	22.2°C/295.35K	(Rodríguez& Saavedra, 2008, pág. 137) (Incropera&Dewitt, 1999, pág. 827)
Temperatura de la bandeja colectora	T_b	35.73 °C/308.88 K	(Sabando Andrea, 2016)
Presión del agua	P_w	9277.99 Pa	
Presión del vidrio	P_{wv}	3626.87 Pa	
Espesor plancha de acero inoxidable	X_1	0.003	(Sabando Andrea, 2016)
Espesor plancha de lana de vidrio	X_2	0.05 m	(Sabando Andrea, 2016)
Espesor plancha de hierro tol	X_3	0.002 m	(Sabando Andrea, 2016)
Coefficiente de conductividad térmica. Acero inoxidable	K_1	14.9 W/m*K	(Incropera&Dewitt, 1999, pág. 827)
Coefficiente de conductividad térmica. Lana de vidrio	K_2	0.049 W/m*K	(Incropera&Dewitt, 1999, pág. 834)
Coefficiente de conductividad térmica. Hierro	K_3	51.9 W/m*K	(Incropera&Dewitt, 1999, pág. 827)
Velocidad promedio del viento	V	1.93 m/s	(INAMHI, 2016)
Emisividad del vidrio	ϵ_g	0.23	(TESTO ARGENTINA, 2010)
Emisividad del agua	ϵ_w	0.63	(TESTO ARGENTINA, 2010)
Emisividad del acero inoxidable (material de la bandeja colectora)	ϵ_b	0.25	(TESTO ARGENTINA, 2010)
Altura		2841 msnm	(INAHMI,2016)
Latitud	\emptyset	1°38'51	(INAHMI,2016)
Densidad del aire	ρ_a	0.92 Kg/m ³	(Cirsoc, 2010)
Calor específico del aire	C_{p_a}	1.005KJ/Kg K	(Cengel & Boles, 2007)
Calor latente de evaporación	Λ	2385.66KJ/Kg K a T_w	(Klein & Alvarado, 2014, pág. 13)
Presión total	P_T	101325 Pa	(Cengel & Boles, 2007)
Espesor del vidrio	E_g	0.003	(CENSOLAR, 2010)
Densidad del vidrio	ρ_g	2700 Kg/m ³	(Cengel & Boles, 2007)
Volumen del agua a destilar	V	5 L	(Sabando Andrea, 2016)
Calor específico del vidrio	C_{p_g}	0.80KJ/Kg K	(Cengel & Boles, 2007)
Calor específico del agua	C_{p_w}	4.22 KJ/Kg K	(Cengel & Boles, 2007)
Densidad del agua	ρ_w	1000 Kg/ m ³	(Cengel & Boles, 2007)
Humedad relativa	H_r	72.5%	(INAMHI, 2016)
Peso molar del aire	PM aire	28.7 Kg/Kg mol de aire	(Cengel & Boles, 2007)
Peso molar del agua	PM agua	18.015 Kg/ Kg mol	(Cengel & Boles, 2007)
Coefficiente convectivo de transferencia de calor del aire	h_a	10 W/m ² °C	(Incropera & Dewitt, 1999)
Coefficiente convectivo de transferencia de calor del agua	h_w	3000 W/m ² °C	(Incropera & Dewitt, 1999)
Constante de Stefan- Boltzman	σ	$5.670*10^{-8} \left[\frac{W}{m^2 * K^4} \right]$	(Cengel & Boles, 2007)
Temperatura de rocío	T_{dp}	8.3 °C/ 281.5 K	(INAMHI, 2016)
Valor del albedo (suelo desnudo)	P	0.15-0.25	Energía solar y datos climáticos de Arogón

Realizado por: Sabando Andrea, 2016.

1.7 Normativa ambiental aplicable

Las aguas residuales domésticas e industriales, en nuestro país casi todas son desechadas a cuerpos de agua directamente sin ningún tratamiento y en algunas empresas tienen plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) dependiendo de sus características y composición pueden ser considerados; su regulación y control está a cargo del Ministerio del Ambiente, en función de Normas Técnicas que establecen límites y máximos permisibles de descarga.

El Libro VI Anexo1 del TULSMA establece todas las directrices y consideraciones que se deben tomar en cuenta para la descarga a un cuerpo de agua dulce. (Ambiente, 2015)

Tabla 4-1: Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Aceites y Grasas.	Sustancias solubles en hexano	mg/L	0,3
Alkil mercurio		mg/L	No detectable
Aluminio	Al	mg/L	5,0
Arsénico total	As	mg/L	0,1
Bario	Ba	mg/L	2,0
Boro total	B	mg/L	2,0
Cadmio	Cd	mg/L	0,02
Cianuro total	CN ⁻	mg/L	0,1
Cloro Activo	Cl	mg/L	0,5
Cloroformo	Extracto carbón cloroformo ECC	mg/L	0,1
Cloruros	Cl ⁻	mg/L	1 000
Cobre	Cu	mg/L	1,0
Cobalto	Co	mg/L	0,5
Coliformes Fecales	NMP	NMP/100 ml	¹ Remoción > al 99,9 %
Color real	Color real	unidades de color	Inapreciable en dilución: 1/20
Compuestos fenólicos	Fenol	mg/L	0,2
Cromo hexavalente	Cr ⁺⁶	mg/L	0,5
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	D.B.O ₅ .	mg/L	100
Demanda Química de Oxígeno	D.Q.O.	mg/L	250
Estaño	Sn	mg/L	5,0
Fluoruros	F	mg/L	5,0
Fósforo Total	P	mg/L	10,0
Hierro total	Fe	mg/L	10,0

¹ Aquellos regulados con descargas de coliformes fecales menores o iguales a 3 000, quedan exentos de tratamiento.

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Hidrocarburos Totales de Petróleo	TPH	mg/L	20,0
Manganeso total	Mn	mg/L	2,0
Materia flotante	Visibles		Ausencia
Mercurio total	Hg	mg/L	0,005
Níquel	Ni	mg/L	2,0
Nitratos + Nitritos	Expresado como Nitrógeno (N)	mg/L	10,0

Fuente: Anexo 1 Libro VI TULSMA, 2015, pp. 25.

Realizado por: Sabando Andrea, 2016.

CAPÍTULO II

2 MARCO METODOLÓGICO

2.1 Metodología

2.1.1 *Localización de la experimentación*

El presente trabajo de titulación se desarrolló en las instalaciones del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), localizado en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), en dónde se ejecutaron pruebas experimentales en el sistema de destilación.

Durante el período experimental, se realizaron una serie de análisis de control, para identificar el modo de operación del equipo y la máxima eficiencia alcanzada, en cuanto a la reducción de carga contaminante. Dichos análisis se llevaron a cabo en el Laboratorio de Calidad de Agua de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH.

2.1.2 *Diseño del destilador solar para agua residual*

El diseño del destilador solar para agua residual se desarrolló mediante datos bibliográficos y experimentaciones similares. Se utilizaron ecuaciones de dimensionamiento y parámetros de diseño; los cuáles fueron escogidos en función de valores utilizados en otras investigaciones, teniendo en cuenta que éstas, hayan sido ejecutadas en condiciones similares a las de la presente investigación y sobre todo que se hayan obtenido valores altos de eficiencia, en cuanto remoción de contaminantes.

Por otro lado se tomó un diseño eficiente y económico en comparación de los otros tipos de destiladores tomando en cuenta sobre todo el ángulo de inclinación del vidrio que es el más representativo para la captación de agua destilada sin contaminarse con el agua residual y permitiendo la transmitancia de los rayos solares con la ayuda del Anexo A

2.1.2.1 Procedimiento

El diseño del destilador solar se realizó de la siguiente manera:

- Se revisaron estudios realizados anteriormente sobre la destilación solar.
- Se eligió un diseño de destilador que se ajuste mejor a las condiciones del lugar y el que presente mayor eficiencia.
- En función a los valores utilizados en las otras investigaciones y utilizando las ecuaciones detalladas en el capítulo 1 se procedió al dimensionamiento del equipo.
- Las dimensiones del equipo fueron seleccionadas acorde al volumen de agua requerido para destilar y al espacio disponible.
- Se procuró utilizar valores enteros con el fin de facilitar la construcción del equipo.
- Se dibujó los planos del destilador solar propuesto utilizando el espacio de trabajo Dibujo y anotación en AutoCAD empleando los valores de construcción.

2.1.3 Construcción del destilador solar

El destilador solar se construyó en función de las dimensiones de construcción obtenidas en el diseño del destilador solar; cumpliendo exactamente las especificaciones que presentan los planos de construcción, con la finalidad de asegurar que los equipos construidos tengan exactitud en las dimensiones obtenidas en los cálculos.

La construcción del equipo se realizó en un taller mecánico de la ciudad de Riobamba.

2.1.3.1 Materiales

El destilador solar ocupó los siguientes materiales y equipos para su construcción, así:

- ½ Lamina de acero mate 2 mm de espesor.
- ½ Lamina de acero negro 1 mm de espesor.

- 2 Tubos cuadrados de 6 m de largo, 1 pulgada de diámetro y 2 mm de espesor.
- 4 Ruedas.
- 2 m² Vidrio de 4 mm de espesor.
- 5 m de Empaque.
- 1 kg de Electrodo de acero.
- 1 kg de Electrodo 60/11.
- 2 Discos de corte.
- 1 ½ Lana de vidrio.
- 1 L de Pintura.
- 1 L de Tiñer.
- 2 Codos PVC de ½.
- 1 Codo galvanizado de ½.
- 20 cm Tubo PVC.
- 6 Sunchos.
- 3 m Empaque.
- 2 Tubos de silicón para vidrio.

El equipo fue diseñado y construido de tal forma que toda su operación funcione hidráulicamente, es decir sin intervención de ningún equipo mecánico.

Una vez que el equipo fue construido se realizaron pruebas de funcionamiento, con el objetivo de garantizar la correcta operación del mismo y así, trasladarlo posteriormente al INAMHI, dónde se realizarán las respectivas pruebas experimentales.

2.1.4 Pruebas experimentales del destilador solar para tratar el agua residual

Una vez que el equipo fue instalado en el INAMHI de la ESPOCH se procedió a desarrollar las pruebas experimentales, para verificar el grado de efectividad de remoción de contaminantes, presentes en tres tipos de aguas residuales (domesticas, industriales, domestica-industrial) y así obtener datos que permitan evidenciar el funcionamiento del sistema.

2.1.4.1 Recolección del agua residual para la destilación

Se escogió tres aguas residuales de diferente procedencia (domesticas, industriales, domestica-industrial), con el objetivo de obtener valores comparativos, que permitan evidenciar el grado de remoción de contaminantes.

2.1.4.1.1 Materiales

Los materiales utilizados para recolección del agua residual fueron los siguientes:

- Balde plástico de 20 L con tapa.
- Jarra de 1 L.
- Cuerda.
- Guantes de látex.
- Mandil.
- Marcador indeleble.

2.1.4.1.2 Procedimiento

La recolección del agua residual se realizó de la siguiente manera:

- Se localizó el punto de descarga.
- Se obstruyó el paso del agua para que comience a acumularse y facilite la toma de muestra.
- Utilizando la jarra de 1 L, se trasvasó el agua empozada al balde plástico de 20 L.
- Este proceso se repitió, hasta completar un volumen de 20 L.
- Se tapó el balde plástico de 20 L.

Los materiales utilizados y el procedimiento de recolección de la muestra, fue desarrollado de la misma manera para los tres tipos de agua residual.

2.1.4.2 Pre tratamiento del agua residual domestica-industrial para el destilado

Todas las aguas recolectadas fueron colocadas en un sedimentador y posteriormente a un filtro, con el objetivo de reducir las partículas sólidas presentes en ellas y así facilitar la destilación.

2.1.4.3 Caracterización inicial del agua residual

La caracterización inicial del agua residual se realizó después de 12 horas de haber permanecido en el sedimentador y en el filtro.

La caracterización se desarrolló de la siguiente manera

- Muestreo inicial del agua residual.
- Análisis inicial de las muestras de agua residual.

2.1.4.3.1 Muestreo inicial del agua residual

El muestreo inicial del agua residual fue realizado del mismo modo que se detalló en el literal 2.2.4.1 utilizando los mismos materiales y aplicando el mismo procedimiento.

2.1.4.3.2 Análisis inicial de la muestra de agua residual.

La muestra de agua residual tomada del filtro fue trasladada al laboratorio de Calidad del Agua de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH, manteniendo una cadena de custodia adecuada.

A continuación se detalla una tabla con todos los parámetros analizados:

Tabla 1-2: Análisis de muestra del agua residual inicial.

ANÁLISIS FÍSICO – QUÍMICO – MICROBIOLÓGICO		
Parámetro	Unidad	Método
pH	U	4500-B
Conductividad	μS/cm	2510-B
TDS	mg/L	2540-A
TSS	mg/L	2540-D
Color	UCV Pt-Co	2120-C
Turbiedad	NTU	2130-B
Nitratos	mg/L	4500-NO ₃ -C
Fosfatos	mg/L	4500-P-D
DQO	mg O ₂ /l.	5220-C
DBO ₅	mg O ₂ /l.	5210-B
Coliformes Totales	UFC	9222-B
Coliformes Fecales	UFC	9222-D
Sulfatos	mg/L	4500- SO ₄ -B

Fuente: Laboratorio de Calidad del Agua ESPOCH S.A., 2016, p.1.

Realizado por: Sabando Andrea, 2016.

La caracterización inicial fue desarrollada de la misma manera para los tres tipos de agua residual, siguiendo el procedimiento y los materiales mencionados anteriormente, en el agua residual industrial se eliminaron los parámetros no requeridos por la norma.

2.1.4.4 *Prueba de Destilación*

La destilación de la muestra de agua residual se desarrolló con el objetivo de identificar el volumen de agua destilada y la reducción de la carga contaminante, anteriormente mencionada.

2.1.4.4.1 *Materiales*

Los materiales utilizados en este método fueron los siguientes:

- Probeta de 1000 mL
- Balde de 20 L
- Embudo
- Guantes de látex
- Mandil
- Marcador de tinta indeleble
- Libreta de anotación
- 2 Recipientes colectores de agua destilada

2.1.4.4.2 *Equipo*

- Destilador solar

2.1.4.4.3 *Procedimiento*

El procedimiento para la destilación solar de la muestra de agua residual se desarrolló de la siguiente manera:

- Se transvasó la muestra de agua residual del filtro al balde utilizando una probeta de 1 L.
- Balde de 20 L
- Se tomó un volumen de 5 L de muestra de agua residual
- Se colocó con el embudo un volumen de 5 L a la bandeja colectora.
- Se destiló la muestra de agua residual hasta que se termine el volumen total de agua contenida en la bandeja colectora.

Durante el tiempo de destilación se tomó temperaturas cada hora de la muestra de agua residual, temperatura ambiental interna, acero, vidrio y temperatura ambiental externa. Así también, se tomó valores de velocidad del viento y heliófila.

La destilación fue desarrollada siguiendo el mismo procedimiento y los mismos materiales para para los tres tipos de agua residual, siguiendo el procedimiento y los materiales mencionados anteriormente.

2.1.4.5 Caracterización intermedia del agua destilada

La caracterización intermedia se la realizó después de obtener un equivalente aproximado de la mitad del volumen de entrada de agua residual, que corresponde aproximadamente 2 litros de agua destilada.

La caracterización se desarrolló de la siguiente manera:

- Muestreo intermedio del agua destilada.
- Análisis intermedio de la muestra de agua destilada.

2.1.4.5.1 Muestreo intermedio del agua destilada

El muestreo intermedio del agua destilada se realizó al momento de tener un volumen aproximado a la mitad del volumen de agua residual puesta en el destilador.

2.1.4.5.2 *Materiales*

Los materiales utilizados para el muestreo fueron los siguientes:

- 2 botellas plásticas de 1.5 L.
- 1 embudo.
- Guantes de látex.
- Cooler.
- Gel refrigerante.
- Mandil.
- Marcador indeleble.

2.1.4.5.3 *Procedimiento*

La recolección del agua destilada se realizó después de un período transcurrido de aproximadamente 2 días, siguiendo el siguiente procedimiento:

- Se verificó que las botellas recolectoras de 1.5 L contengan agua destilada hasta aproximadamente la mitad de su capacidad.
- Se retiró las 2 botellas recolectoras del equipo
- Utilizando un embudo, se trasvasó el agua contenida en las botellas recolectoras a un recipiente de vidrio de 2 L.
- Se tapó el recipiente de vidrio de 2 L.

Los materiales utilizados y el procedimiento de recolección de la muestra, fue desarrollado de la misma manera para los tres tipos de agua residual.

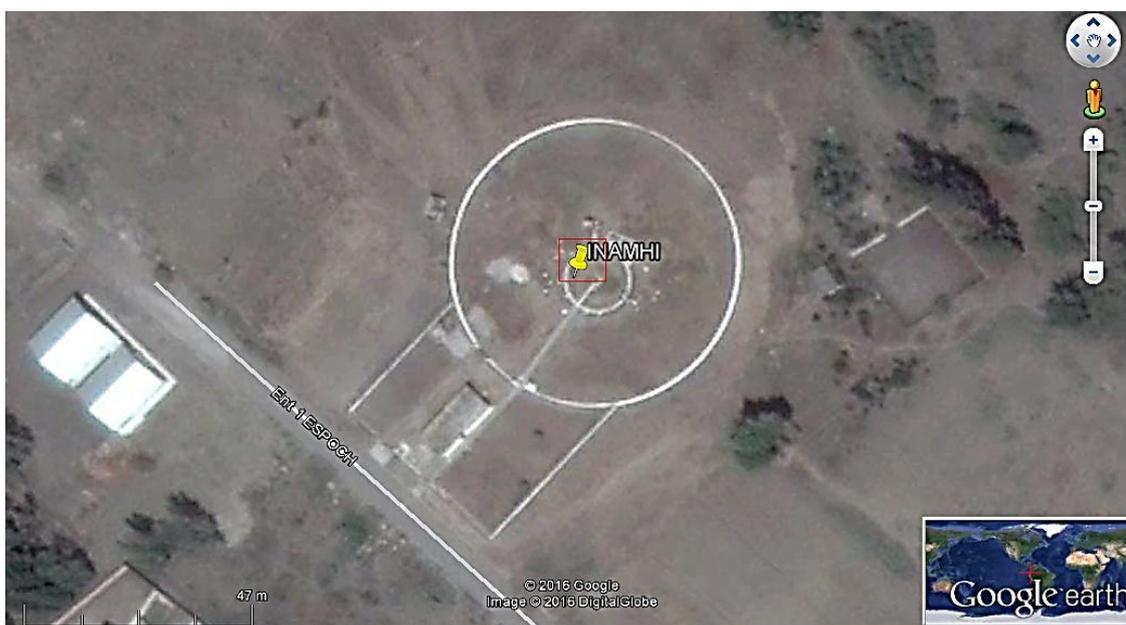
CAPÍTULO III

3 ANÁLISIS DE DISCUSIÓN DE RESULTADOS

3.1 Análisis y discusión de resultados

3.1.1 Localización de la experimentación

La experimentación del presente trabajo de titulación se desarrolló en las instalaciones del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) localizado en las coordenadas Universal Transversal de Mercator (UTM) 17 M, 757537.97 m Este, 9813388.24 m Sur, 2841 m.s.n.m., pertenecientes al espacio físico de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH) en la Provincia de Chimborazo, Cantón Riobamba, Parroquia Lizarzaburu, lugar dónde se instaló el destilador solar propuesto.



Mapa 1-3. Ubicación del destilador solar, Estación Meteorológica ESPOCH.

Realizado por: Sabando Andrea, 2016.

3.1.2 Lugar del muestreo

Los puntos de descargas identificadas y seleccionadas fueron los pertenecientes “El Batán” al Domicilio de la Familia Amaguayo Sánchez y Empresa TEIMSA los cuales cumplieron con características detalladas a continuación.

El punto de descarga de “El Batán” está localizado en las coordenadas 17 M, 759958.30 m Este, 9813888.19 m Sur, 2754 m.s.n.m., pertenecientes a la Provincia de Chimborazo, Cantón Riobamba, Parroquia Yaruquíes. Este punto de descarga está ubicado en un sector domiciliario; sin embargo, en dicho sector también se ubican familias dedicadas a la producción de bloques de construcción, las mismas que descargan sus aguas de proceso directamente al alcantarillado, sin un previo tratamiento, por tal motivo este punto de descarga combina aguas domésticas con aguas industriales.



Mapa 2-3.Ubicación punto de descarga de “El Batán”

Realizado por: Sabando Andrea, 2016.

El punto de descarga de la “Familia Amaguayo-Sánchez” está localizado en las coordenadas 17 M, 760091.00 m Este, 9816267.00 m Sur, 2784 m.s.n.m., pertenecientes a la Provincia de Chimborazo, Cantón Riobamba, Parroquia Lizarzaburu. Este punto de descarga pertenece al domicilio de una familia compuesta de 5 integrantes.



Mapa 3-3.Ubicación punto de descarga de la “Familia Amaguayo-Sánchez”

Realizado por: Sabando Andrea, 2016.

El punto de descarga de la “Empresa TEIMSA” está localizado en en las coordenadas 17 M, 761076 m Este, 9859141 m Sur, 2997 m.s.n.m., pertenecientes a la Provincia de Tungurahua, Cantón Ambato, Parroquia Santa Rosa. Esta empresa se dedica al negocio del teñido de telas, en las cuales se emplean una gran cantidad de químicos; dicha empresa cuenta con una planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) compuesta por el siguiente tren de tratamiento:

- Rejillas.
- Desarenador
- Filtros

El agua utilizada fue recolectada antes de ingresar al tren de tratamiento de la PTAR.



Mapa 4-3.Ubicación punto de descarga de la “Empresa TEIMSA”

Realizado por: Sabando Andrea, 2016.

3.1.3 Destilador solar

El diseño del destilador solar de aguas residuales comprende considerar factores como el ángulo de inclinación y espesor de vidrio para permitir la transmitancia del sol para la bandeja colectora como también el volumen requerido a destilar esto se considera de acuerdo a la necesidad del estudio.

– Diseño de bandeja recolectora

Para el diseño de bandeja colectora fue necesario definir el volumen de agua residual a ser tratada tomando en cuenta que todo el equipo del destilador solar tiene una base rectangular para poder realizar el diseño de la bandeja colectora fue necesario utilizar la fórmula de volumen de un rectángulo la cual es:

Volumen: Base* Largo *Altura

Volumen: 80 cm * 100 cm * 0.5 cm

Volumen: 4000 cm³

- Diseño de vidrio

Con ello se pudo determinar la inclinación del vidrio de acuerdo a la forma de la bandeja colectora para conocer su mejor posición llegando a escoger mediante el Anexo A donde se ve diferentes tipos de inclinaciones y grosor del vidrio midiendo también la cantidad posible de transmitancia se escogió un espesor de 4 mm y un ángulo de inclinación de 30° obteniendo una transmitancia del 84%, mejorando así la posibilidad de que la evaporación del agua a ser tratada sea rápida.

- Diseño de la estructura de soporte

Para el diseño de la estructura soporte fue necesario conocer el volumen a manejar del agua por lo cual se necesitó las dimensiones de la bandeja recolectora, aparte se colocó un aislante térmico que fue 1½ m² de lana de vidrio con un espesor de 5 cm, llegando a las medidas de largo 110 cm, ancho 90 cm y una altura de 10 cm.

- Altura del Equipo

La altura fue considerada de acuerdo a la utilización y comodidad de operación tomando en cuenta la altura de la base y de la tapa llegando a una altura de 113 cm y de largo 123 cm.

3.1.4 Parámetros físicos de los días de destilación del agua

Los datos han sido obtenidos de 7 a 7 con lapsos de 1 hora que se encuentran detallados en los Anexos B, C,D,F,G,H

3.1.4.1 Datos obtenidos de los parámetros físicos de los días de destilación del agua del punto de descarga de “El Batán”.

La siguiente grafica es un promedio de los días que se demoró la destilación en el cual se encuentra las horas críticas de comportamiento de los parámetros físicos.

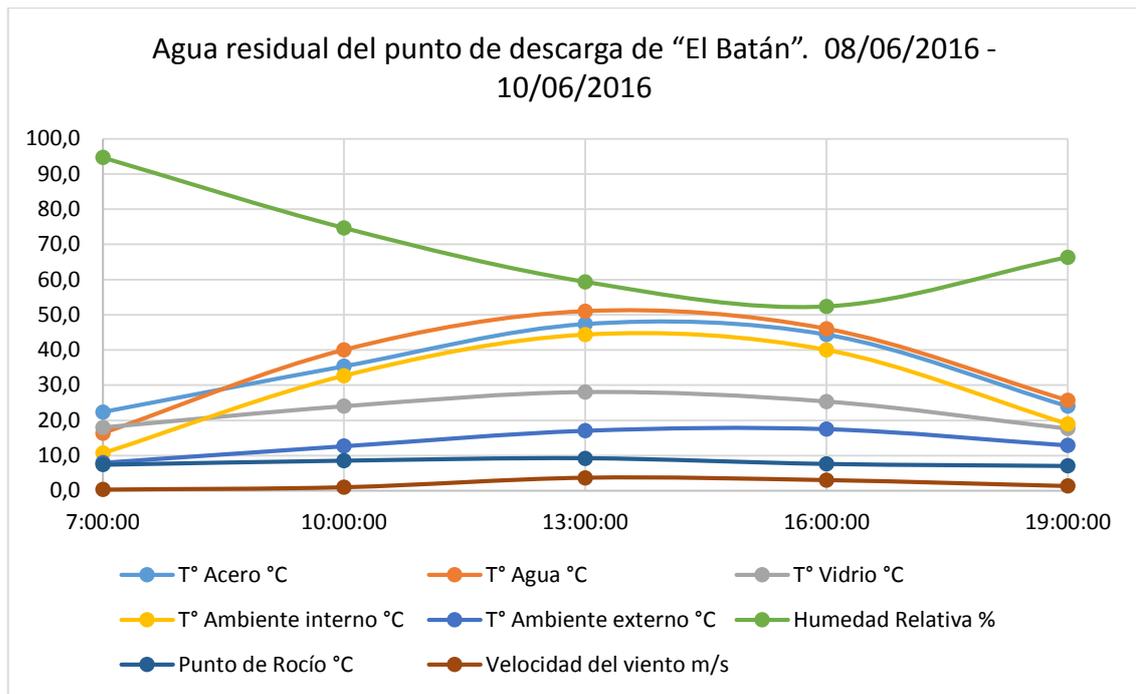


Figura 1-3. Parámetros físicos de los días de destilación del agua del punto de descarga de “El Batán”.

Realizado por: Sabando Andrea, 2016.

La grafica representa los parámetros físicos obtenidos en la destilación solar del agua residual del punto de descarga de “El Batán”, en las horas críticas según el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología estas son 7:00; 10:00; 13:00; 16:00; 19:00. Desde la fecha 08 de Junio hasta el 10 de Junio del presente año se realizó en un período de 3 días esta destilación solar por razones de que en estos días hubo presencia constante de sol, se ve una relación ascendente en las horas de mayor cantidad de luz solar en cuestión de temperatura del acero, agua, vidrio, ambiente interno, ambiente externo, punto de rocío. La velocidad del viento tiene igual una relación proporcional con las temperaturas de los demás parámetros. La humedad relativa es distinta ya que las horas más altas de esta son de 19:00-7:00 del siguiente día. Las temperaturas más altas se registran a las 13:00h llegando a una temperatura de agua promedio de 51°C. Conociendo esta relación se puede evidenciar que el proceso de destilación solar ha sido completado con excelentes resultados se comenzó con un volumen de 5 Litros de agua residual y de resultado se obtuvo 3.9 Litros de agua tratada, debido a pérdidas de evaporación.

3.1.4.2 Datos obtenidos de los parámetros físicos de los días de destilación del agua residual del punto de descarga de la “Familia Amaguayo-Sánchez”.

La siguiente grafica es un promedio de los días que se demoró la destilación en el cual se encuentra las horas críticas de comportamiento de los parámetros físicos.

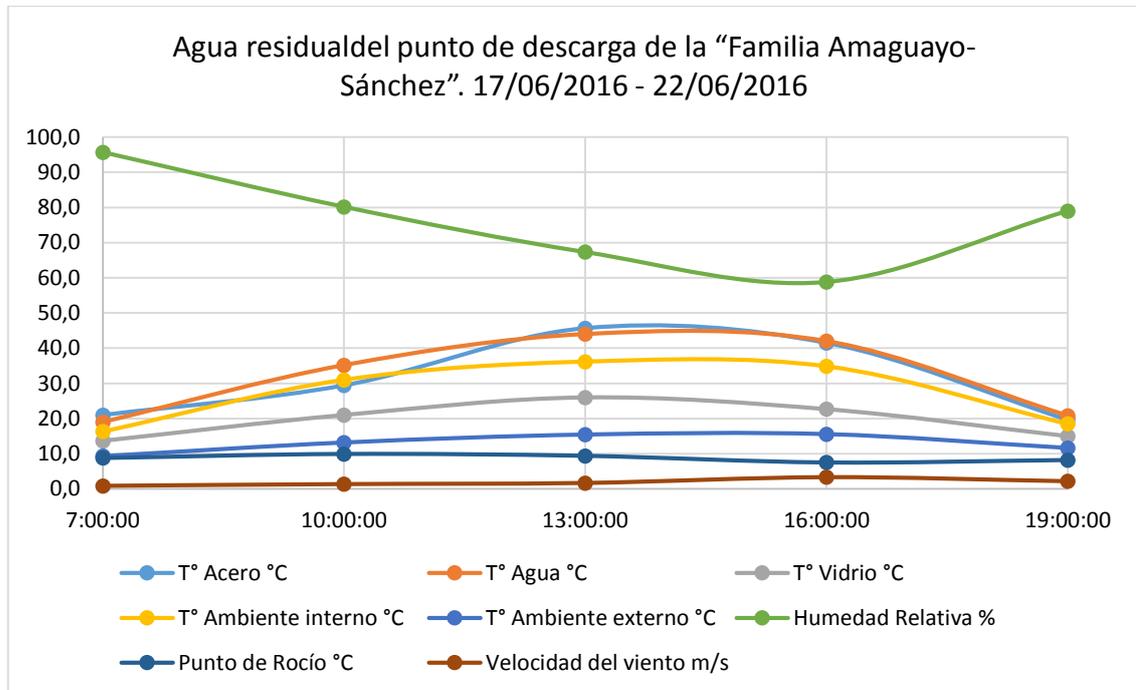


Figura 2-3. Parámetros físicos de los días de destilación del agua del punto de descarga de la “Familia Amaguayo-Sánchez”.

Realizado por: Sabando Andrea, 2016.

La grafica representa los parámetros físicos obtenidos en la destilación solar del agua residual del punto de descarga de la “Familia Amaguayo-Sánchez”, en las horas críticas según el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología estas son 7:00; 10:00; 13:00; 16:00; 19:00. Desde la fecha 17 de Junio hasta el 22 de Junio del presente año se realizó en un período de 6 días esta destilación solar por razones de que el clima no es constante y habiendo presencia de lluvia sin embargo en la figura se ve una relación ascendente en las horas de mayor cantidad de luz solar en cuestión de temperatura del acero, agua, vidrio, ambiente interno, ambiente externo, punto de rocío. La velocidad del viento tiene igual una relación proporcional con las temperaturas de los demás parámetros. La humedad relativa es distinta ya que las horas más altas de esta son de 19:00-7:00 del siguiente día. Las temperaturas más altas se registran a las 13:00h llegando a una temperatura de agua promedio de 44°C debido a la ausencia constante del sol por la presencia de nubes y llovizna. Conociendo esta relación se puede evidenciar que el proceso de destilación solar ha sido completado con excelentes resultados se comenzó con un

volumen de 5.6 Litros de agua residual y de resultado se obtuvo 4.7 Litros de agua tratada, debido a pérdidas de evaporación.

3.1.4.3 *Datos obtenidos de los parámetros físicos de los días de destilación del agua residual del punto de descarga de la “Empresa TEIMSA”.*

La siguiente grafica es un promedio de los días que se demoró la destilación en el cual se encuentra las horas críticas de comportamiento de los parámetros físicos.

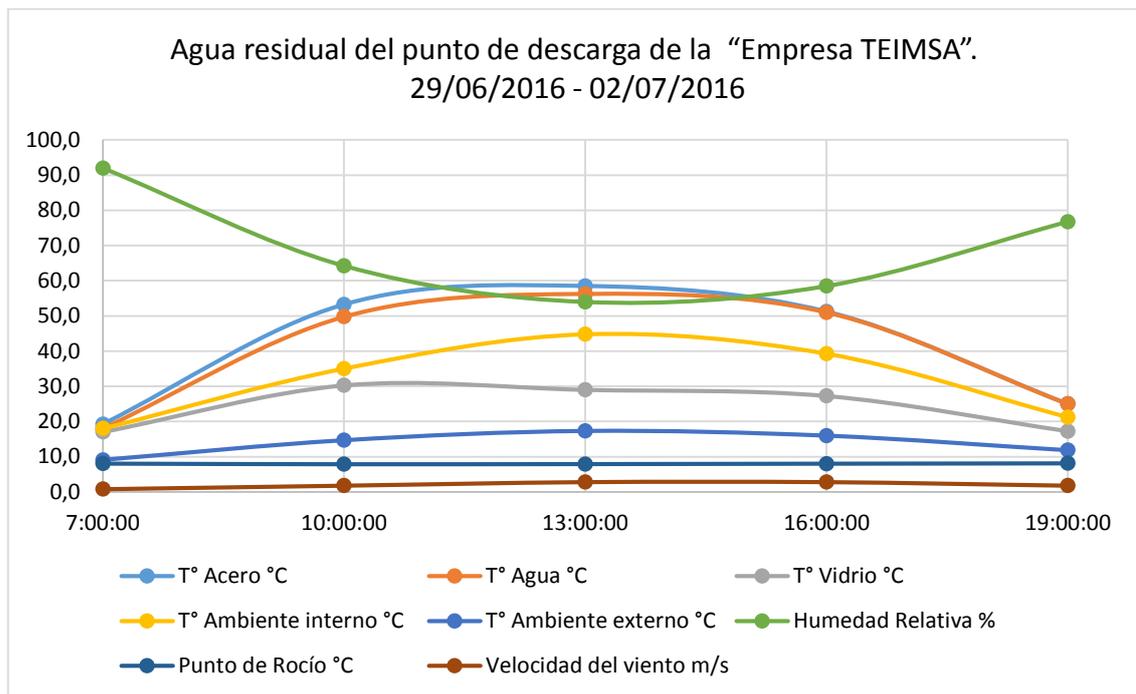


Figura 3-3. Parámetros físicos de los días de destilación del agua del punto de descarga de la “Empresa TEIMSA”.

Realizado por: Sabando Andrea, 2016.

La grafica representa los parámetros físicos obtenidos en la destilación solar del agua residual del punto de descarga de “El Batán”, en las horas críticas según el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología estas son 7:00; 10:00; 13:00; 16:00; 19:00. Desde la fecha 29 de Junio hasta el 02 de Julio del presente año se realizó en un período de 4 días esta destilación solar por razones de que el clima no es constante y habiendo presencia de un día de lluvia, los demás de sol, sin embargo en la figura se ve una relación ascendente en las horas de mayor cantidad de luz solar en cuestión de temperatura del acero, agua, vidrio, ambiente interno, ambiente externo, punto de rocío. La velocidad del viento tiene igual una relación proporcional con las temperaturas de los demás parámetros. La humedad relativa es distinta ya que las horas más altas de esta son de 19:00-7:00 del siguiente día. Las temperaturas más altas se registran a

las 13:00h llegando a una temperatura de agua promedio de 56.3°C. Conociendo esta relación se puede evidenciar que el proceso de destilación solar ha sido completado con excelentes resultados se comenzó con un volumen de 4.5 Litros de agua residual y de resultado se obtuvo 3.8 Litros de agua tratada, debido a pérdidas de evaporación.

3.1.5 Caracterización del agua residual antes y después del tratamiento

3.1.5.1 Datos obtenidos de la caracterización del agua residual del punto de descarga de “El Batán”.

Tabla 1-3. Datos obtenidos de la caracterización del agua residual del punto de descarga de “El Batán”.

Parámetros	Unidad	Agua residual antes del tratamiento	Agua tratada medición Intermedia	Agua tratada medición Final
pH	UpH	7.8	7.4	7.39
Conductividad	µS/cm	1 040	59	58
TDS	mg/L	550	30	30
Color	U Pt-Co	44	8	9
Turbiedad	NTU	59.2	3.64	3.64
TSS	mg/L	49	4	4
DBO ₅	mg O ₂ /l.	91	16	15
DQO	mg O ₂ /l.	68	9	9
Fosfato	mg/L	2.42	2.34	2.34
Nitratos	mg/L	14.3	1.1	1.1
Coliformes Fecales	UFC	10000	23	20
Coliformes Totales	UFC	84000	2420	2410

Fuente: Laboratorio de Calidad del Agua ESPOCH S.A., 2016, p.1.

Realizado por: Sabando Andrea, 2016.

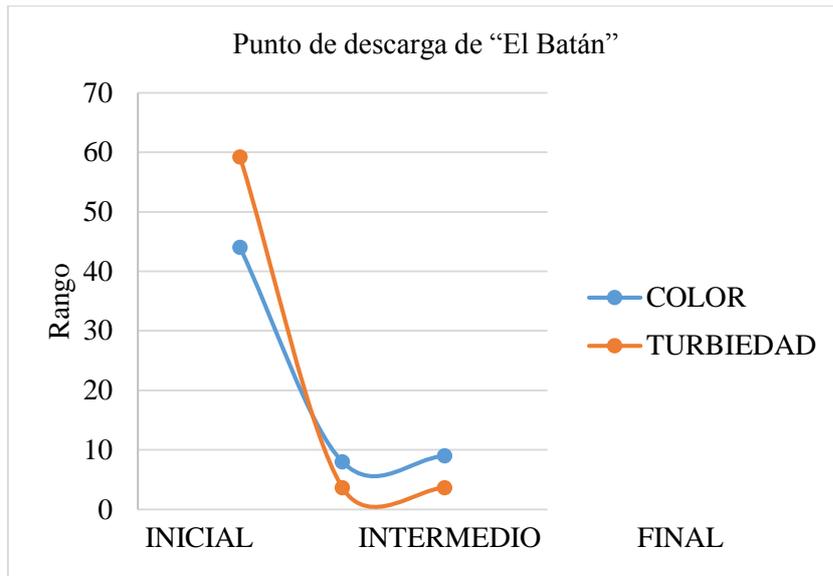


Figura 4-3 Curvas de comportamientos de los parámetros físicos durante la destilación.

Realizado por: Sabando Andrea, 2016.

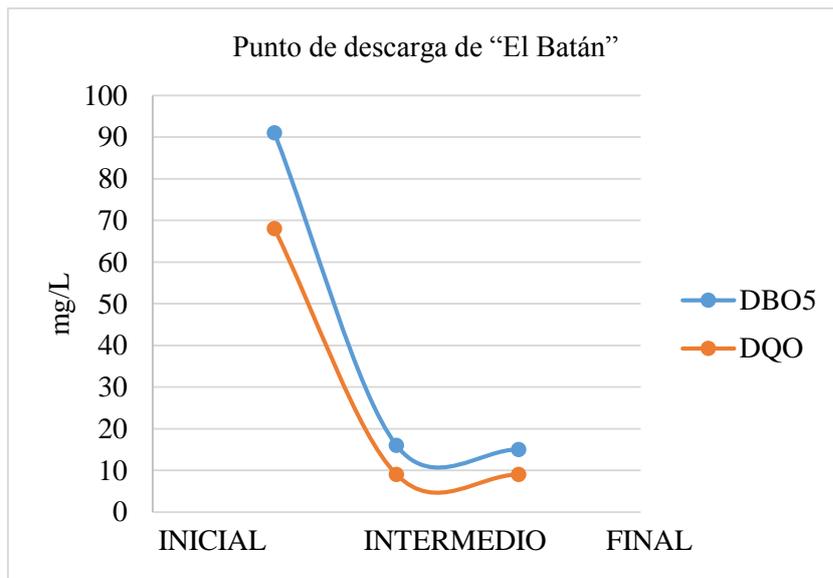


Figura 5 -3. Curvas de comportamientos de los parámetros químico durante la destilación

Realizado por: Sabando Andrea, 2016.

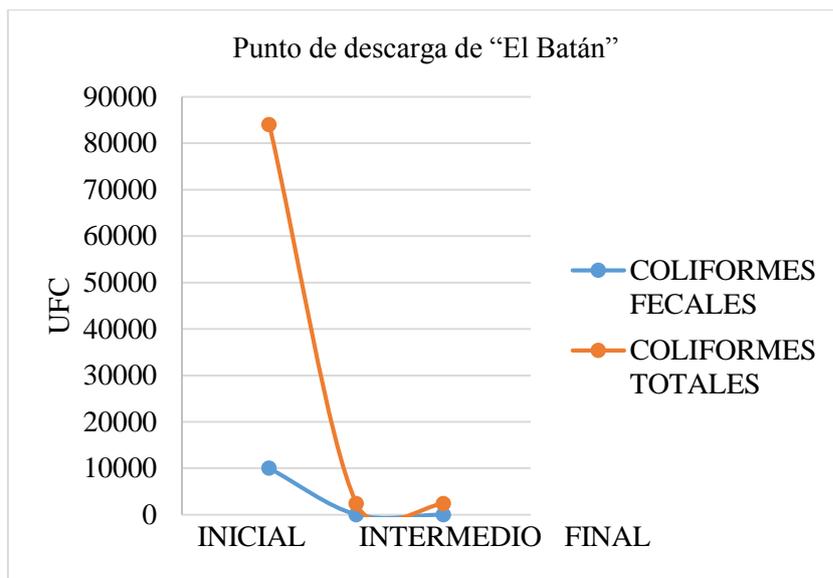


Figura 6 -3. Curvas de comportamientos de los parámetros microbiológicos durante la destilación

Realizado por: Sabando Andrea, 2016.

Tabla 2-3. Datos obtenidos de la eficiencia de remoción de contaminantes del agua residual del punto de descarga de “El Batán”.

Parámetros	Agua residual antes del tratamiento	Agua tratada medición Final	Eficiencia de remoción de contaminantes
Color	44	9	79.55%
Turbiedad	59.2	3.64	93.03%
DBO ₅	91	15	83.52%
DQO	68	9	86.76%
Coliformes Fecales	10000	20	99.80%
Coliformes Totales	84000	2410	97.13%

Realizado por: Sabando Andrea, 2016.

Como resultado de la caracterización de la muestra del agua residual del punto de descarga de la “El Batán”, se obtuvo de la Tabla xxxx-3., en donde se detallan los resultados de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos ; sin embargo, los parámetros de interés para el desarrollo de la eficiencia del destilador se tomó los valores de color cuyo valor fue en el principio 44 y después del destilado 8 y 9 teniendo una disminución del 79.55%, turbiedad cuyo valor fue en el principio 59.2 y después del destilado 3.64 y 3.64 teniendo una disminución del 93.03%, DBO₅ cuyo valor fue en el principio 91 y después del destilado 16 y 15 teniendo una

disminución del 83.52%, DQO cuyo valor fue en el principio 68 y después del destilado 9 y 9 teniendo una disminución del 86.76%, coliformes fecales cuyo valor fue en el principio 10000 y después del destilado 23 y 20 teniendo una disminución del 99.80%, finalmente coliformes totales cuyo valor fue en el principio 84000 y después del destilado 2420 y 2410 teniendo una disminución del 97.13%.

Tabla 3-3. Datos obtenidos de la caracterización del agua residual del punto de descarga de la “Familia Amaguayo-Sánchez”.

Parámetros	Unidad	Agua residual antes del tratamiento	Agua tratada medición Intermedia	Agua tratada medición Final
Ph	UpH	7.5	7	6,93
Conductividad	μS/cm	830	59	60
TDS	mg/L	440	16.8	18
Color	UCV Pt-Co	32	6	5
Turbiedad	NTU	63.3	0.58	0.5
TSS	mg/L	52	2	2
DBO ₅	mg O ₂ /l.	64	7	7
DQO	mg O ₂ /l.	226	9	9
Fosfato	mg/L	1,38	0.49	0.49
Nitratos	mg/L	20.1	0.41	0.41
Coliformes Fecales	UFC	2100	1	1
Coliformes Totales	UFC	30000	876	873

Fuente: Laboratorio de Calidad del Agua ESPOCH S.A., 2016, p.1.

Realizado por: Sabando Andrea, 2016.

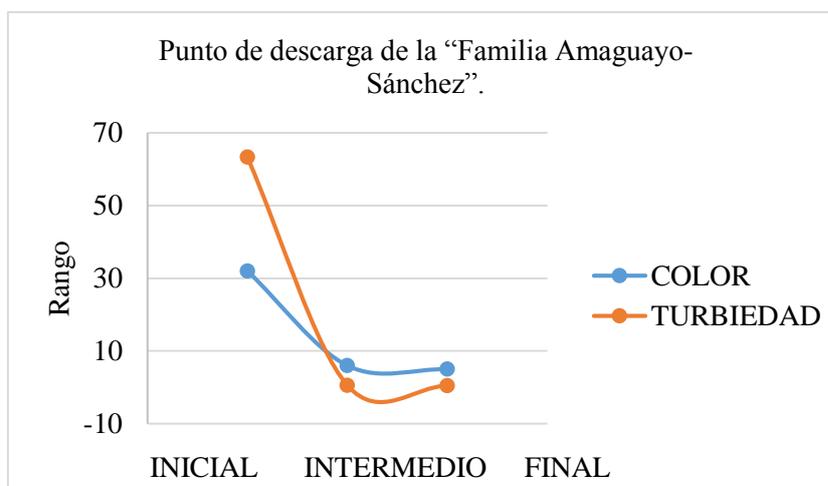


Figura 7 -3. Curvas de comportamientos de los parámetros físicos durante la destilación

Realizado por: Sabando Andrea, 2016.

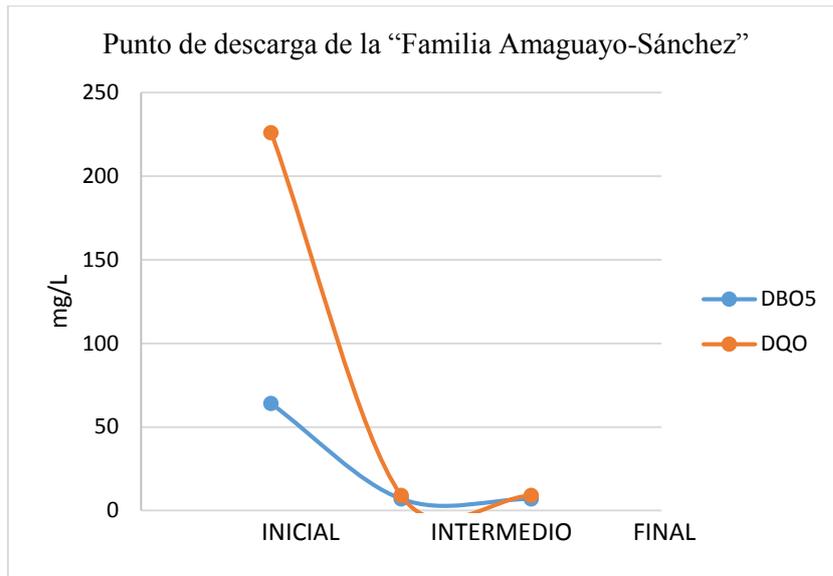


Figura 8 -3. Curvas de comportamientos de los parámetros químicos durante la destilación

Realizado por: Sabando Andrea, 2016.

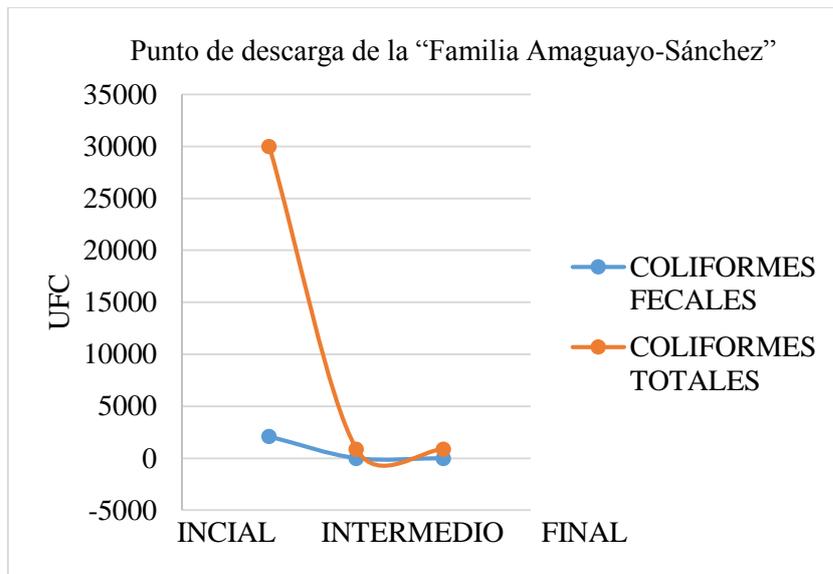


Figura 9 -3. Curvas de comportamientos de los parámetros microbiológicos durante la destilación

Realizado por: Sabando Andrea, 2016.

Tabla 4-3. Datos obtenidos de la eficiencia de remoción de contaminantes del agua residual del punto de descarga de la “Familia Amaguayo-Sánchez”.

Parámetros	Agua residual antes del tratamiento	Agua tratada medición Final	Eficiencia de remoción de contaminante
Color	32	5	84.38%
Turbiedad	63.3	0.5	99.21%
DBO ₅	64	7	89.06%
DQO	226	9	96.02%
Coliformes Fecales	2100	1	99.95%
Coliformes Totales	30000	873	97.09%

Realizado por: Sabando Andrea, 2016.

Como resultado de la caracterización de la muestra del agua residual del punto de descarga de la “Familia Amaguayo-Sánchez”, se obtuvo de la Tabla xxxx-3., en donde se detallan los resultados de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos ; sin embargo, los parámetros de interés para el desarrollo de la eficiencia del destilador se tomó los valores de color cuyo valor fue en el principio 32 y después del destilado 6 y 5 teniendo una disminución del 84.38%, turbiedad cuyo valor fue en el principio 63.3 y después del destilado 0.58 y 0.5 teniendo una disminución del 99.21%, DBO₅ cuyo valor fue en el principio 64 y después del destilado 7 y 7 teniendo una disminución del 89.06%, DQO cuyo valor fue en el principio 226 y después del destilado 9 y 9 teniendo una disminución del 96.02%, coliformes fecales cuyo valor fue en el principio 2100 y después del destilado 1 y 1 teniendo una disminución del 99.05%, finalmente coliformes totales cuyo valor fue en el principio 30000 y después del destilado 876 y 873 teniendo una disminución del 97.09%.

Tabla 5-3. Datos obtenidos de la caracterización del agua residual del punto de descarga de la “Empresa TEIMSA”.

Parámetros	Unidad	Agua residual antes del tratamiento	Agua tratada medición Intermedia	Agua tratada medición Final
pH	UpH	8.08	7.89	7.21
Conductividad	μS/cm	6800	96	50.6
TDS	mg/L	3700	61	27
Color	UCV Pt-Co	3006	30	28
Turbiedad	NTU	191	2.4	2.25
TSS	mg/L	2400	7	4
DBO ₅	mg O ₂ /l.	2800	11	12
DQO	mg O ₂ /l.	4400	32	33
Sulfatos	mg/L	5200	11	9

Fuente: Laboratorio de Calidad del Agua ESPOCH S.A., 2016, p.1.

Realizado por: Sabando Andrea, 2016.

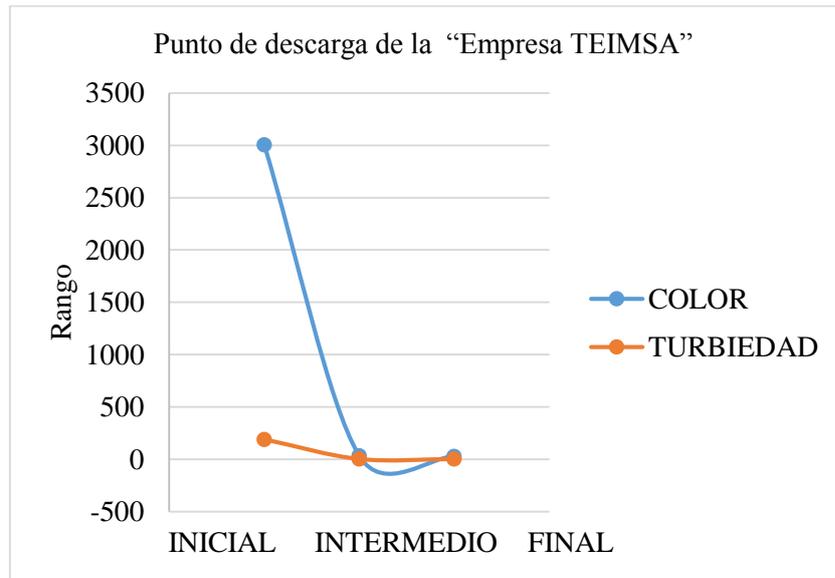


Figura 10 -3. Curvas de comportamientos de los parámetros físicos durante la destilación

Realizado por: Sabando Andrea, 2016.

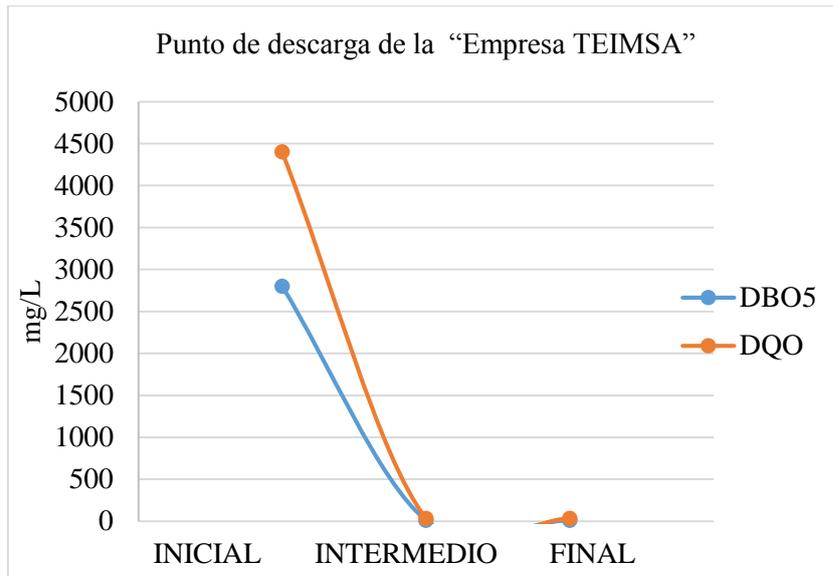


Figura 11 -3. Curvas de comportamientos de los parámetros químicos durante la destilación

Realizado por: Sabando Andrea, 2016.

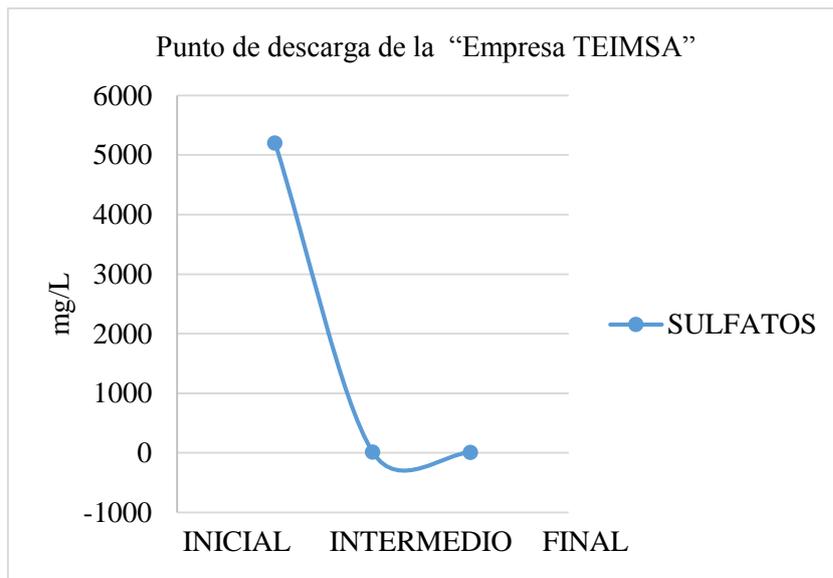


Figura 12 -3. Curva de comportamiento del parámetro químico durante la destilación

Realizado por: Sabando Andrea, 2016.

Tabla 6-3. Datos obtenidos de la eficiencia de remoción de contaminantes del agua residual del punto de descarga de la “Empresa TEIMSA”.

Parámetros	Agua residual antes del tratamiento	Agua tratada medición Final	Eficiencia de remoción de contaminante
Color	3006	28	99.07%
Turbiedad	191	2.25	98.82%
DBO ₅	2800	12	99.57%
DQO	4400	33	99.25%
Sulfatos	5200	9	99.83%

Realizado por: Sabando Andrea, 2016.

Como resultado de la caracterización de la muestra del agua residual del punto de descarga de la “Empresa TEIMSA”, se obtuvo de la Tabla xxxx-3., en donde se detallan los resultados de los parámetros físicos y químicos ; sin embargo, los parámetros de interés para el desarrollo de la eficiencia del destilador se tomó los valores de color cuyo valor fue en el principio 3006 y después del destilado 30 y 28 teniendo una disminución del 99.07%, turbiedad cuyo valor fue en el principio 191 y después del destilado 2.4 y 2.25 teniendo una disminución del 98.82%, DBO₅ cuyo valor fue en el principio 2800 y después del destilado 11 y 12 teniendo una disminución del 99.57% , DQO cuyo valor fue en el principio 4400 y después del destilado 32 y 33 teniendo una disminución del 99.25%, finalmente sulfatos cuyo valor fue en el principio 5200 y después del destilado 11 y 9 teniendo una disminución del 99.83%.

Es importante conocer que se tomó en cuenta como límite máximo permisible a los valores establecidos en el ANEXO 1 del LIBRO VI, Tabla 10 de Limites de descarga a un cuerpo de agua dulce del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA) Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes al recurso agua, llegando a cumplir todos los parámetros para su descarga permitida para los tres tipos de agua residual tratada.

3.1.5.2 Cálculos para conocer el funcionamiento del destilador

- Cálculo de la Declinación solar (δ):

Para calcular la declinación solar se aplicó la Ec. 1-1:

Datos:

δ : 23.45°

n: 166

Obtenido el número de día del año en la tabla 2-1:

Así tenemos:

$$\delta = 23.45^\circ * \sin \left[\frac{360^\circ * (284 + n)}{365} \right]$$
$$\delta = 23,45^\circ * \sin \left[\frac{360^\circ * (284 + 166)}{365} \right]$$
$$\delta = 23.31^\circ$$

- Cálculo del Ángulo horario (ω_s):

Para calcular el ángulo horario se aplicó la Ec. 2-1:

Datos:

δ : 23.31°

ϕ : 1°38'51"

Así tenemos:

$$\omega_s = \text{acos}[-\tan(\delta) \cdot \tan(\phi)]$$
$$\omega_s = \text{acos}[-\tan(23.31^\circ) \cdot \tan(1^\circ 38' 51'')]$$
$$\omega_s = 90.71^\circ$$

- Cálculo del Número de horas de sol teóricas(N):

Para calcular el número de horas del sol teóricas se aplicó la Ec. 3-1:

Datos:

ω_s : 90.71°

Así tenemos:

$$N = \left(\frac{2}{15} \right) * \omega_s$$

$$N = \left(\frac{2}{15}\right) * 90.71^\circ$$

$$N = 12.09 \cong 12 \text{ h}$$

- Cálculo de Radiación extraterrestre diaria sobre una superficie horizontal (H_o)

Para calcular la Radiación extraterrestre diaria sobre una superficie horizontal se aplicó la Ec. 4-1:

Parámetros de diseño:

G_{sc} : Constante solar

Datos:

$$G_{sc}: 1353 \frac{W}{m^2}$$

$$n: 166$$

$$\delta: 23.31^\circ$$

$$\phi: 1^\circ 38' 51''$$

$$\omega_s: 90.71^\circ$$

Así tenemos:

$$H_o = \frac{24 * G_{sc}}{\pi} * A * B$$

$$A = \left(1 + 0,033 * \cos \frac{360 * n}{365}\right)$$

$$B = \left[\cos \phi * \cos \delta * \sin \omega_s + \left(\frac{\pi * \omega_s}{180}\right) * \sin \phi * \sin \delta\right]$$

$$H_o = \frac{24 * 1353 \frac{W}{m^2}}{\pi} * A * B$$

$$A = \left(1 + 0,033 * \cos \frac{360 * 166}{365}\right)$$

$$A = 0.668322221$$

$$B = \left[\cos 1^\circ 38' 51'' * \cos 23.31^\circ * \sin 90.71^\circ + \left(\frac{\pi * 90.71^\circ}{180}\right) * \sin 1^\circ 38' 51'' * \sin 23.31^\circ\right]$$

$$B = 0.935938631$$

$$H_o = \frac{24 * 1353 \frac{W}{m^2}}{\pi} * 0.668322221 * 0.935938631$$

$$H_o = 9367.56 \frac{W * h}{m^2 * d}$$

- Cálculo de la Radiación solar diaria promedio terrestre sobre una superficie horizontal (H)

Para el cálculo de la Radiación solar diaria promedio terrestre sobre una superficie horizontal se aplicó la Ec. 5-1:

Parámetros de diseño:

a y b : Constantes de Angstrom

Datos:

a:0.23

b: 0.56

N: 12 h

nr : 3.99 h

Así tenemos:

$$H = H_o * \left[(a + b) * \frac{nr}{N} \right]$$

$$H = 9367.56 \frac{W * h}{m^2 * d} * \left(0.23 + 0.56 * \frac{3.99}{12} \right)$$

$$H = 3898.78 \frac{W * h}{m^2 * d}$$

- Cálculo del Índice de claridad(KT):

Para calcular el índice de claridad se aplicó la Ec. 6-1:

Datos:

$$H: 3898.78 \frac{W * h}{m^2 * d}$$

$$H_o: 9367.56 \frac{W * h}{m^2 * d}$$

Así tenemos:

$$KT = \frac{H}{H_0}$$
$$KT = \frac{3898.78 \frac{W \cdot h}{m^2 \cdot d}}{9367.56 \frac{W \cdot h}{m^2 \cdot d}}$$
$$KT = 0.41$$

- Cálculo de la Radiación solar difusa horaria en una superficie horizontal (H_d)

Para calcular la Radiación solar difusa horaria en una superficie horizontal se aplicó la Ec. 7-1:

Datos:

$$H: 3898.78 \frac{W \cdot h}{m^2 \cdot d}$$

$$KT: 0.41$$

Así tenemos:

$$H_d = H * [1.39 - (4.03 * KT) + (5.53 * KT^2) - (3.11 * KT^3)]$$
$$H_d = 3898.78 \frac{W \cdot h}{m^2 \cdot d} * [1.39 - (4.03 * 0.41) + (5.53 * 0.41^2) - (3.11 * 0.41^3)]$$
$$H_d = 1765.95 \frac{W \cdot h}{m^2 \cdot d}$$

- Cálculo de la Radiación solar directa horaria en una superficie horizontal (H_b)

Para calcular la Radiación solar directa horaria en una superficie horizontal se aplicó la Ec. 8-1:

Datos:

$$H: 3898.78 \frac{W \cdot h}{m^2 \cdot d}$$

$$H_d: 1765.95 \frac{W \cdot h}{m^2 \cdot d}$$

$$H_b = H - H_d$$

$$H_b = 3898.78 \frac{W \cdot h}{m^2 \cdot d} - 1765.95 \frac{W \cdot h}{m^2 \cdot d}$$

$$H_b = 2132.83 \frac{W * h}{m^2 * d}$$

- Cálculo del Factor de cambio de ángulo de incidencia en el transcurso del día (R_b)

Para calcular el Factor de cambio de ángulo de incidencia en el transcurso del día se aplicó la Ec. 10-1:

Parámetros de diseño:

β : Angulo de inclinación de la cubierta del vidrio.

Datos:

β : 30°

t_1 : 9 h

t_2 : 12 h

δ : 23.31°

ϕ : 1°38'51"

Así tenemos:

$$R_b = \frac{\text{sen}(\delta) * \text{sen}(\phi - \beta) * (t_2 - t_1) + \frac{12}{\pi} * \cos(\delta) * \cos(\phi - \beta) * [\text{sen}(15 * t_1) - \text{sen}(15 * t_2)]}{\text{sen}(\delta) * \text{sen}(\phi) * (t_2 - t_1) + \frac{12}{\pi} * \cos(\delta) * \cos(\phi) * [\text{sen}(15 * t_1) - \text{sen}(15 * t_2)]}$$

$$R_b = \frac{\text{sen}(23.31^\circ) * \text{sen}(1^\circ38'51'' - 30^\circ) * (12 - 9) + \frac{12}{\pi} * \cos(23.31^\circ) * \cos(1^\circ38'51'' - 30^\circ) * [\text{sen}(15 * 9) - \text{sen}(15 * 12)]}{\text{sen}(23.31^\circ) * \text{sen}(1^\circ38'51'') * (12 - 9) + \frac{12}{\pi} * \cos(23.31^\circ) * \cos(1^\circ38'51'') * [\text{sen}(15 * 9) - \text{sen}(15 * 12)]}$$

$$R_b = 0.63$$

- Cálculo de la Radiación solar en una superficie inclinada (H_T)

Para calcular la Radiación solar en una superficie inclinada se aplicó la Ec. 9-1:

Datos:

$$Hb_T: 1343.68 \frac{W * h}{m^2 * d}$$

$$Hd_T: 1647.65 \frac{W * h}{m^2 * d}$$

$$Hr_T: 52.23 \frac{W * h}{m^2 * d}$$

Así tenemos:

$$H_T = Hb_T + Hd_T + Hr_T$$
$$H_T = 1343.68 \frac{W * h}{m^2 * d} + 1647.65 \frac{W * h}{m^2 * d} + 52.23 \frac{W * h}{m^2 * d}$$
$$H_T = 3043.56 \frac{W * h}{m^2 * d}$$

- Cálculo de la Radiación directa sobre una superficie inclinada (Hb_T)

Para calcular la Radiación directa sobre una superficie inclinada se aplicó la Ec. 11-1:

Datos:

$$H_b : 2132.83 \frac{W * h}{m^2 * d}$$

$$R_b : 0.63$$

Así tenemos:

$$Hb_T = H_b * R_b$$
$$Hb_T = 2132.83 \frac{W * h}{m^2 * d} * 0.63$$
$$Hb_T = 1343.68 \frac{W * h}{m^2 * d}$$

- Cálculo de la Radiación difusa sobre una superficie inclinada (Hd_T)

Para calcular la Radiación difusa sobre una superficie inclinada se aplicó la Ec. 12-1:

Parámetros de diseño:

β : Angulo de inclinación de la cubierta del vidrio.

Datos:

$$H_d : 1765.95 \frac{W * h}{m^2 * d}$$

$$\beta : 30^\circ$$

Así tenemos:

$$Hd_T = H_d * \left[\frac{1 + \cos(\beta)}{2} \right]$$

$$Hd_T = 1765.95 \frac{W * h}{m^2 * d} * \left[\frac{1 + \cos(30^\circ)}{2} \right]$$

$$Hd_T = 1647.65 \frac{W * h}{m^2 * d}$$

- Cálculo de la Radiación reflejada por el suelo (Hr_T)

Para calcular la Radiación reflejada por el suelo se aplicó la Ec. 13-1:

Parámetros de diseño:

ρ : Albedo

β : Angulo de inclinación de la cubierta del vidrio.

Datos:

ρ : 0.20

H : $3898.78 \frac{W * h}{m^2 * d}$

β : 30°

Así tenemos:

$$Hr_T = \rho * H \left[\frac{1 + \cos(\beta)}{2} \right]$$

$$Hr_T = 0.20 * 3898.78 \frac{W * h}{m^2 * d} \left[\frac{1 + \cos(30^\circ)}{2} \right]$$

$$Hr_T = 52.23 \frac{W * h}{m^2 * d}$$

- Cálculo de la energía solar disponible para la transferencia de calor y masa G_s

Para calcular la energía solar disponible para la transferencia de calor y masa se aplicó la Ec. 14-1:

Parámetros de diseño:

G_{sc} : Constante solar

Datos:

G_{sc} : $1353 \frac{W}{m^2}$

$$H_b: 2132.83 \frac{W \cdot h}{m^2 \cdot d}$$

$$H_d: 1765.95 \frac{W \cdot h}{m^2 \cdot d}$$

H o G_s : Radiación diaria solar promedio terrestre sobre una superficie horizontal $\left(\frac{W \cdot h}{m^2 \cdot d}\right)$

Así tenemos:

$$\begin{aligned} G_s &= H_b + H_d \\ G_s &= 2132.83 \frac{W \cdot h}{m^2 \cdot d} + 1765.95 \frac{W \cdot h}{m^2 \cdot d} \\ G_s &= 3898.78 \frac{W \cdot h}{m^2 \cdot d} \end{aligned}$$

- Cálculo de la Transferencia de calor por conducción (q_c):

Para calcular la Transferencia de calor por conducción se aplicó la Ec. 15-1:

Datos:

$$K_b: 0.91 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

$$T_w: 308.95 \text{ K}$$

$$T_a: 86.55 \text{ K}$$

Así tenemos:

$$\begin{aligned} q_c &= k_b \cdot (T_w - T_a) \\ q_c &= 0.91 \frac{W}{m^2 \cdot K} \cdot (308.95 - 286.55)K \\ q_c &= 20.38 \frac{W}{m^2} \end{aligned}$$

- Cálculo de la Resistencia térmica (R_{eq})

Para calcular la Resistencia térmica de las paredes se aplicó la Ec. 16-1:

Parámetros de diseño:

x_1 : Espesor plancha acero inoxidable (m)

x_2 : Espesor plancha lana de vidrio (m)

x_3 : Espesor plancha hierro tol (m)

k_1 : Coeficiente de conductividad térmica acero inoxidable $\left(\frac{m^2 \cdot k}{W}\right)$

k_2 : Coeficiente de conductividad térmica lana de vidrio $\left(\frac{m^2 \cdot k}{W}\right)$

k_3 : Coeficiente de conductividad térmica hierro $\left(\frac{m^2 \cdot k}{W}\right)$

Datos:

x_1 : 0.003 m

x_2 : 0.05 m

x_3 : 0.002 m

k_1 : $14.9 \frac{W}{m^2 \cdot K}$

k_2 : $0.049 \frac{W}{m^2 \cdot K}$

k_3 : $51.9 \frac{W}{m^2 \cdot K}$

Así tenemos:

$$R_{eq} = \frac{x_1}{k_1} + \frac{x_2}{k_2} + \frac{x_3}{k_3}$$
$$R_{eq} = \frac{0.003 \text{ m}}{14.9 \frac{W}{m^2 \cdot K}} + \frac{0.05 \text{ m}}{0.049 \frac{W}{m^2 \cdot K}} + \frac{0.002 \text{ m}}{51.9 \frac{W}{m^2 \cdot K}}$$
$$R_{eq} = 1.02 \frac{m^2 \cdot k}{W}$$

- Cálculo del Coeficiente de calor convectivo (hct)

Para calcular el Coeficiente de calor convectivo se aplicó la Ec. 17-1:

Parámetros de diseño:

v : Velocidad del viento $\left(\frac{m}{s}\right)$

Datos:

v : $1.93 \frac{m}{s}$

Así tenemos:

$$hct = 5.7 + 3.8 * (v)$$
$$hct = 5.7 + 3.8 * \left(1.93 \frac{m}{s}\right)$$

$$hct = 13.03 \frac{W}{m^2 * K}$$

- Cálculo de la Resistencia térmica equivalente del aislante (kb)

Para calcular la Resistencia térmica equivalente del aislante se aplicó la Ec. 18-1:

Datos:

$$R_{eq}: 1.02 \frac{m^2 * k}{W}$$

$$hct: 13.03 \frac{W}{m^2 * K}$$

Así tenemos:

$$k_b = \frac{1}{R_{eq} + \frac{1}{hct}}$$

$$k_b = \frac{1}{1.02 \frac{m^2 * k}{W} + \frac{1}{13.03 \frac{W}{m^2 * K}}}$$

$$k_b = 0.91 \frac{W}{m^2 * K}$$

- Cálculo de la Transferencia de calor por radiación en el vidrio (q_{rg})

Para calcular la Transferencia de calor por radiación en el vidrio se aplicó la Ec. 19-1:

Parámetros de diseño:

ϵ_v : Emisividad del vidrio

σ : Constante de Stefan Boltzman $\left(\frac{W}{m^2 * K^4} \right)$

T_g : Temperatura del vidrio (K)

Datos:

ϵ_v : 0.23

σ : $5.670 \times 10^{-8} \frac{W}{m^2 * K^4}$

T_g : 295.35 K

T_s : 73.84 K

Así tenemos:

$$q_{rg} = \varepsilon_v * \sigma * (T_g^4 - T_s^4)$$
$$q_{rg} = 0.23 * 5.670 \times 10^{-8} \frac{W}{m^2 * K^4} * (295.35^4 - 273.84^4) K$$
$$q_{rg} = 25.90 \frac{W}{m^2}$$

- Cálculo de la Temperatura del cielo (T_g)

Para calcular la Temperatura del cielo se aplicó la Ec. 20-1:

Parámetros de diseño:

T_α : Temperatura ambiente (K)

T_{dp} : Temperatura de rocío (K)

Datos:

T_α : 286.55 K

T_{dp} : 281.5 K

Así tenemos:

$$T_s = T_\alpha * \left(0.8 + \frac{T_{dp} - 273}{250} \right)^{0.25}$$
$$T_s = 286.55 * \left(0.8 + \frac{281.5 - 273}{250} \right)^{0.25}$$
$$T_s = 273.84 K$$

- Cálculo de la Calor perdido por convección del vidrio (q_{cg})

Para calcular el Calor perdido por convección del vidrio se aplicó la Ec. 21-1:

Datos:

h_{cv} : $13.03 \frac{W}{m^2 * K}$

T_g : 295.35 K

Así tenemos:

$$q_{cg} = h_{cv} * (T_g - T_a)$$
$$h_{cv} = h_{ct}$$
$$q_{cg} = 13.03 \frac{W}{m^2 * K} * (295.35 - 285.55)K$$
$$q_{cg} = 114.66 \frac{W}{m^2}$$

- Cálculo del Calor perdido por radiación del agua (q_{rw})

Se calcula el Calor perdido por radiación del agua se aplicó la Ec. 22-1:

Parámetros de diseño:

σ : Constante de Stefan Bolstzman $\left(\frac{W}{m^2 * K}\right)$

ε_w : Emisividad del agua

ε_g : Emisividad del vidrio

Datos:

$$\sigma : 5.670 * 10^{-8} \frac{W}{m^2 * K}$$

$$\varepsilon_w : 0.63$$

$$\varepsilon_g : 0.23$$

$$T_a : 286.55 \text{ K}$$

$$T_w : 308.95 \text{ K}$$

Así tenemos:

$$qrw = \frac{\sigma}{\frac{1}{\varepsilon_w} + \frac{1}{\varepsilon_g} - 1} * (T_w^4 - T_a^4)$$
$$qrw = \frac{5.670 * 10^{-8} \frac{W}{m^2 * K}}{\frac{1}{0.63} + \frac{1}{0.23} - 1} * (308.95^4 - 286.55^4)$$
$$qrw = 27.21 \frac{W}{m^2}$$

- Cálculo del Calor perdido por convección entre el agua y la cubierta (h_c)

Para calcular el Calor perdido por convección entre el agua y la cubierta se aplicó la Ec. 26-1:

Parámetros de diseño:

P_w : Presión saturada de vapor de agua a la temperatura del agua (Pa)

P_{wv} : Presión saturada de vapor de agua a la temperatura del vidrio (Pa)

Datos:

P_w : 9277.99 Pa

P_{wv} : 3626.87 Pa

T_w : 308.95 K

T_g : 295.35 K

Así tenemos:

$$h_c = 0.884 \left[(T_w - T_g) \frac{(P_w - P_{wv})}{268.9 * 10^3 - P_w} * (T_w + 273) \right]^{\frac{1}{3}}$$

$$h_c = 0.884 \left[(308.95 - 295.35) K \frac{(9277.99 - 3626.87) Pa}{268.9 * 10^3 - 9277.99 Pa} * (308.95 K + 273) \right]^{\frac{1}{3}}$$

$$h_c = 2.63 \frac{W}{m^2 * K}$$

- Cálculo del Coeficiente de radiación efectivo (h_r)

Para calcular el Coeficiente de radiación efectivo se aplicó la Ec. 25-1:

Parámetros de diseño:

σ : Constante de Stefan Boltzman $\left(\frac{W}{m^2 * K} \right)$

ε_b : Emisividad de acero inoxidable (bandeja colectora)

Datos:

ε_b : 0.25

σ : $5.670 * 10^{-8} \frac{W}{m^2 * K}$

T_g : 295.35 K

T_w : 308.95 K

$$h_r = \frac{\varepsilon_b * \sigma * (T_g^4 - T_w^4)}{T_g - T_w}$$

$$h_r = \frac{0.25 * 5.670 * 10^{-8} \frac{W}{m^2 * K} * (295.35 K^4 - 308.95 K^4)}{295.35 K - 308.95 K}$$

$$h_r = 1.56 \frac{W}{m^2 * K}$$

- Cálculo del Coeficiente total de transferencia de calor por convección del agua (h_T)

Para calcular el Coeficiente total de transferencia de calor por convección del agua se aplicó la Ec. 24-1:

Datos:

$$h_c: 2.63 \frac{W}{m^2 * K}$$

$$h_r: 1.56 \frac{W}{m^2 * K}$$

Así tenemos:

$$h_T = h_c + \frac{3}{4} * h_r$$

$$h_T = 2.63 \frac{W}{m^2 * K} + \frac{3}{4} * 1.56 \frac{W}{m^2 * K}$$

$$h_T = 3.80 \frac{W}{m^2 * K}$$

- Cálculo del Calor perdido por convección del agua (q_{cw})

Para calcular el Calor perdido por convección del agua se aplicó la Ec. 23-1:

Datos:

$$h_T: 3.80 \frac{W}{m^2 * K}$$

$$T_a: 286.55 K$$

$$T_w: 308.95 K$$

Así tenemos:

$$q_{cw} = h_T * (T_w - T_a)$$

$$q_{cw} = 3.80 \frac{W}{m^2 * K} * (308.95 - 295.35)K$$

$$q_{cw} = 51.68 \frac{W}{m^2 * K}$$

- Cálculo del Coeficiente de transferencia de calor evaporativo (h_e)

Para calcular el Coeficiente de transferencia de calor evaporativo se aplicó la Ec. 28-1:

Datos:

$$h_t: 3.80 \frac{W}{m^2 * K}$$

Así tenemos:

$$h_e = 0.013 * h_t$$

$$h_e = 0.013 * 3.80 \frac{W}{m^2 * K}$$

$$h_e = 0.049 \frac{W}{m^2 * K}$$

- Cálculo del Calor perdido por evaporación (q_e)

Para calcular el Calor perdido por evaporación se aplicó la Ec. 27-1:

Parámetros de diseño:

h_e : Coeficiente de transferencia de calor evaporativo $\left(\frac{W}{m^2 * K}\right)$

P_w : Presión de vapor del agua a la temperatura del agua (Pa)

P_v : Presión de vapor del agua a la temperatura del vidrio (Pa)

Datos:

$$h_e: 0.049 \frac{W}{m^2 * K}$$

P_w : 9277.99 Pa

P_v : 3626.87 Pa

Así tenemos:

$$q_e = h_e * (P_w - P_v)$$

$$q_e = 0.049 \frac{W}{m^2 * K} * (9277.99 - 3626.87) Pa$$

$$q_e = 276.90 \frac{W}{m^2}$$

3.1.5.3 Costo de construcción del destilador solar para aguas residuales

Tabla 7-3. Costo de construcción del destilador solar.

Material	Cantidad	Unidad	Valor unitario	Valor total
Lamina de acero mate 2 mm de espesor.	½	m ²	200.00	100.00
Lamina de acero negro 1 mm de espesor.	½	m ²	80.00	40.00
Tubos cuadrados de 6 m de largo, 1 pulgada de diámetro y 2 mm de espesor.	2	M	10.00	20.00
Ruedas	4	U	3.00	12.00
Vidrio de 4 mm de espesor.	2	m ²	30.00	60.00
Empaque.	5	M	12.50	62.50
Electrodo de acero.	1	Kg	22.00	22.00
Electrodo 60/11.	1	Kg	6.60	6.00
Discos de corte.	2	U	2.75	5.50
Lana de vidrio.	1 ½	m ²	12.00	18.00
Pintura.	1	L	10.00	10.00
Tiñer.	1	L	5.00	5.00
Codos PVC de ½.	2	U	1.00	2.00
Codo galvanizado de ½.	1	U	2.00	2.00
Tubo PVC.	20	Cm	1.00	1.00
Sunchos	6	U	2.00	12.00
Tubos de silicón para vidrio.	2	U	6.00	12.00
TOTAL				642.00

Realizado por: Sabando Andrea, 2016.

Tabla 8-3. Costo de los análisis de laboratorio de las aguas residuales.

Parámetro	Cantidad	Valor unitario	Valor total
pH	9	0.00	0.00
Conductividad	9	0.00	0.00
TDS	9	0.00	0.00
TSS	9	0.00	0.00
Turbiedad	9	0.00	0.00
Nitratos	9	3.00	27.00
Fosfatos	9	3.00	27.00
DQO	9	6.00	54.00
DBO ₅	9	6.00	54.00
Coliformes Totales	12	6.00	72.00
Coliformes Fecales	12	6.00	72.00
Sulfatos	3	3.00	9.00
Total			315.00

Fuente: Laboratorio de Calidad del Agua ESPOCH S.A., 2016, p.1.

CONCLUSIONES

- El destilador se diseñó dimensionándolo a partir de modelos ya establecidos² tomado en cuenta eficiencia y costos del destilador solar, siendo el más adecuado el de 2 vertientes, en el diseño se utilizó el programa AUTOCAD y la construcción del equipo se realizó en una mecánica de la localidad. El equipo diseñado requiere un área aproximada de 1,20 m² su capacidad es de un volumen de 4 litros, con una inclinación del vidrio de 30° debido a que permite mayor transmitancia de los rayos solares.
- La caracterización de tres tipos de agua residual (domestica-industrial, domestica e industrial). en los parámetros más representativos del agua: físicos (turbiedad y color), químicos (DBO₅ y DQO), Sulfatos y microbiológicos (coliformes fecales y totales), tomados del TULSMA como Norma.
- Las dimensiones del destilador son: bandeja colectora de una capacidad de 4 L cuyas medidas son de (5x80x100) cm. Canales colectores de 2 cm de profundidad. La base se construyó en hierro recubierto por una capa de 5 cm lana de vidrio como aislante térmico, las medidas son de (10x90x110) cm, la cubierta se realizó de vidrio de un espesor de 4 líneas a un ángulo de 30° de inclinación.
- Los resultados conseguidos permitieron concluir que el destilador solar tiene eficiencias; para aguas residuales (industrial y domestica) del 89.96%, agua residual domestica del 94.28% y de aguas residuales industriales del 99.31% de disminución de contaminantes, establecidos en los parámetros de la caracterización de las aguas. Por lo que se demuestra que el destilador solar es útil para tratar aguas residuales.
- Como conclusión general se puede establecer fehacientemente que la implementación de un sistema de tratamiento de aguas residuales mediante el destilador solar es eficiente por:
 - a) Calidad del agua resultante del proceso cumple con normativa para ser evacuada sin perjuicio, condiciones para uso agrícola.

² bibliografía

- b) Se requiere de una inversión económica solo para la construcción ya que el mantenimiento no requiere de uso de sustancias químicas como en métodos tradicionales.
- c) El espacio físico requerido es pequeño.
- d) El manejo del destilador requiere solo de funciones de limpieza que pueden ser ejecutadas por personal no especializado.
- e) El sistema no genera contaminantes que resulten de difícil tratamiento.
- f) Se hace un uso eficiente de la energía
- g) Puede ser instalado en cualquier lugar

RECOMENDACIONES

- Se recomienda un lavado al destilador solar después de su uso por cada muestra para evitar contaminación.
- Se recomienda usar volúmenes bajos de agua para una mejor eficiencia del tiempo de destilación.

Se recomienda realizar más análisis de laboratorios de otros parámetros químicos ya que en los parámetros realizados en el presente trabajo muchos análisis son aptos para otro tipo de uso del agua ya tratada como para uso de riego y para fines recreativos.

BIBLIOGRAFÍA

AGUAPURAYSANA. *Destilación de agua un proceso natural.*

[en línea]. 2009. [Consulta: 15 mayo 2016].

Disponible en: <https://aguapuraysana.com/destilacion-de-agua-un-proceso-natural/+&cd=9&hl=es&ct=clnk&gl=ec>

BAIRD, C. *Química ambiental.*

[en línea]. s.l.: Reverte, 2001, p 257. [Consulta: 10 mayo 2016].

Disponible en: https://books.google.com.ec/books?id=bgUaHUqGPYIC&dq=Qu%C3%ADmica+a+ambiental&hl=es&source=gbs_navlinks_s

CASTILLA PRADOS, N. *Invernaderos de plástico: tecnología y manejo.*

[en línea] s.l.:Mundi-Prensa Libros, 2007, p. 65. [Consulta: 6 mayo 2016].

Disponible en:

https://books.google.com.ec/books?id=2kQZw3fNEPMC&dq=Invernaderos+de+pl%C3%A1stico:+tecnolog%C3%ADa+y+manejo&hl=es&source=gbs_navlinks_s

CASTRO, D. *Factores que determinan la evaporación.*

[en línea]. 2012. [Consulta: 18 mayo 2016].

Disponible en: <https://es.scribd.com/doc/91320497/FACTORES-QUE-DETERMINAN-LA-EVAPORACION>

COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA. *Manual Teórico Practico del Observador
Metereológico de Superficie.*

[en línea]. 2010. [Consulta: 06 abril 2016]. Disponible en:

<http://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/Libros2011/CD001679.pdf>

CONESA FERRER, J. A. *Mecanismos de transferencia de calor*. [en línea]. (2013).

[Consulta: 29 abril 2016].

Disponible en:

[https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/34475/1/Mecanismos%20de%20transmisi%C3%B3n%20de%20calor%20\(CONDUCCION,%20CONVECCION,%20RADIACION\).pdf](https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/34475/1/Mecanismos%20de%20transmisi%C3%B3n%20de%20calor%20(CONDUCCION,%20CONVECCION,%20RADIACION).pdf)

DUFFIE, J. A., & BECKMAN, W. A. *Solar Engineering of Thermal Processes*. [en línea].

4th Edición. Hoboken (New Jersey-USA): Fohn Wiley & Sons, 2005, pp. 1-133.

[Consulta: 27 abril 2016]. Disponible en:

https://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwi3_62Rq5vTAhVLNSYKHcEgBh4QFggiMAA&url=http%3A%2F%2Fgearju.com%2F225768904560%2FData%2FEngineering%2FSolar%2FSolar%2520Engineering%2520of%2520Thermal%2520Processes%2C%25204th%2520Edition%2520-%2520GearTeam.pdf&usg=AFQjCNEb_YXYv55J6OVepBswtEz46NrpTw&bvm=bv.152180690,d.eWESolar%20Engineering%20of%20Thermal%20Processes,%204th%20Edition%20-%20GearTeam%20.pdf

ESCALANTE, K., et. al. “Aplicaciones de herramientas de investigación acción participativa para purificación y calentamiento de agua para uso sanitario en comunidades andinas aisladas de Salta.” *Avances en energías renovables y medio ambiente*, [en línea].

(2010), (Argentina) n°14 pp 41. [Consulta: 12 abril 2016]. ISSN 0329-5184. Disponible

en: http://www.conicet.gov.ar/new_scp/detalle.php?keywords=&id=05446&inst=yes&articulos=yes&detalles=yes&art_id=1038100

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. *Una evaluación estratégica de la potencialidad para la piscicultura*. [en línea]. 2016.

[Consulta: 11 mayo de 2016]. Disponible en:

<http://www.fao.org/docrep/005/w5268s/W5268S08.htm>

FERNÁNDEZ DÍEZ, P. (s.f.). *Procesos termosolares en baja, media y alta temperatura.*

[en línea]. [Consulta: 29 abril 2016]. Disponible en:

http://manager.redsauce.net/AppController/commands_RSM/api/api_getFile.php?itemID=56&propertyID=20&RStoken=59e8ac1045d03e2ff6564c0638315f38

GÓNGORA LEYVA, E., et. al. Coeficientes de transferencia de calor en enfriadores de mineral laterítico a escala piloto”. *Minería Y Geología*. [en línea]. 2009, (Cuba) 25(3), pp. 10 - 11. [Consulta: 06 mayo 2016]. ISSN 19938012. Disponible en: <file:///C:/Users/SYSTEMarket/Downloads/103-207-2-PB.pdf>

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA. “Especificaciones sobre el registro y procesamiento de datos”. *ANUARIO METEOROLÓGICO*. [en línea]. 2014. (Ecuador) 51. pp. 4-8 [Consulta: 03 mayo 2016]. Disponible en: <http://www.serviciometeorologico.gob.ec/wp-content/uploads/anuarios/meteorologicos/Am%202011.pdf>

INSTITUTO PARA LA DIVERSIFICACIÓN Y AHORRO DE LA ENERGÍA. “Guía técnica para el diseño y cálculo del aislamiento térmico de conducciones, aparatos y equipos” *Eficiencia y Ahorro Energético*. [en línea], 2007, (España), 8, pp. 9-17 [Consulta: 05 mayo 2016]. ISBN 978-84-96680-08-1. Disponible en: http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_10540_Disenoycalculos_aislamiento_AISLAM_GT3_07_01ee3c15.pdf

INSTITUTO NACIONAL DE EFICIENCIA ENERGÉTICA Y ENERGÍAS

RENOVABLES. “*SOLAR*”[en línea]. 2015. (Ecuador). pp. 2-9. [Consulta: 04 mayo 2016]. Disponible en: http://www.iner.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/12/SOLAR_DOSSIER.pdf

J. NEBEL, B., & WRIGHT, R. *Ciencias ambientales: ecología y desarrollo sostenible*. [en línea]. Pearson Educación. (1999). [Consulta: 11 mayo 2016]. Disponible en: https://books.google.com.ec/books/about/Ciencias_ambientales.html?id=sy0dCa8xC5MC

MAE AÑO II - N°316. *Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes al Recurso Agua*.

MARÍN GALVÍN, R. *Procesos Físicoquímicos en Depuración de Aguas*. [en línea]. España: Díaz de Santos, 2012. [Consulta: 09 mayo 2016]. Disponible en: <http://www.editdiazdesantos.com/wwwdat/pdf/9788499693873.pdf>

METCALF, & EDDY. (1996). *Ingeniería de aguas residuales: Vol. 1 y Vol. 2: Tratamiento, vertido y reutilización*. 3a edición. Madrid - España: McGraw - Hill, 1996, pp. 1 - 1043.

RICE, WILLIAM. (2011). *La Condensación*. [en línea]. Teacher Created Materials. 2011. [Consulta: 29 mayo 2016]. Disponible en: [https://books.google.com.ec/books?id=q8XOyntKhcEC&dq=\).+La+Condensaci%C3%B3n.+Teacher+Created+Materials&source=gbs_navlinks_s](https://books.google.com.ec/books?id=q8XOyntKhcEC&dq=).+La+Condensaci%C3%B3n.+Teacher+Created+Materials&source=gbs_navlinks_s)

ROMERO ROJAS, Jairo. Alberto. *Calidad del agua*. Bogotá-Colombia: Escuela Colombiana de Ingeniería. 2002 pp. 65-74.

ROMERO ROJAS, Jairo. Alberto. *Tratamiento de aguas residuales: Teoría y principios de diseño*. 2ª ed. Bogotá-Colombia: Escuela Colombiana de Ingeniería, 2002 pp. 17-19.

SANTÍN LUNA, Cesar Eduardo. *Modelación y simulación dinámica para el diseño de un destilador solar.* [en línea]. (tesis). Universidad Nacional de Loja, Ecuador 2004. pp. 19-58. [Consulta: 29 abril 2016]. Disponible en:
[http://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/16572/1/Sant% C3% ADn% 20Luna,%20C%C3%A9sar %20Eduardo.pdf](http://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/16572/1/Sant%C3%ADn%20Luna,%20C%C3%A9sar%20Eduardo.pdf)

SITIOSOLAR. *Los destiladores solares.* [en línea]. (s.f.). 2013 [Consulta: 02 abril 2016].
Disponible en: <http://www.sitiosolar.com/los-destiladores-solares/>

YABROUDI, S. C., et. al. “Desalinización de agua empleando un destilador solar tubular”.
INTERCIENCIA. [en línea], 2011, (Venezuela) 36(10). pp. 1-7. [Consulta: 12 mayo 2016]. ISSN 0378-1844 Disponible en: http://www.interciencia.org/v36_10/731.pdf

ANEXOS

ANEXOS A

Diferentes espesores de vidrio y la cantidad de transmitancia.

Espesor (mm)	Transmitancia (%)				
	0°	15°	30°	45°	60°
3	86	86	86	84	77
4	85	84.5	84	82	75
5	83	83	82.5	80	73.5
6	81.5	81	81	78.5	72

Realizado por: Sabando Andrea, 2016.

ANEXO B

Medición de variables

Datos obtenidos en la medición del de variables del día miércoles 08/06/2016 del agua residual inicial del punto de descarga de “El Batán”.

HORA	TAc (°C)	TAg (°C)	TV (°C)	TAI (°C)	TAE (°C)	HR (%)	PR (°C)	Vel V(m/s)	Helio (h)
07:00	25	17	19	12	10.0	94.0	9.3	0.0	0.0
08:00	29	29	21	20					0.0
09:00	37	44	25	35					0.0
10:00	40	47	26	39	11.0	86.0	8.8	1.0	0.0
11:00	41	50	23	41					0.0
12:00	43	51	29	48					0.0
13:00	43	50	29	43	15.0	69.0	9.7	3.0	0.1
14:00	38	49	23	45					0.2
15:00	36	43	20	37					0.1
16:00	33	35	21	29	16.0	58.0	8.0	3.0	0.1
17:00	27	30	22	24					0.0
18:00	25	29	20	21					0.0
19:00	22	24	17	18	12.4	68.0	7.1	1.0	0.0

Realizado por: Sabando Andrea, 2016.

Datos obtenidos en la medición del de variables del día jueves 09/06/2016 del agua residual inicial del punto de descarga de “El Batán”.

HORA	TAc (°C)	TAg (°C)	TV (°C)	TAI (°C)	TAE (°C)	HR (%)	PR (°C)	Vel V(m/s)	Helio (h)
07:00	20	15	17	10	6.1	94	5.3	1	0.0
08:00	30	31	23	22					0.4
09:00	39	40	24	31					1.0
10:00	40	46	27	41	14	67	8.4	1	1.0
11:00	41	50	28	46					0.8
12:00	54	55	30	48					1.0
13:00	52	54	29	47	18.9	51	8.6	3	1.0
14:00	38	49	23	45					1.0
15:00	47	48	27	40					0.8
16:00	49	51	27	45	18.2	44	5.7	3	1.0
17:00	27	30	22	24					1.0
18:00	25	29	20	21					0.1
19:00	24	26	17	18	13	58	5.3	1	0.0

Realizado por: Sabando Andrea, 2016.

Datos obtenidos en la medición del de variables del día viernes 10/06/2016 del agua residual inicial del punto de descarga de “El Batán”.

HORA	TAc (°C)	TAg (°C)	TV (°C)	TAI (°C)	TAE (°C)	HR (%)	PR (°C)	Vel V(m/s)	Helio (h)
07:00	22	17	18	10	7.8	96	7.6	0	0.0
08:00	29	29	21	20					0.0
09:00	37	44	25	35					0.2
10:00	26	27	19	18	13	71	8.4	1	1.0
11:00	41	50	23	41					1.0
12:00	43	51	29	48					1.0
13:00	47	49	26	43	17.3	58	9.3	5	0.6
14:00	38	49	23	45					0.8
15:00	36	43	20	37					1.0
16:00	51	52	28	46	18.4	55	9.2	3	1.0
17:00	27	30	22	24					1.0
18:00	25	29	20	21					0.2
19:00	25	26	18	20	13.3	73	8.8	2	0.0

Fuente: Realizado por Sabando Andrea, 2016.

ANEXO C

Promedio de la medición de variables

Promedio de los datos obtenidos en la medición en horas críticas de los parámetros físicos de los días de destilación del agua del punto de descarga de “El Batán”.

Agua residual del punto de descarga de “El Batán”. 08/06/2016 - 10/06/2016								
HORA	T° Acero °C	T° Agua °C	T° Vidrio °C	T° Ambiente interno °C	T° Ambiente externo °C	Humedad Relativa %	Punto de Rocío °C	Velocidad del viento m/s
07:00 a. m.	22.3	16.3	18.0	10.7	8.0	94.7	7.4	0.3
10:00 a. m.	35.3	40.0	24.0	32.7	12.7	74.7	8.5	1.0
01:00p. m.	47.3	51.0	28.0	44.3	17.1	59.3	9.2	3.7
04:00p. m.	44.3	46.0	25.3	40.0	17.5	52.3	7.6	3.0
07:00p. m.	24.0	25.7	17.7	19.0	12.9	66.3	7.1	1.3

Realizado por: Sabando Andrea, 2016.

ANEXO D

Medición de variables

Datos obtenidos en la medición del de variables del día viernes 17/06/2016 del agua residual intermedia del punto de descarga de la “Familia Amaguayo-Sánchez”.

HORA	TAc (°C)	TAg (°C)	TV (°C)	TAI (°C)	TAE (°C)	HR (%)	PR (°C)	Vel V(m/s)	Helio (h)
07:00	25	21	14	18	8.7	96	8.3	1	0.1
08:00	28	29	17	21					0.4
09:00	35	38	21	30					0.7
10:00	33	39	21	31	12.8	76	8.9	2	0.2
11:00	39	40	21	33					0.0
12:00	40	40	21	35					0.1
13:00	45	44	23	35	17	50	6.7	3	0.4
14:00	47	45	21	34					0.5
15:00	44	45	20	31					0.5
16:00	36	39	19	31	15.2	61	7.9	3	0.5
17:00	25	28	18	23					0.1
18:00	19	21	17	19					0.0
19:00	15	18	15	17	11.7	81	9	2	0.0

Realizado por: Sabando Andrea, 2016.

Datos obtenidos en la medición del de variables del día sábado 18/06/2016 del agua residual intermedia del punto de descarga de la “Familia Amaguayo-Sánchez”.

HORA	TAc (°C)	TAg (°C)	TV (°C)	TAI (°C)	TAE (°C)	HR (%)	PR (°C)	Vel V(m/s)	Helio (h)
07:00	25	22	15	19	9.6	96	9.3	1	0.0
08:00	32	31	19	23					0.0
09:00	36	37	19	29					0.1
10:00	40	41	21	34	13.4	79	10.1	1	0.3
11:00	41	39	21	31					0.0
12:00	43	41	21	34					0.2
13:00	45	42	22	35	15	72	10.6	1	0.4
14:00	46	45	23	39					1.0
15:00	49	48	25	42					0.9
16:00	39	42	21	35	18.8	45	6.5	1	0.8
17:00	38	38	19	32					0.4
18:00	36	35	18	28					0.0
19:00	26	27	16	23	12.4	78	8.7	1	0.0

Realizado por: Sabando Andrea, 2016.

Datos obtenidos en la medición del de variables del día domingo 19/06/2016 del agua residual intermedia del punto de descarga de la “Familia Amaguayo-Sánchez”.

HORA	TAc (°C)	TAg (°C)	TV (°C)	TAI (°C)	TAE (°C)	HR (%)	PR (°C)	Vel V(m/s)	Helio (h)
07:00	24	20	14	18	9.5	94	8.7	1	0.0
08:00	31	30	17	23					0.0
09:00	36	38	21	31					0.6
10:00	36	39	22	39	15.7	68	10	1	0.9
11:00	51	46	26	42					0.6
12:00	51	52	34	44					0.9
13:00	45	42	25	36	16.9	60	9	2	0.2
14:00	41	40	21	33					0.0
15:00	40	41	20	34					0.0
16:00	38	39	21	38	15.8	62	8.5	4	0.0
17:00	26	29	18	32					0.0
18:00	20	21	15	20					0.0
19:00	19	20	14	17	12.1	81	9	1	0.0

Realizado por: Sabando Andrea, 2016.

Datos obtenidos en la medición del de variables del día lunes 20/06/2016 del agua residual intermedia del punto de descarga de la “Familia Amaguayo-Sánchez”.

HORA	TAc (°C)	TAg (°C)	TV (°C)	TAI (°C)	TAE (°C)	HR (%)	PR (°C)	Vel V(m/s)	Helio (h)
07:00	23	20	14	17	10	96	9.4	1	0.0
08:00	27	29	17	21					0.0
09:00	28	27	18	23					0.0
10:00	32	31	19	26	13	88	11	1	0.0
11:00	39	37	23	30					0.3
12:00	55	52	35	40					0.2
13:00	60	57	39	46	17.2	63	10.2	2	0.6
14:00	51	50	35	43					0.2
15:00	50	48	34	41					0.2
16:00	52	51	32	41	14.4	69	9	2	0.0
17:00	39	40	18	27					0.0
18:00	20	24	17	23					0.0
19:00	18	20	15	19	10.8	88	8.9	3	0.0

Realizado por: Sabando Andrea, 2016.

Datos obtenidos en la medición del de variables del día martes 21/06/2016 del agua residual intermedia del punto de descarga de la “Familia Amaguayo-Sánchez”.

HORA	TAc (°C)	TAg (°C)	TV (°C)	TAI (°C)	TAE (°C)	HR (%)	PR (°C)	Vel V(m/s)	Helio (h)
07:00	15	16	12	15	9.4	96	8.8	1	0.0
08:00	22	23	15	17					0.0
09:00	29	28	21	27					0.0
10:00	38	35	21	29	13	82	10.1	2	0.0
11:00	41	37	21	31					0.0
12:00	42	40	22	34					0.0
13:00	44	43	24	35	13.8	75	9.7	1	0.0
14:00	38	39	20	33					0.0
15:00	37	36	20	31					0.3
16:00	36	34	19	29	15.2	53	5.7	4	0.4
17:00	30	29	18	24					0.1
18:00	25	24	17	20					0.0
19:00	20	21	14	16	12.2	64	5.5	4	0.0

Realizado por: Sabando Andrea, 2016.

Datos obtenidos en la medición del de variables del día miércoles 22/06/2016 del agua residual intermedia del punto de descarga de la “Familia Amaguayo-Sánchez”.

HORA	TAc (°C)	TAg (°C)	TV (°C)	TAI (°C)	TAE (°C)	HR (%)	PR (°C)	Vel V(m/s)	Helio (h)
07:00	14	15	13	11	8.8	96	8.2	0	0.0
08:00	18	19	16	13					0.0
09:00	21	22	21	20					0.0
10:00	27	26	22	27	11.2	88	9.5	1	0.0
11:00	32	30	21	29					0.0
12:00	31	31	20	28					0.0
13:00	35	36	23	30	12.7	84	10.2	1	0.0
14:00	41	40	22	31					0.1
15:00	44	44	23	33					0.0
16:00	48	47	24	35	14	63	7.5	6	0.1
17:00	41	43	19	29					0.9
18:00	25	26	16	22					0.2
19:00	20	19	16	19	10.7	82	8.1	2	0.0

Realizado por: Sabando Andrea, 2016.

ANEXO E

Promedio de la medición de variables

Promedio de los datos obtenidos en la medición en horas críticas de los parámetros físicos de los días de destilación del agua del punto de descarga de la "Familia Amaguayo-Sánchez".

Agua residual del punto de descarga de la "Familia Amaguayo-Sánchez". 17/06/2016 - 22/06/2016								
HORA	T° Acero °C	T° Agua °C	T° Vidrio °C	T° Ambiente interno °C	T° Ambiente externo °C	Humedad Relativa %	Punto de Rocío °C	Velocidad del viento m/s
07:00a. m.	21.0	19.0	13.7	16.3	9.3	95.7	8.8	0.8
10:00a. m.	29.4	35.2	21.0	31.0	13.2	80.2	9.9	1.3
01:00p. m.	45.7	44.0	26.0	36.2	15.4	67.3	9.4	1.7
04:00p. m.	41.5	42.0	22.7	34.8	15.6	58.8	7.5	3.3
07:00p. m.	19.7	20.8	15.0	18.5	11.7	79.0	8.2	2.2

Realizado por: Sabando Andrea, 2016.

ANEXO F

Medición de variables

Datos obtenidos en la medición del de variables del día miércoles 29/06/2016 del agua residual final del punto de descarga de la “Empresa TEIMSA”.

HORA	TAc (°C)	TA _g (°C)	TV (°C)	TAI (°C)	TAE (°C)	HR (%)	PR (°C)	Vel V(m/s)	Helio (h)
07:00	19	18	21	19	9.2	91	8	1	0.2
08:00	30	29	27	25					1.0
09:00	45	48	29	29					1.0
10:00	64	57	33	31	15.8	55	6.8	2	0.9
11:00	65	59	28	51					0.9
12:00	55	54	25	45					0.5
13:00	60	54	29	47	18.5	49	7.9	3	0.4
14:00	43	46	21	37					0.3
15:00	43	42	27	34					0.3
16:00	45	46	28	35	15.8	60	8.3	4	0.0
17:00	37	36	23	31					0.0
18:00	34	33	21	26					0.0
19:00	30	29	17	20	11.1	82	8.5	2	0.0

Realizado por: Sabando Andrea, 2016.

Datos obtenidos en la medición del de variables del día jueves 30/06/2016 del agua residual final del punto de descarga de la “Empresa TEIMSA”.

HORA	TAc (°C)	TA _g (°C)	TV (°C)	TAI (°C)	TAE (°C)	HR (%)	PR (°C)	Vel V(m/s)	Helio (h)
07:00	18	19	14	16	9	92	7.9	1	0.0
08:00	24	24	19	19					0.1
09:00	32	34	23	27					0.2
10:00	41	39	22	29	11.9	76	8	2	0.0
11:00	41	37	21	31					0.1
12:00	49	47	25	34					0.3
13:00	55	52	29	41	16.2	57	7.9	2	0.0
14:00	55	55	28	44					0.0
15:00	54	53	26	38					0.0
16:00	51	50	24	35	15.8	60	8.3	2	0.0
17:00	33	35	20	24					0.3
18:00	25	25	19	21					0.0
19:00	20	21	16	20	11.2	81	8.2	2	0.0

Realizado por: Sabando Andrea, 2016.

Datos obtenidos en la medición del de variables del día viernes 01/07/2016 del agua residual final del punto de descarga de la “Empresa TEIMSA”.

HORA	TAc (°C)	TAg (°C)	TV (°C)	TAI (°C)	TAE (°C)	HR (%)	PR (°C)	Vel V(m/s)	Helio (h)
07:00	18	19	14	16	9	92	7.9	1	0.0
08:00	24	24	19	19					0.1
09:00	32	34	23	27					0.2
10:00	41	39	22	29	11.9	76	8	2	0.0
11:00	41	37	21	31					0.1
12:00	49	47	25	34					0.3
13:00	55	52	29	41	16.2	57	7.9	2	0.0
14:00	55	55	28	44					0.0
15:00	54	53	26	38					0.0
16:00	51	50	24	35	15.8	60	8.3	2	0.0
17:00	33	35	20	24					0.3
18:00	25	25	19	21					0.0
19:00	20	21	16	20	11.2	81	8.2	2	0.0

Fuente: Realizado por Sabando Andrea, 2016.

Datos obtenidos en la medición del de variables del día sábado 02/07/2016 del agua residual final del punto de descarga de la “Empresa TEIMSA”.

HORA	TAc (°C)	TAg (°C)	TV (°C)	TAI (°C)	TAE (°C)	HR (%)	PR (°C)	Vel V(m/s)	Helio (h)
07:00	23	20	15	18	8.9	95	8.4	1	0.0
08:00	28	30	19	23					0.0
09:00	35	38	21	30					0.0
10:00	46	45	33	31	12.3	78	8.5	2	0.0
11:00	48	49	34	39					0.4
12:00	55	54	25	40					0.1
13:00	52	51	28	39	15	67	8.9	3	0.1
14:00	51	50	24	35					0.6
15:00	47	45	27	38					0.9
16:00	49	49	29	41	14	66	8	2	0.3
17:00	46	45	24	37					0.7
18:00	36	37	23	31					0.4
19:00	22	23	18	24	13	67	7.2	1	0.0

Realizado por: Sabando Andrea, 2016.

ANEXO G

Promedio de la medición de variables

Promedio de los datos obtenidos en la medición en horas críticas de los parámetros físicos de los días de destilación del agua del punto de descarga de la "Empresa TEIMSA".

Agua residual del punto de descarga de la "Empresa TEIMSA". 29/06/2016 - 02/06/2016								
HORA	T° Acero °C	T° Agua °C	T° Vidrio °C	T° Ambiente interno °C	T° Ambiente externo °C	Humedad Relativa %	Punto de Rocío °C	Velocidad del viento m/s
07:00a. m.	19.3	18.0	17.0	18.0	9.1	92.0	8.0	0.8
10:00a. m.	53.3	49.8	30.3	35.0	14.7	64.3	7.8	1.8
01:00p. m.	58.5	56.3	29.0	44.8	17.3	54.0	7.9	2.8
04:00p. m.	51.3	51.0	27.3	39.3	16.0	58.5	8.0	2.8
07:00p. m.	25.0	25.0	17.3	21.3	11.8	76.8	8.1	1.8

Realizado por: Sabando Andrea, 2016.

ANEXO H

Muestreo de las aguas residuales



ANEXO I

Muestra de agua residual tomada punto de descarga de la “Empresa TEIMSA”



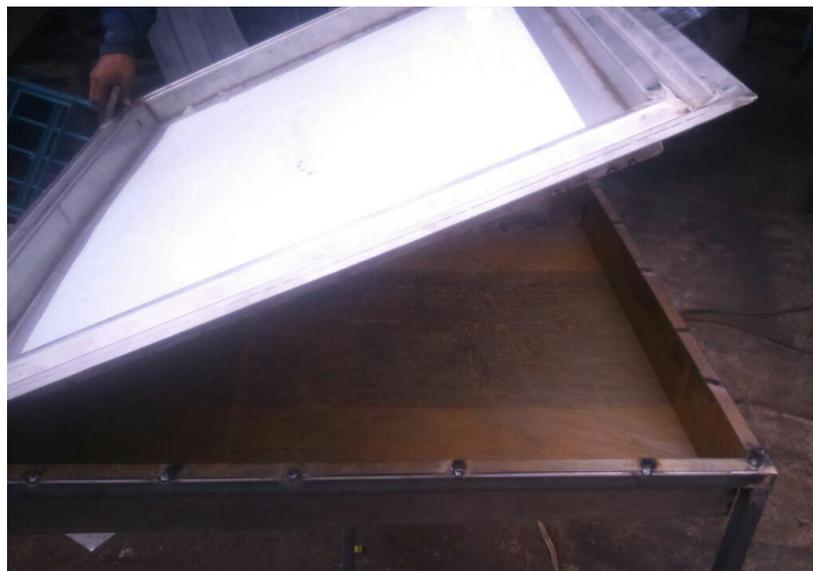
ANEXO J

Pre tratamiento del agua residual a tratar



ANEXO K

Construcción del destilador solar de aguas residuales



ANEXO L

Equipamiento del destilador solar



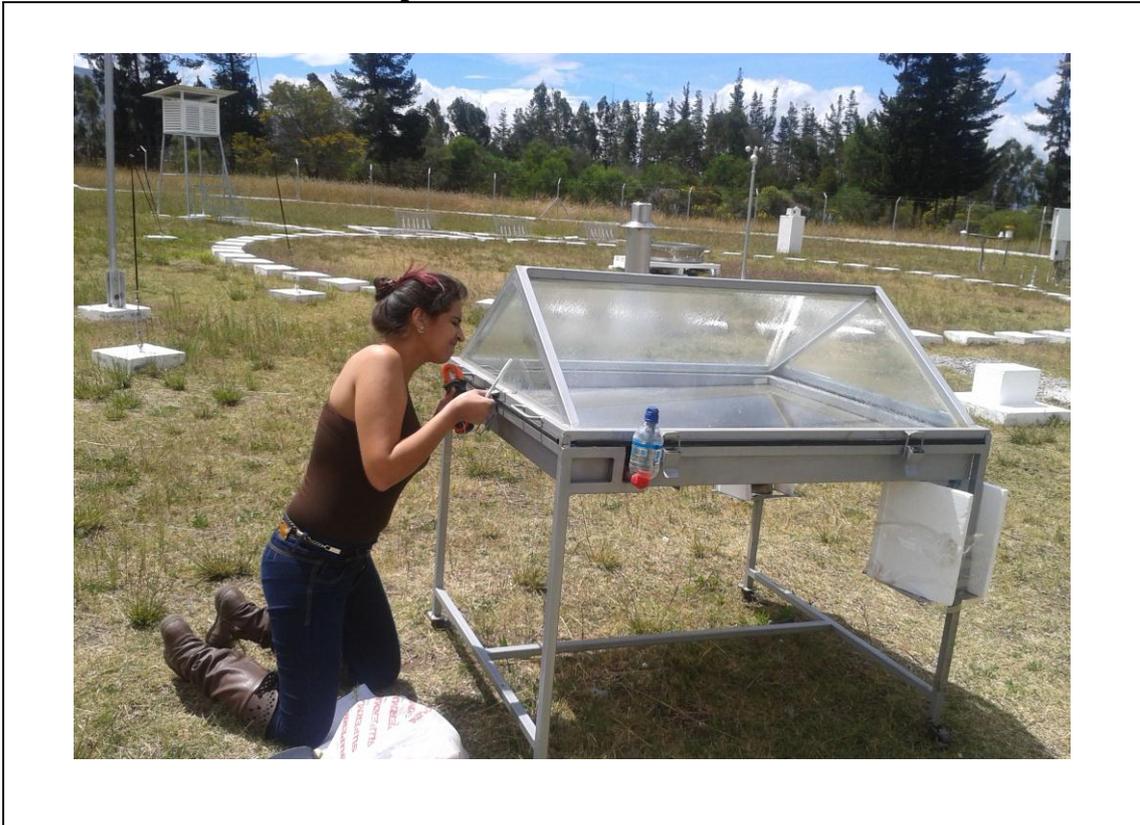
ANEXO M

Destilador solar para tratar agua residual



ANEXO N

Operatividad del Destilador solar



ANEXO Ñ

Pruebas experimentales del destilador solar para tratar agua residual



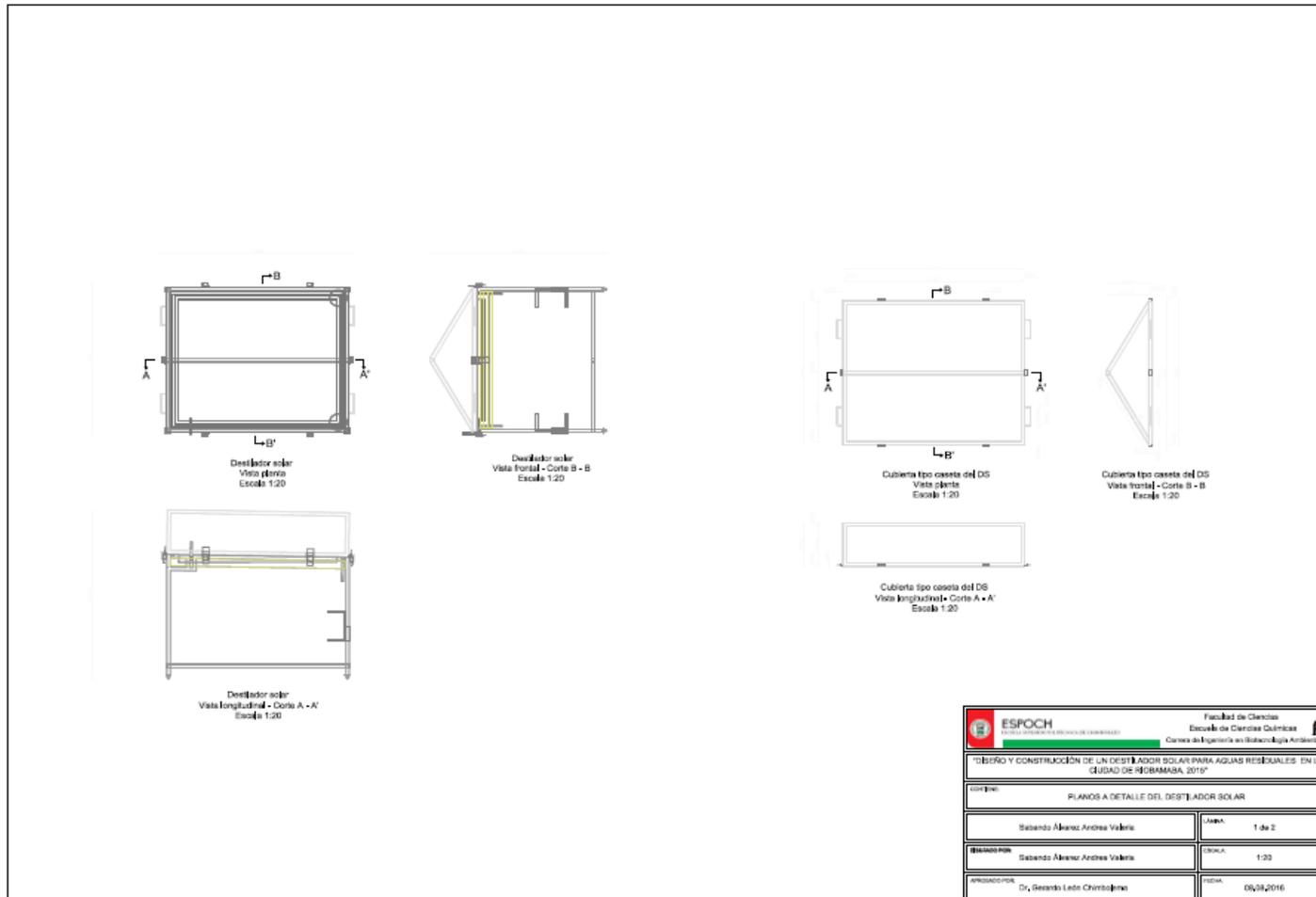
ANEXO O

Limpieza de destilador solar para tratar agua residual

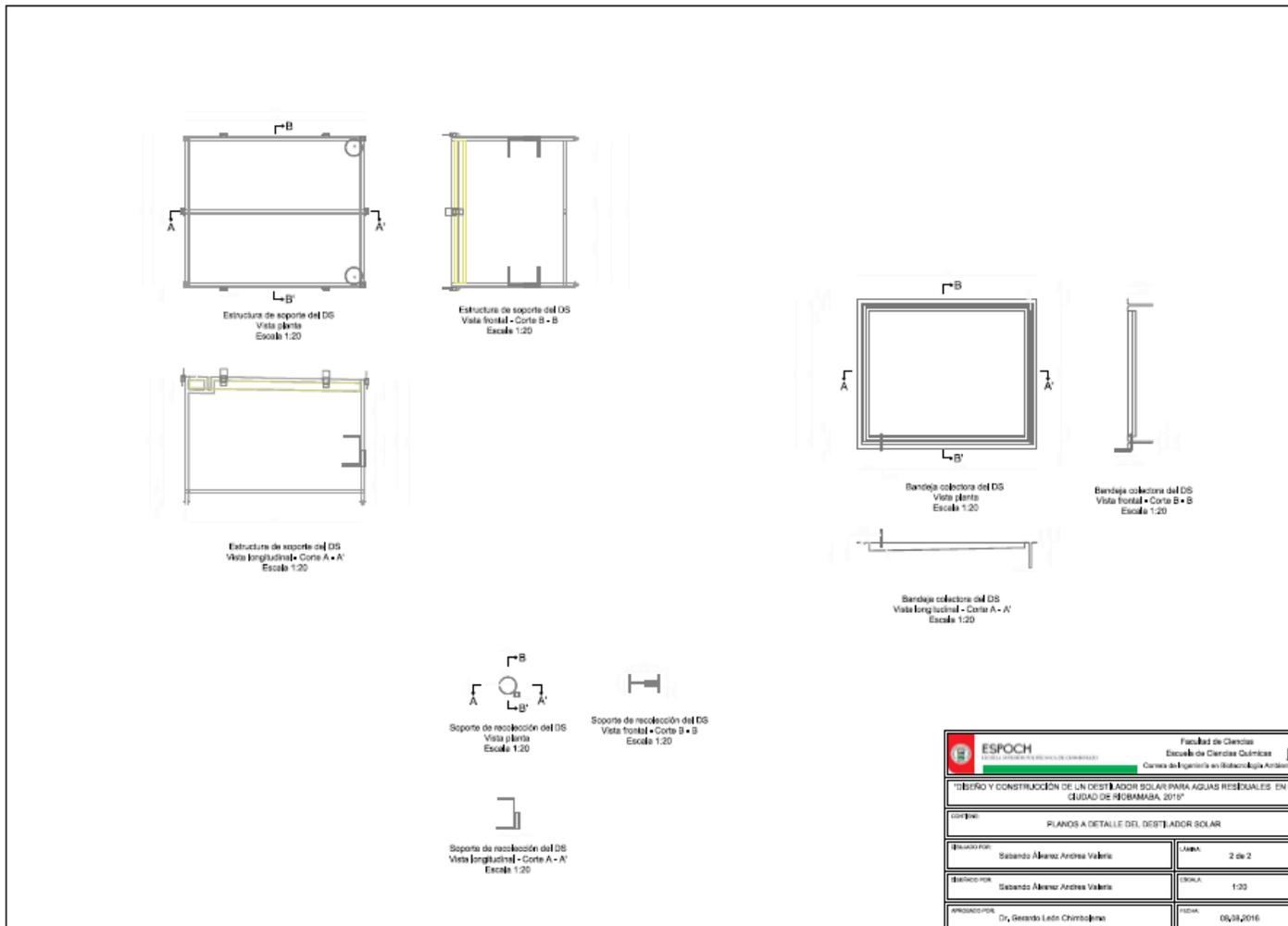


ANEXO P

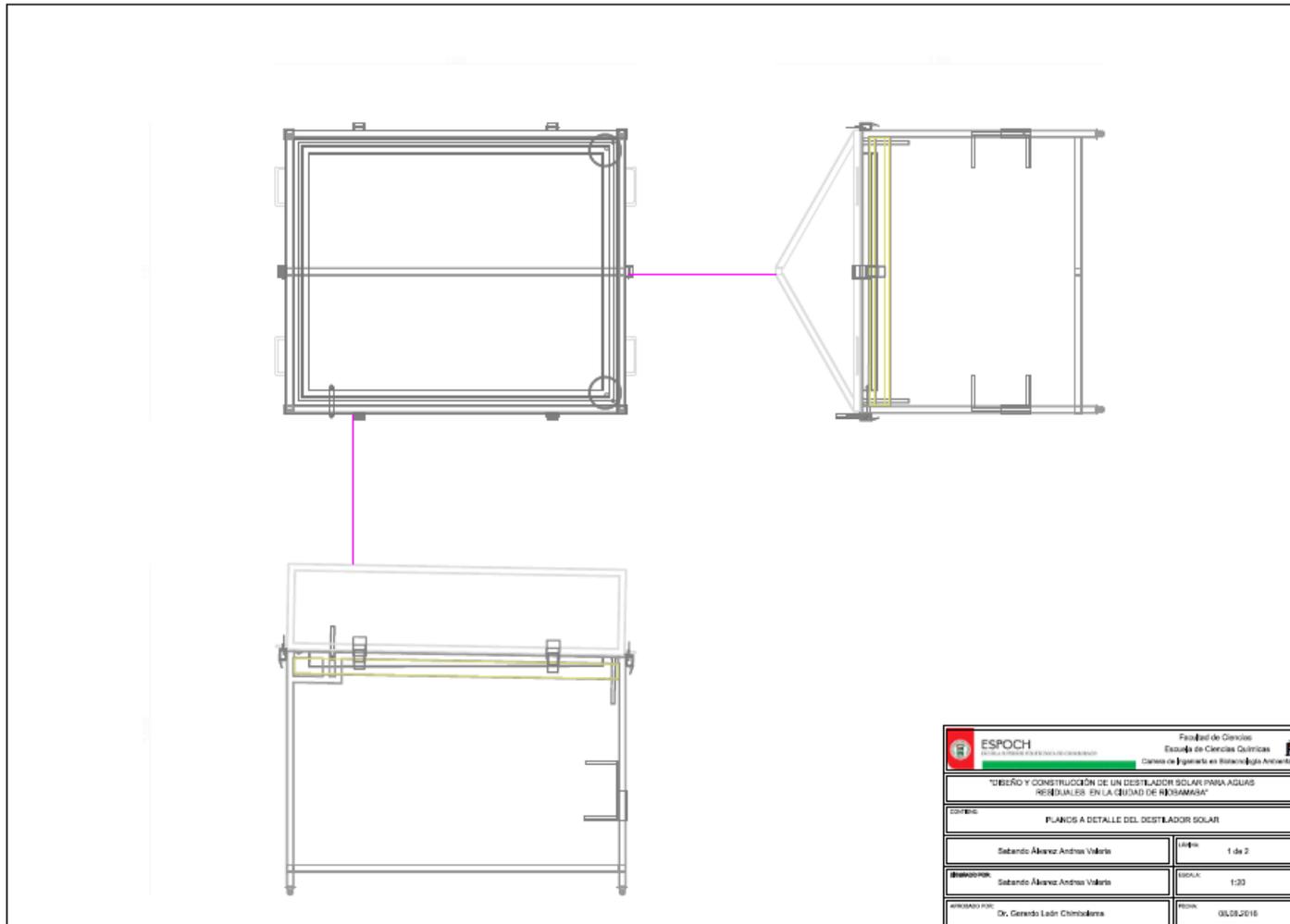
Planos del destilador solar



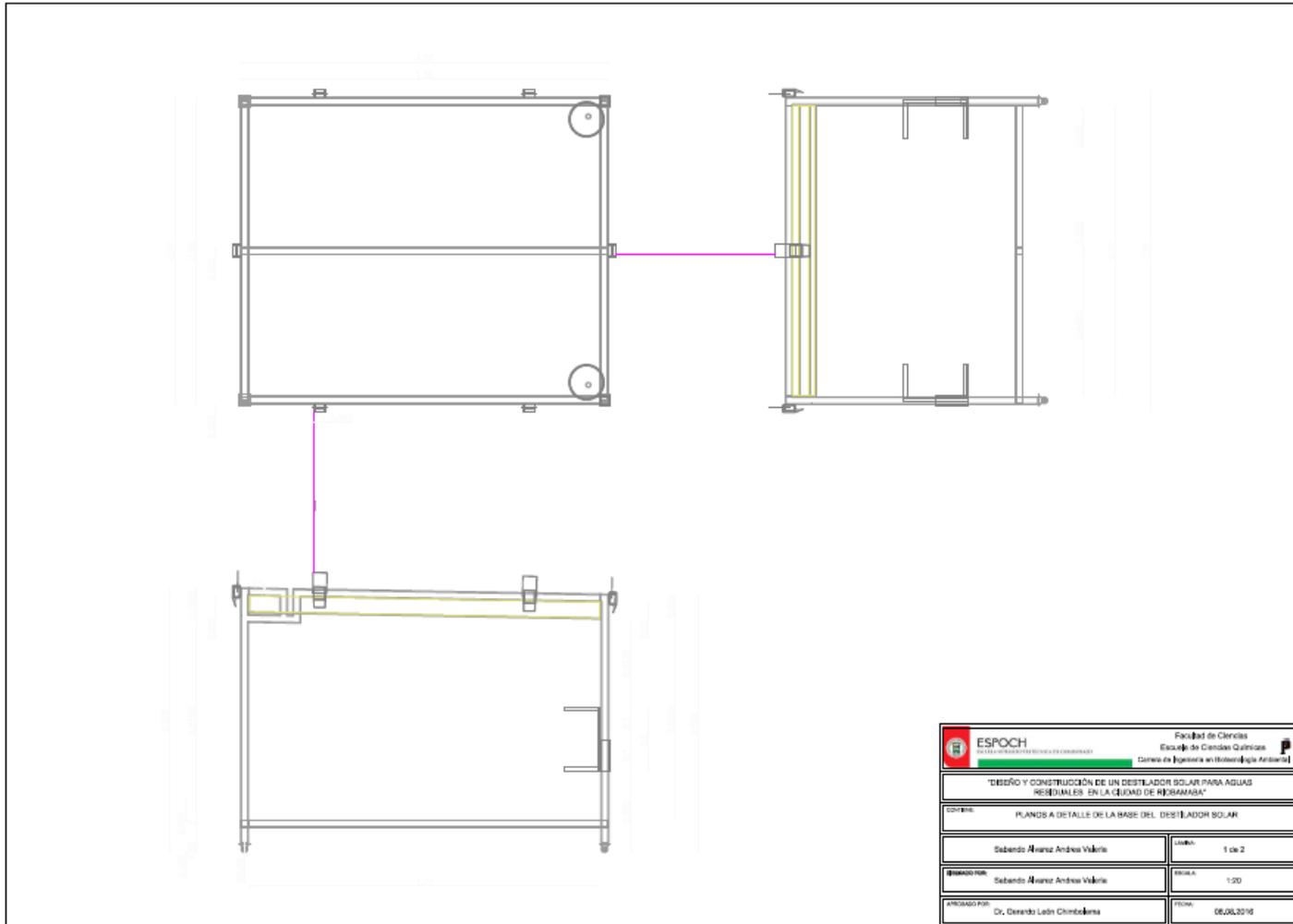
Realizado por: Sabando Andrea, 2016.



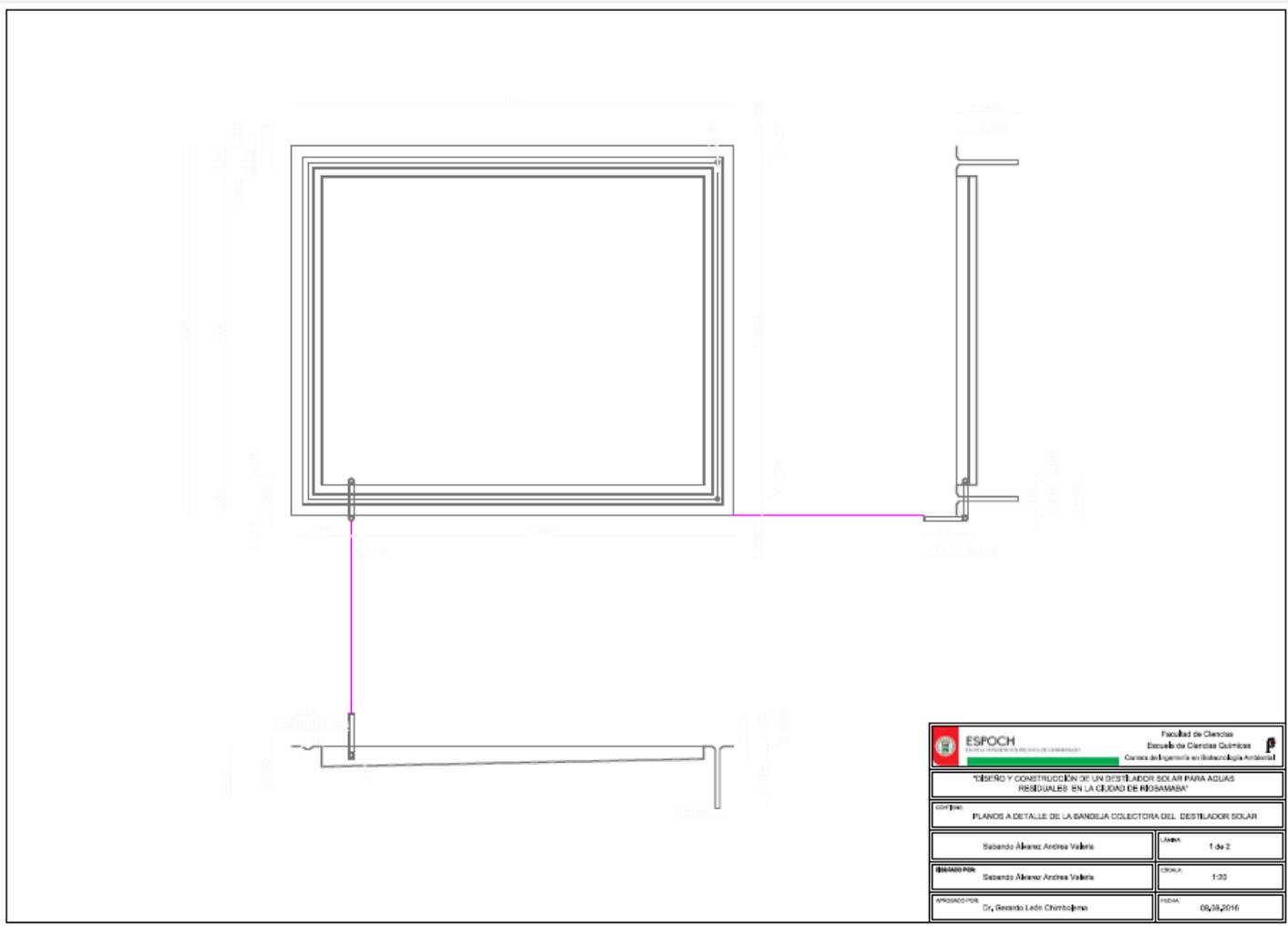
Realizado por: Sabando Andrea, 2016.



Realizado por: Sabando Andrea, 2016.



Realizado por: Sabando Andrea, 2016.



Realizado por: Sabando Andrea, 2016.