

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA



**DISEÑO, CONSTRUCCION Y VALIDACIÓN
DE UN DESTILADOR SOLAR PARA USO
EN LOS LABORATORIOS DE LA PLANTA PILOTO
DE LA ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA**

PRESENTADO POR:

FRANCISCO RENÉ HUEZO BAUTISTA

JAZMIN IDALIA MORÁN URRUTIA

PARA OPTAR AL TITULO DE:

INGENIERO QUÍMICO

CIUDAD UNIVERSITARIA, MAYO DE 2012

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR :

ING. MARIO ROBERTO NIETO LOVO

SECRETARIA GENERAL :

DRA. ANA LETICIA ZA VALETA DE AMAYA

FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

DECANO :

ING. FRANCISCO ANTONIO ALARCÓN SANDOVAL

SECRETARIO :

ING. JULIO ALBERTO PORTILLO

ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA

DIRECTORA :

ING. TANIA TORRES RIVERA

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA

Trabajo de Graduación previo a la opción al Grado de:

INGENIERO QUIMICO

Título :

**DISEÑO, CONSTRUCCION Y VALIDACIÓN DE UN
DESTILADOR SOLAR PARA USO EN LOS
LABORATORIOS DE LA PLANTA PILOTO DE LA
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA**

Presentado por :

FRANCISCO RENÉ HUEZO BAUTISTA

JAZMIN IDALIA MORÁN URRUTIA

Trabajo de Graduación Aprobado por :

Docentes Directores :

MAE. Ing. Fernando Teodoro Ramírez Zelaya

Ing. Gustavo Salomón Torres Ríos Lazo

San Salvador, mayo de 2012

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docentes Directores :

MAE. Ing. Fernando Teodoro Ramírez Zelaya

Ing. Gustavo Salomón Torres Ríos Lazo

Agradecimientos

A **Dios** todopoderoso y a la **Virgen de Guadalupe** por acompañarnos siempre en todas las actividades realizadas durante el desarrollo de la carrera.

Al **Ing. Mario Roberto Nieto Lovo**, Rector de la Universidad de El Salvador, por su desinteresada colaboración en todo momento.

Al **Ing. Salomón Rivas Martínez**, Jefe del Departamento de Recursos Naturales y Medio Ambiente de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador.

Al **Ing. José Roldán Tobar**, Coordinador del Área Meteorológica, Facultad de Ciencias Agronómicas, de la Universidad de El Salvador.

Al **Ing. Edwin Escobar**, Coordinador del Área de Ingeniería y Mantenimiento, Dirección General del Observatorio Ambiental, Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales

Al **Ing. Saúl Canjura**, Coordinador del Observatorio Ambiental, Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

Al **Lic. Víctor Laureano Cortéz Navas**, Director de la Escuela de Física, Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas, Universidad de El Salvador.

Al **Br. Edwin Adverdi Pérez Ventura**, Técnico de Laboratorio de Estado Sólido y Fuentes Renovables de Energía, Escuela de Física, Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas.

A los Señores **Alexander Padilla** y **Oscar Morán**, Técnicos de Laboratorio de la Planta Piloto, Escuela de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad de El Salvador.

A los **docentes de la Escuela de Ingeniería Química** de la Universidad de El Salvador, por su valiosa contribución a nuestra formación profesional.

Al **Ing. Teodoro Ramírez**, por creer desde el inicio en nuestra idea de Trabajo de Graduación.

Al **Ing. Salomón Torres**, por sus valiosos consejos y por enseñarnos a seguir adelante a pesar de las circunstancias.

A **nuestras familias**, por estar siempre ahí y creer en nosotros desde siempre.

A **todos**, gracias y que Dios bendiga sus familias y les regale mucha salud siempre.

Jazmín Morán y René Huevo.

Dedicatoria

Al creador del Sol, Dios Todopoderoso y la Virgencita de Guadalupe, gracias a ellos, este Trabajo de Graduación ha sido llevado a cabo de manera exitosa, quienes siempre me acompañaron en esos días “Soleados y grises” cuya presencia experimenté siempre.

A los guerreros que han inspirado mi vida y a quienes debo estar donde estoy, Mamá Adelita (Q.E.P.D.) y a Papa Ú, mis abuelos, a quienes nunca podré pagar todo lo que hicieron por mí.

A mi hermano Raúl Huevo, con quien siempre enfrentamos pruebas, retos y aventuras desde muy pequeños, y que pese a los obstáculos logramos salir adelante, te quiero mucho manito.

A mi Papá, Dr. Raúl Huevo, a quien quiero, admiro y respeto, por enseñarme como salir adelante a pesar de las dificultades que me presente la vida y nunca desvanecer ante la adversidad, y por creer en mí cuando muchos no lo hacían, gracias papá.

A mis hermanitas: Adelita, Anita, Belem, Faby, Lupita y Clarissa, a quienes dedico este esfuerzo, que sea para ellas una muestra de hasta donde podemos llegar si nos lo proponemos y somos constantes siempre.

A mi compañera de Trabajo de Graduación y amiga Jazmín Morán, te deseo éxitos en tu vida profesional, mucha salud y bendiciones.

A mi Beita, mi amiga, compañera ideal, confidente, mi ayuda idónea, con quien deseo compartir el resto de mi vida.

A la Huezada, aquí está el primer Ingeniero Químico de la Familia.

A mi mamá, Sra. Aurora Bautista Römke quien a pesar de la distancia ha estado ahí para escucharme, Dios te bendiga.

A mi mejor amigo y hermano Dr. Allan Rivera, y a todos mis amigos Darío, Roberto, Celeste, Aura, Mora, Nidia, Isma, Fer, El Lic, las niñas de Ing. de Alimentos, por estar ahí siempre, en las buenas y no tan buenas.

A mis hermanos de Comunidad Gilberto, Ixchel y Marce, gracias porque puedo contar con ustedes siempre.

A mis profesores, por colaborar en mi formación de criterio como Ingeniero, Dios bendiga sus vidas, sus familias y les regale mucha salud.

René Huevo

Dedicatoria

A Dios Padre por brindarme la vida y la oportunidad de llegar hasta donde Él lo ha permitido ya que este logro es de y para Él, a Dios Hijo por ser mi inspiración de lucha y perseverancia, y a Dios Espíritu por ser mi consuelo en los momentos de incertidumbre.

A mis padres Alex Fernando y Marta Alicia, por todo su amor y trabajo, gracias a su esfuerzo ahora logro coronar mi carrera, gracias por apoyarme siempre en todas mis decisiones ya sean buenas y malas, gracias por darme aliento para seguir adelante cuando lo he necesitado. Les dedico este triunfo ya que mas que mío es de ustedes los amo Bendiciones.

A mi Hermana Sofía Morán, gracias por tu apoyo y por ser mi ejemplo de carácter, y a su hijo Cristian Fernando mi bello sobrino porque me ha enseñado lo bello que es el amor.

A mi compañero de Trabajo de Graduación René Huevo, gracias por ser perseverante y por tu amistad en los momentos difíciles. Gracias por estar al frente del cañón en esta batalla que al fin ganamos. Y te deseo éxitos inmensos en esta carrera que apenas comienza.

A Bea por toda tu ayuda y tiempo brindado, por darnos aliento y por todos tus consejos en aquellos detalles que por el cansancio no lográbamos observar. Dios te bendiga siempre.

A mis amigas y amigos Mario, Yami, Cristi, Raquel, Nidia y Aurita, Rocio, Irma, Elo, William, Karlita Sanchez, Gracias por todo su amor y todos sus consejos han sido una parte importante en mi vida saben que cada una/o tiene un pedazo de mi corazón y les agradezco por ser mi bastón de apoyo cuando lo he necesitado.

Gracias a ti Nestor por todo tu amor y comprensión te agradezco por tu ternura y por escucharme siempre, que Dios te bendiga y gracias por tu inmenso apoyo.

A mis amigas y amigos de estudio Nidia, Aura, Celeste, Roberto, Darío, Mora más que ustedes saben lo que significa tener el apoyo de amigos en los días de cansancio, en las dificultades y en las alegrías de los triunfos de cada una de las materias que cursamos. Les agradezco su amistad, amor y apoyo que nos brindamos durante toda la carrera.

A la familia Aguilera Orellana, por todo su apoyo y amor que me brindaron en gran parte de la carrera, han sido unos ángeles que estuvieron ayudándome cuando más lo necesitaba Dios los bendiga a todos.

A mis asesores de tesis Ing. Salomón Torres y el Ing. Fernando Ramírez, gracias por todo su apoyo durante la investigación realizada, por todos sus consejos, dedicación y todo su tiempo brindado para este logro, Bendiciones.

A los profesores de cada una de las materias que cursamos, gracias por compartir sus conocimientos, gracias por todos sus consejos ya que se tomaban algunos minutos para darnos consejos de la vida. Gracias por todo.

Y a todos aquellos que de una u otra forma me brindaron su apoyo para alcanzar este triunfo.

Jazmín Morán

Resumen

Aunque la distancia del sol a la tierra ronda los 150 millones de Kilómetros, la radiación emitida por el mismo, llega a la tierra con intensidad, tal es el caso de nuestro país El Salvador, el cual recibe una gran cantidad de radiación solar diariamente, energía que es utilizada por los organismos vivos para su supervivencia, y que además puede ser utilizada en distintos proyectos, los cuales al ser implementados gozarían de una fuente de energía limpia y renovable.

En el presente documento se muestra en primer lugar el diseño de un equipo de destilación solar, utilizando ecuaciones de John Duffie y William Beckmam (1981), catedráticos universitarios estadounidenses, los cuales han dedicado su vida al estudio de la energía solar, luego de diseñar el equipo se procedió a la confrontación con la realidad, la gestión de los distintos materiales para su realización, su disponibilidad en el mercado local y su reemplazo, sin disminuir la eficiencia del equipo diseñado, luego se muestran los ajustes realizados al equipo construido para su correcto funcionamiento y puesta en marcha, para realizar las respectivas mediciones, tales como la temperatura en cada uno de los puntos que son clave para la producción de agua destilada, radiación solar, velocidad del viento, etc.

Luego de proceder a dar marcha al equipo se realizaron mediciones de la cantidad de agua adicionada al equipo y cantidad de agua producida por el sistema en un periodo de tiempo determinado, se realizó el análisis de los resultados obtenidos y las respectivas observaciones, conclusiones y recomendaciones para futuros proyectos de energías renovables.

Esperamos que este proyecto fomente el uso de las energías renovables ya que estas tienen la bondad que constituyen energías limpias que no generan residuos apreciables al ecosistema, y su viabilidad proporciona herramientas para que pueda considerarse la alternativa de ser implementados en nuestro país.

Tabla de contenido

CAPITULO I.....	1
Marco Teórico.....	1
1.1 Introducción.....	1
1.2 Generalidades de la energía solar.....	1
1.2.1 Definiciones.....	2
1.2.2 Radiación solar.....	3
1.2.3 Medición de la radiación solar.....	4
1.2.4 Variabilidad de la radiación solar en El Salvador.....	6
1.2.5 Radiación directa sobre una superficie inclinada.....	7
1.2.6 Tipos y usos de la energía solar.....	13
1.3 Destiladores Solares.....	19
1.3.1 Tipos de destiladores solares.....	19
1.3.2 Aplicaciones de los procesos de destilación.....	22
1.3.3 Balances de materia y energía involucrados en un destilador solar.....	24
1.3.4 Rendimiento de los destiladores solares.....	36
1.4 Propiedades del agua.....	39
CAPITULO II.....	49
Diseño del Destilador Solar.....	49
Introducción.....	49
2.2 Consideraciones del proceso de diseño.....	49
2.2.1 Alternativas de Selección.....	49
2.2.2 Diseño del modelo experimental.....	52
2.3 Balance de energía en el sistema.....	64
2.4 Prototipo del modelo experimental.....	79
2.5 Descripción de las partes del equipo.....	82
CAPITULO III.....	87

Construcción y ajustes del destilador solar.....	87
3.1 Introducción.....	87
3.2 Principios de funcionamiento.....	87
3.3 Esquema del equipo.....	88
3.4 Selección de Materiales.....	88
3.5 Construcción detallada del destilador solar y parámetros claves.....	89
3.5.1 Funcionamiento del equipo.....	93
3.6 Aspectos económicos.....	96
CAPITULO IV.....	107
Fase experimental.....	107
4.1 Introducción.....	107
4.2 Definición de variables y parámetros a analizar.....	107
4.3 Recopilación de datos experimentales.....	109
4.4 Validación de resultados.....	113
4.4.1 Resultados obtenidos.....	114
CONCLUSIONES.....	141
OBSERVACIONES.....	144
RECOMENDACIONES.....	145
ANEXOS.....	147
ANEXO A. MARCHA ANALÍTICA PARA DETERMINACIÓN DE TEMPERATURA DE MUESTRA DE AGUA.....	148
ANEXO B. MARCHA ANALÍTICA PARA LA MEDICIÓN DE PH.....	149
ANEXO C. MARCHA ANALITICA PARA MEDIR CONDUCTIVIDAD.....	151
ANEXO D. MARCHA ANALÍTICA PARA MEDICIÓN DE SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS.....	154
ANEXO E. MARCHA ANALITICA PARA MEDICION DE SILICE.....	156
ANEXO F. MARCHA ANALÍTICA PARA LA DETERMINACIÓN DE CARBONO ORGÁNICO TOTAL.....	160

ANEXO G. RESULTADOS DE LA DETERMINACIÓN DE CONTENIDO DE SÍLICE EN AGUA DE GRIFO.....	167
ANEXO H. RESULTADOS DE LA DETERMINACIÓN DE CONTENIDO DE CARBONO ORGÁNICO TOTAL.....	169
ANEXO I. GUIA DE EVALUACIÓN DE PARAMETROS PARA CHECAR CALIDAD DEL AGUA DESTILADA.....	171
CATALOGO DESTILADOR SOLAR.....	172
GLOSARIO DE TERMINOS.....	
REFERENCIAS.....	176

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.1	El Sol.....	2
Figura 1.2	Mapa de radiación solar mundial.....	3
Figura 1.3	Comparación entre Intensidad de radiación directa e intensidad de radiación difusa sobre San Salvador.....	4
Figura 1.4	Ángulos de posición del sol.....	5
Figura 1.5	Acimut de superficie.....	9
Figura 1.6	Fenómeno natural de la evaporación del agua.....	19
Figura 1.7	Balance de materia y energía involucradas en un destilador solar.....	24
Figura 1.8	Curva típica de ebullición del agua a 1 bar.....	30
Figura 1.9	Balance global y eficiencia.....	32
Figura 1.10	Balance de calor sobre el agua.....	33
Figura 1.11	Resistividad eléctrica frente al pH del agua destilada.....	47
Figura 2.1	Resistencia de los materiales aislantes en el equipo.....	66
Figura 2.2	Vista de las longitudes del destilador.....	75
Figura 2.3	Artificio para determinar dimensión de diagonal del destilador.....	75
Figura 2.4	Prototipo experimental del destilador solar.....	80
Figura 2.5	Rectángulo de vidrio.....	82
Figura 2.6	Triangulo de vidrio.....	83
Figura 2.7	Estructura para la cubierta elaborada con ángulo de hierro	83
Figura 2.8	Colector para el agua destilada.....	84
Figura 2.9	Bandeja de acero inoxidable.....	84
Figura 2.10	Estructura de soporte para el destilador.....	85
Figura 3.1	Propuesta de diseño para el destilador solar tipo invernadero.....	88
Figura 3.2	Estructura metálica principal del equipo.....	90

Figura 3.3	Estructura de hierro ajustable donde descansa la pileta de cerámica.....	90
Figura 3.4	Sistema de tuberías colectoras.....	90
Figura 3.5	Instalación de planchas de vidrio.....	90
Figura 3.6	Vista de cubierta de vidrio luego que secura el silicón.....	91
Figura 3.7	Instalación de cerámica para construcción de pileta (Evaporador)	91
Figura 3.8	Vista de alineación de las piezas de cerámica durante la instalación.....	91
Figura 3.9	Equipo utilizado para verificación de nivel en la estructura de la bandeja, de tal manera que el agua se distribuya uniformemente sobre la misma.....	92
Figura 3.10	Medición y cortes de piezas de cerámica.....	92
Figura 3.11	Ejecución de cortes precisos para construcción de bandeja	92
Figura 3.12	Pileta de cerámica (Evaporador).....	93
Figura 3.13	Adición de materia prima (agua de grifo) al sistema de destilación.....	93
Figura 3.14	Tubería que transporta el agua alimentada al sistema hacia la bandeja de cerámica.....	93
Figura 3.15	Tubería de alimentación de agua en bandeja de cerámica (efecto rebalse) y sistema de desagüe de bandeja.....	94
Figura 3.16	Proceso de llenado de bandeja por efecto rebalse.....	94
Figura 3.17	Proceso de evaporación del agua de bandeja, lo cual se manifiesta de manera visual generando opacidad en la cubierta de vidrio.....	95
Figura 3.18	Formación de gotas de agua por efecto de la condensación y deslizamiento por la superficie interna del vidrio hacia canales de recolección.....	95
Figura 3.19	Canal de recolección de agua destilada.....	96

Figura 3.20	Tubería de transporte de agua destilada y recipiente colector.....	96
Figura 3.21	Resistencia de los materiales aislantes en el equipo.....	99
Figura 3.22	Comparación de Eficiencia del destilador diseñado y destilador construido.....	106
Figura 4.1	Solarímetro para recopilar datos de radiación solar, de la estación meteorológica del Observatorio Ambiental, de la Universidad de El Salvador.....	111
Figura 4.2	Estación meteorológica del Observatorio ambiental, ubicado en las instalaciones de la Universidad de El Salvador.....	111
Figura 4.3	Medición de temperaturas con ayuda de una termocupla...	111
Figura 4.4	Muestreo de aguas para análisis fisicoquímicos y microbiológicos.....	112
Figura 4.5	Muestreo de aguas para Determinación de Carbono Orgánico Total.....	112
Figura 4.6	Equipo para la determinación de Conductividad y Resistividad y STD.....	113
Figura 4.7	Equipo para la determinación de pH.....	113
Figura 4.8	Grafica de Temperaturas de cubierta de vidrio (T1) durante los tiempos de muestreo en el periodo de validación.....	116
Figura 4.9	Grafica de Temperaturas de cubierta de vidrio (T1') durante los tiempos de muestreo en el periodo de validación.....	118
Figura 4.10	Grafica de Temperaturas de cerámica (T2) durante los tiempos de muestreo en el periodo de validación.....	120
Figura 4.11	Grafica de Temperaturas de agua en colector (T3) durante los tiempos de muestreo en el periodo de validación.....	124

Figura 4.12	Grafica de comparación de temperatura del colector solar (T2) y cuerpo de agua en colector (T3) durante el periodo de validación.....	125
Figura 4.13	Grafica de Radiación solar (I) durante los tiempos de muestreo en el periodo de validación.....	127
Figura 4.14	Grafica de Relación de volumen alimentado y producido durante el periodo de muestreo.....	129
Figura 4.15	Relación de valores máximos y mínimos de nubosidad, durante el periodo de validación.....	131
Figura 4.16	Relación de valores promedio de Radiación solar y Nubosidad, durante el periodo de validación.....	132
Figura 4.17	Valores promedio de la velocidad del viento (m/s).....	134
Figura 4.18	Valores Máximos y Mínimos de la velocidad del viento (m/s)	134

INDICE DE TABLAS

Tabla 1.1	Relaciones de Orgill y Hollands para determinar radiación solar difusa.....	12
Tabla 1.2	Tipos de destiladores solares.....	20
Tabla 1.3	Características de materiales utilizados en destiladores solares.....	37
Tabla 1.4	Propiedades del agua.....	40
Tabla 1.5	Especificaciones del agua grado reactivo.....	42
Tabla 2.1	Matriz de comparación de las alternativas de selección.....	51
Tabla 2.2	Parámetros de diseño fijados para la construcción del destilador solar.....	53
Tabla 2.3	Valores de las constantes utilizadas para el cálculo de la intensidad de radiación total.	54
Tabla 2.4	Días para los cuales se calculará la intensidad de radiación solar y su correspondiente valor de n	55
Tabla 2.5	Valores de corrección por excentricidad para los días promedios de cada mes.....	58
Tabla 2.6	Valor de Constantes “a” y “b” de Angstrom y su coeficiente de correlación “r” para las subestaciones de mediciones en el territorio salvadoreño.....	59
Tabla 2.7	Ubicación de subestaciones de mediciones en territorio salvadoreño por el proyecto Solarimetría de la UES.....	60
Tabla 2.8	Registros de brillo solar recopilados por el proyecto de Solarimetría de la UES (Promedios mensuales en horas de luz solar)	61
Tabla 2.9	Resumen de valores de radiación solar en superficie inclinada que capta el destilador solar para el día medio n de cada mes de un año.....	63

Tabla 2.10	Valores de las constantes utilizadas para el Balance energético.....	64
Tabla 2.11	Presiones de vapor de agua.....	71
Tabla 2.12	Parámetros de Diseño.....	80
Tabla 2.13	Parámetros de calidad del agua.....	81
Tabla 2.14	Variables del sistema.....	81
Tabla 3.1	Costo de materiales básicos.....	97
Tabla 3.2	Costo de Accesorios.....	97
Tabla 3.3	Costo de Mano de obra.....	98
Tabla 3.4	Costo Total del destilador.....	98
Tabla 3.5	Valores de las constantes utilizadas para el Balance energético.....	98
Tabla 3.6	Radiación Solar promedio para cada día de la validación...	102
Tabla 3.7	Volumen de agua colectada para cada día de la validación.	104
Tabla 3.8	Comparación entre parámetros diseñados y parámetros construidos.....	106
Tabla 4.1	Parámetros de calidad para agua grado reactivo.....	108
Tabla 4.2	Parámetros de calidad del agua.....	109
Tabla 4.3	Variables del sistema.....	109
Tabla 4.4	Registro de temperatura cubierta de vidrio (T1) durante el periodo de validación.....	115
Tabla 4.5	Registro de temperatura en cubierta de vidrio (T1') durante el periodo de validación.....	117
Tabla 4.6	Registro de temperatura en colector solar (Bandeja de cerámica) ,T2 durante el periodo de validación.....	119
Tabla 4.7	Valores máximos y mínimos de temperatura de cubierta de vidrio (T 1), reflejados durante el periodo de validación.....	121
Tabla 4.8	Valores máximos y mínimos de temperatura de cubierta de vidrio (T 1'), reflejados durante el periodo de validación.....	121

Tabla 4.9	Valores máximos y mínimos de temperatura de cerámica (T 2), reflejados durante el periodo de validación.....	122
Tabla 4.10	Registro de temperatura en cuerpo de agua (T3) durante el periodo de validación.....	123
Tabla 4.11	Valores máximos y mínimos de cuerpo de agua (T 3), reflejados durante el periodo de validación.....	125
Tabla 4.12	Registro de Radiación solar (I) durante el periodo de validación.....	126
Tabla 4.13	Valores máximos y mínimos de Radiación solar (I).....	128
Tabla 4.14	Eficiencia del equipo.....	128
Tabla 4.15	Volumen de agua destilada producida.....	129
Tabla 4.16	Registro de Porcentaje de Nubosidad observada durante el periodo de validación.....	130
Tabla 4.17	Registro de Velocidad del viento en Nudos.....	133
Tabla 4.18	Resultados de análisis fisicoquímicos para el agua de alimentación al sistema (grifo), para el día quince.....	135
Tabla 4.19	Resultados de análisis fisicoquímicos para el agua producto del proceso de destilación, para el día quince.....	136
Tabla 4.20	Determinación de contenido de sílice.....	136
Tabla 4.21	Contenido de Carbono Orgánico Total en muestras de agua.....	137
Tabla 4.22	Contenido de Sólidos totales en agua de grifo.....	138
Tabla 4.23	Contenido de Sólidos totales en agua producto.....	138

CAPITULO I

Marco Teórico

1.1. Introducción

Uno de los recursos con que cuenta el ser humano en la actualidad lo constituye la energía solar, a continuación se presenta información general donde se incluyen las principales definiciones concernientes a este campo, aplicaciones de la energía solar por medio de los distintos tipos de destiladores solares, así como datos sobre el comportamiento de la radiación solar en El Salvador. Para el diseño del destilador solar se han revisado las consideraciones preliminares que deben tomarse en cuenta para realizar los cálculos de transferencia de calor asociados a un sistema de destilación solar, tales como radiación directa sobre superficies inclinadas, balances de materia y energía involucrados en los procesos de evaporación y condensación involucrados en el sistema de destilación. Además se describen las ecuaciones para el cálculo de la eficiencia y rendimiento de este tipo de sistemas.

Para la obtención de agua destilada por medio de la destilación solar se presenta información general sobre los parámetros a analizar en el agua, ya que estos determinaran el grado de pureza del agua obtenida y poder evaluarla según la calidad deseada que para el presente trabajo es agua grado reactivo.

1.2 Generalidades de la energía solar

La Energía Solar es la energía que se obtiene mediante la captura de la luz y el calor que emite el sol, por medio de una variedad de sistemas receptores, convirtiéndola en energía útil.

La intensidad de esta energía disponible en un punto determinado del planeta tierra dependerá del día del año, la hora y la latitud, aunque también incidirá en la cantidad de energía que pueda acumularse y la orientación que disponga el dispositivo receptor.

1.2.1 Definiciones

El sol (Rico, J., García, C., 1988)

Es un reactor de fusión termonuclear continuo, constituido por diferentes gases retenidos por fuerzas gravitatorias, ver Figura 1.1. Desde el punto de vista de las aplicaciones de conversión fototérmica y fotovoltaica puede adoptarse un modelo mucho más simple. Así, el sol puede ser considerado como un cuerpo negro que radiará a la temperatura de 5762 Kelvin (K), ya que la distribución de energía para cada longitud de onda de la radiación solar es básicamente la misma que la de dicho cuerpo negro.

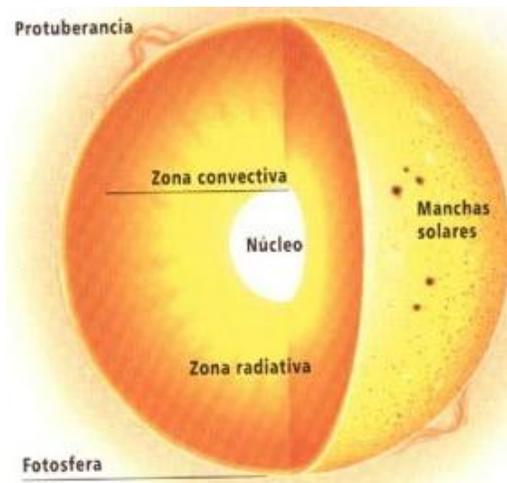


Figura 1.1 El Sol

El Planeta solitario, (2011)

La constante solar (G_{sc})

Es el flujo de energía proveniente del Sol, que incide sobre una superficie perpendicular a la dirección de propagación de la radiación solar ubicada a la distancia media de la Tierra al Sol, fuera de toda atmósfera. Se acepta el valor de $G_{sc} = 1353 \text{ W.m}^{-2}$ ($1940 \text{ cal. cm}^{-2}. \text{min}^{-1}$) por la NASA (Administración Aeronáutica y Espacial Nacional de Estados Unidos de América) y por la ASTM por sus siglas en inglés (Sociedad Americana para el Ensayo de Materiales). En la figura 1.2 se puede apreciar la variación de la radiación solar mundial dependiendo de la zona que recibe

dicha radiación. Se puede observar que la zona media del mapa es la que recibe mucho más radiación solar que las zonas superior e inferior.

1.2.2 Radiación solar

Para un mejor tratamiento de la radiación solar en cuanto a sus aplicaciones, el flujo radiante solar se suele descomponer en dos términos:

I. Irradiancia directa

Es la componente del flujo radiactivo solar que incide sobre una superficie unidad y que no ha sido dispersada por la atmósfera. Esta componente tiene en cada instante una dirección perfectamente definida que coincide con la dirección de propagación del flujo solar.

II. Irradiancia difusa

Es la componente del flujo radiactivo solar que incide sobre una superficie unidad, cuya dirección de propagación ha sido modificada por dispersión en la atmósfera. A diferencia con la irradiancia directa, esta radiación llega a la superficie desde cualquier región del hemisferio.

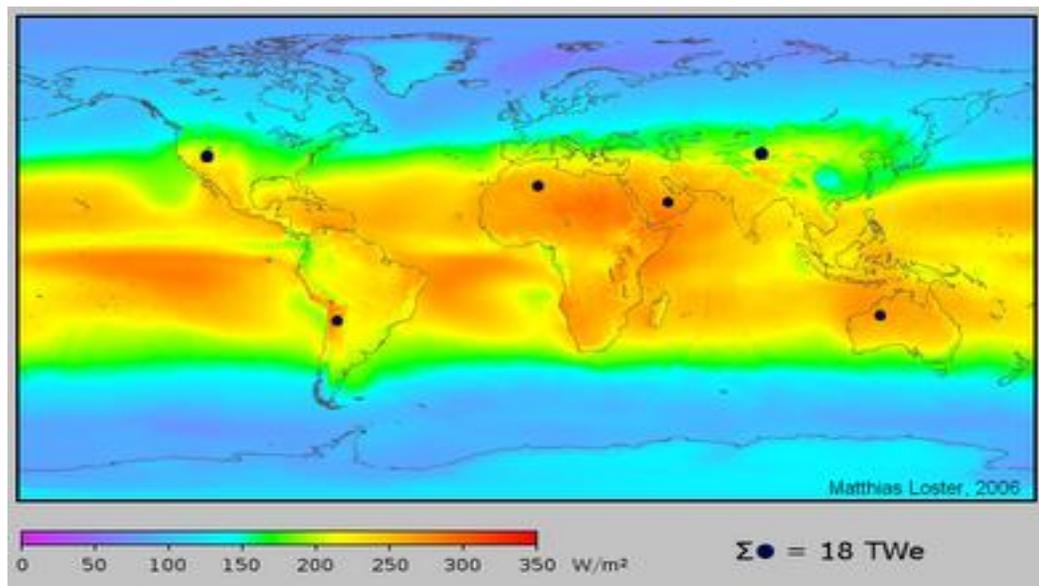


Figura 1.2 Mapa de radiación solar mundial.

Ref. Soluciones solares, (2011)

1.2.3 Medición de la radiación solar

El dispositivo más común para medir la radiación solar es el pyranómetro, algunas veces llamado radiómetro o solarímetro, el cual mide la radiación solar global, compuesta de radiación solar directa y de la radiación dispersada (difusa).

Un porcentaje significativo de radiación medida es directa, la cual toma un valor máximo cuando ésta incide perpendicularmente sobre el sensor del pyranómetro.

En un día claro la radiación global medida se incrementa desde cero cuando el sol sale, alcanza un máximo al medio día y decrece a cero nuevamente cuando el sol se oculta; en cualquier momento, las nubes pueden interceptar el sol y la energía decrece a valores bajos fenómeno que puede apreciarse en la Figura 1.3.

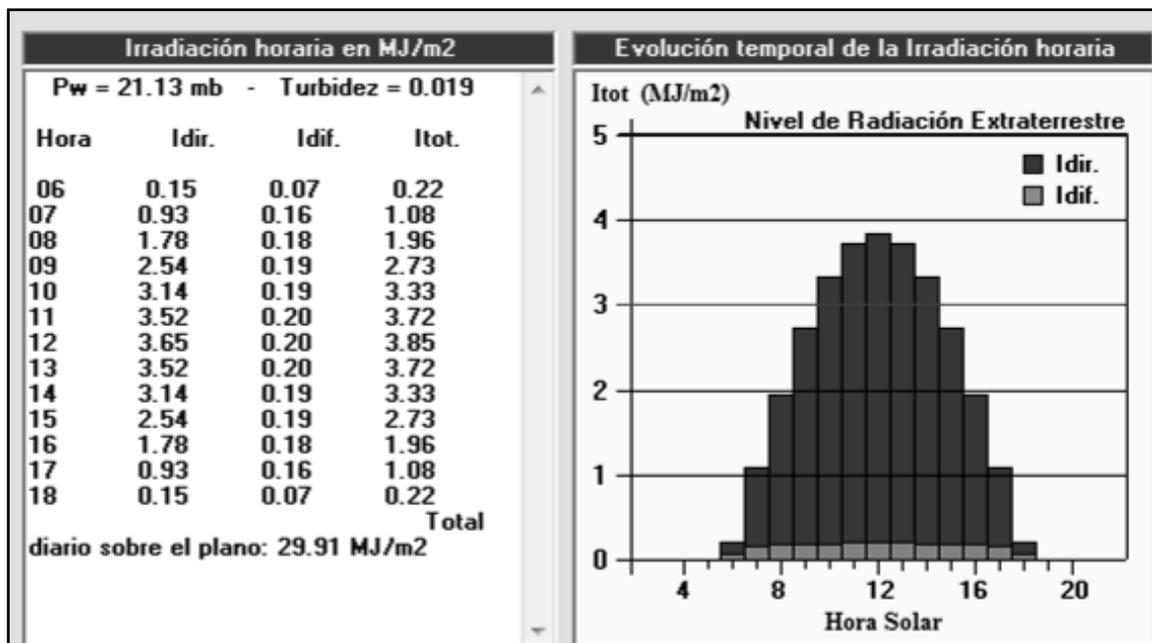


Figura 1. 3 Comparación entre Intensidad de radiación directa e intensidad de radiación difusa sobre San Salvador.

Ref. Software GEOSOL V 2.0

Debido al movimiento diario y anual de la tierra, la cantidad de radiación solar medida por un solarímetro en posición horizontal no es uniforme durante todo el año; por lo que se hace necesario medir la radiación solar en superficies inclinadas.

Ángulos Solares

Cada día, el Sol, para un observador situado en la Tierra, sigue una trayectoria circular a través del firmamento, alcanzando su punto más alto al mediodía. Por otra parte, esta trayectoria circular aparente se mueve hacia puntos más altos en el firmamento a medida que el invierno transcurre y llega el verano. El amanecer acontece más temprano, y el atardecer más tarde, durante el verano.

Dado que los movimientos de la Tierra y el Sol son relativos entre sí, suponiendo que la tierra está fija en el espacio, que el sol describe un movimiento virtual alrededor de esta, y que el origen de coordenadas se localiza en el lugar de interés situado en la tierra. Desde este punto de vista, el Sol está restringido a moverse con dos grados de libertad en la esfera celeste. En consecuencia, su posición en el firmamento queda descrita mediante dos variables angulares: la altura solar (α) y el acimut solar (γ). Como se muestra en la Figura 1.4 la primera de estas variables define el ángulo que la visual al Sol forma con el horizonte, en tanto que la segunda define la desviación que tienen los rayos del Sol con respecto al sur verdadero.

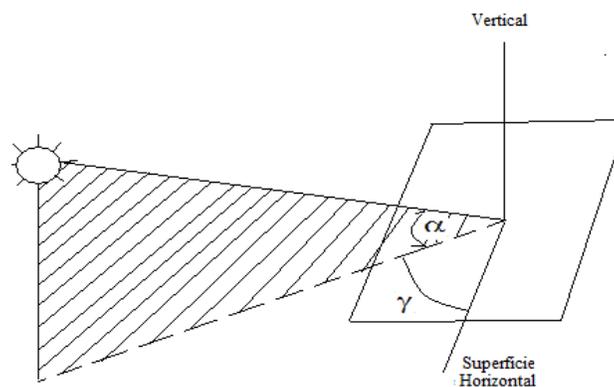


Figura 1.4 Ángulos de posición del sol.

Ref. Hermosillo, J., (1995)

El cálculo preciso de estas variables depende fundamentalmente de tres parámetros: la latitud del lugar (ϕ), la declinación (δ) y el ángulo horario (ω).

La latitud queda definida mediante el ángulo que determina el lugar de interés sobre la Tierra, con respecto al plano del ecuador, este ángulo es positivo cuando se mide hacia el norte del ecuador, y negativo cuando lo es hacia el sur de este.

La declinación define la posición angular del Sol al medio día solar, es decir, en el momento en que el Sol está más alto en el firmamento con respecto al plano del Ecuador.

1.2.4 Variabilidad de la radiación solar en El Salvador

Cuando nos referimos a la Radiación Solar es necesario recordar que a esta se le atribuye casi la totalidad de energía que la tierra dispone y dispondrá en el futuro, de igual manera a los procesos meteorológicos, biológicos, etc., que suceden en la misma. El calentamiento de la superficie terrestre por absorción de la radiación solar es función de la latitud del lugar, época del año, hora del día, etc. Es decir que el sol en su desplazamiento aparente de norte a sur y viceversa durante el año determina una máxima declinación norte ($23^{\circ}.5'N$), Solsticio Verano 21/6, Máxima declinación Sur ($23^{\circ}.5'S$), Solsticio Invierno 21/12 pasa dos veces sobre el Ecuador terrestre (0°), 21/3 y 21/9.

El Salvador ubicado entre los 13° y $14^{\circ} 30'$ latitud norte, aproximadamente recibe grandes cantidades de energía durante el año, el conocimiento de este desplazamiento determina aquellas zonas con mayor potencial; observando que en el mes de diciembre, enero y febrero, la incidencia de los rayos solares se encuentra orientada hacia el sur. También es característico de estos meses que por la falta de nubosidad (sistemas de alta presión) por encontrarse la tierra más cerca del sol (Perihelio) la Radiación Solar es más directa que en las otras épocas del año.

Durante los meses de Marzo y Abril, la atmósfera se encuentra bastante contaminada por diferentes causas antropogénicas, por lo tanto existe mayor dispersión y absorción de radiación solar. En el transcurso de la época lluviosa de

Mayo a Octubre ya existe abundante nubosidad que obstaculiza el paso de los rayos solares principalmente en los meses de Junio y Septiembre que son los más lluviosos. (Seminario Aplicaciones Celdas Fotovoltaicas, 1985).

1.2.5 Radiación directa sobre una superficie inclinada

Consideraciones preliminares

En los cálculos de energía solar térmica se considera por efectos prácticos solamente la radiación comprendida entre el rango de longitudes de onda de $0.38 \mu\text{m} < \lambda < 1.9 \mu\text{m}$ ésta interacción hace que finalmente a nivel terrestre se tenga que considerar la componente directa difusa y terrestre de la radiación solar mientras que a nivel extraterrestre solo tenemos la componente directa.

Relaciones angulares

La radiación solar directa sobre nuestro planeta y más específicamente sobre una superficie de orientación arbitraria se le puede describir como sigue:

φ : (Phi) Simboliza la latitud geográfica, esto es la posición angular del lugar en donde se encuentre el plano en cuestión, respecto del Ecuador terrestre, positivo en el hemisferio norte $-90^\circ \leq \varphi \leq 90^\circ$.

δ : (Delta) declinación solar, permite mediante coordenadas geocéntricas, localizar la posición angular del sol, y es el ángulo formado por la línea Sol Tierra y el plano del ecuador terrestre (norte positivo).

La declinación solar es cero en las fechas de los equinoccios, (21 de marzo y 22 de septiembre) variando cíclicamente de $+ 23,45^\circ$ que corresponde al solsticio de verano (junio 22) a $- 23,45^\circ$ que corresponde al solsticio de invierno (diciembre 22) y viene dada por la Ecuación 1.1

$$\delta = 23.45 * \text{sen} \left[\frac{360*(284+n)}{365} \right] \quad \text{Ec. 1.1}$$

Donde:

n : Numero de día del año, desde el 1 de Enero, $1 < n < 365$

δ : Declinación solar

β : (Beta) Pendiente del plano sobre el cual incide la radiación, esto es, su inclinación respecto de la horizontal. Para valores en los que $0^\circ \leq \beta \leq 90^\circ$ utilizando el lenguaje común y cotidiano se diría que la superficie se encuentra mirando arriba, de igual manera para valores de $90^\circ \leq \beta \leq 180^\circ$ se diría en cambio que la superficie se encuentra mirando hacia abajo. Como ejemplos podemos citar la superficie de una piscina que tendrá un pendiente igual a 0° , mientras que la pared de la misma tendrá una pendiente de 90° .

γ : (Gamma) Acimut de la superficie, este es el ángulo formado por la línea recta que une al Sol y un observador en la Tierra proyectada en el plano horizontal y la línea que va del punto de observación; al Sur (en el hemisferio Norte) o al Norte (en el hemisferio Sur), este ángulo se mide sobre el plano horizontal local, a partir de la línea Norte Sur con signo negativo hacia el Este y signo positivo al Oeste Nota: El acimut solar es negativo en la mañana, 0° al medio día solar, hora a la que culmina el Sol, y positivo en la tarde.

θ : (Theta) Ángulo de incidencia, esto es, el ángulo de la radiación directa sobre la superficie y la normal a la superficie.

θ_z : Ángulo de cenit , ángulo entre la radiación directa sobre la superficie horizontal y la normal de la superficie o cenit. Se calcula $\beta = 0^\circ$ en la ecuación del ángulo de incidencia.

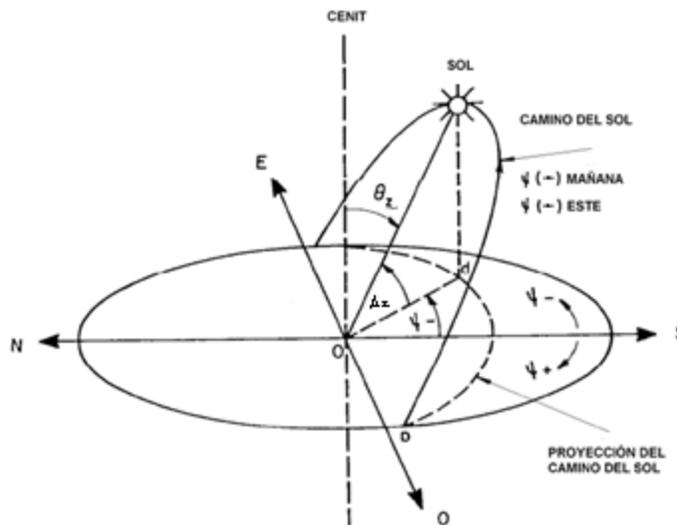


Figura 1.5 Acimut de superficie

Ref. Rico, J., García, (1988)

ω_s : Ángulo horario, esto es, el desplazamiento angular del sol hacia el este o el oeste del meridiano local, debido al movimiento de rotación de la tierra alrededor del eje, $\omega < 0$ en la mañana y $\omega > 0$ en la tarde, es de notar sin embargo que este ángulo describe un movimiento de $\omega = -90^\circ$ a la salida del sol y un $\omega = 90^\circ$ en la puesta del sol únicamente cuando sucede los equinoccios, que estos realmente son un momento particular, un instante de tiempo que ocurre a una hora determinada, también sucede en el Ecuador en cualquier fecha, mas no en otra latitud debido a los movimientos del sol hacia el norte en primavera y hacia el sur en otoño. Se puede calcular mediante la siguiente fórmula:

$$\omega_s = \arccos[-\tan(\delta) * \tan(\phi)] \quad \text{Ec. 1.2}$$

Donde:

- ω_s : Ángulo del ocaso
- ϕ : Latitud de San Salvador
- δ : Ángulo de declinación solar

Horas teóricas: El número de horas teóricas se puede calcular por medio de la ecuación 1.3.

$$N = \frac{2}{15} * ws \quad \text{Ec. 1.3}$$

Donde:

N : Número de horas solar teóricas

ws : Ángulo del ocaso

Radiación directa sobre una superficie inclinada (I_T)

La radiación solar sobre una superficie inclinada puede calcularse mediante la siguiente ecuación:

$$I_T = I_b R_b + I_d \left(\frac{1 + \cos \theta}{2} \right) + I \left(\frac{1 - \cos \theta}{2} \right) \rho_d \quad \text{Ec. 1.4}$$

Donde:

I : Radiación global horaria.

I_b : Radiación solar directa horaria en superficie horizontal.

I_d : Radiación solar difusa horaria en superficie horizontal.

ρ_d : Albedo o coeficiente de reflexión del suelo (0.3).

Factor R_b para el cambio de ángulo de incidencia en el transcurso del día.

Con la Ecuación 1.5 se puede calcular el cambio que ocurre en el transcurso del día en el ángulo de incidencia de la radiación.

$$R_b = \frac{\text{sen} \delta \text{sen}(\phi - \theta)(t_2 - t_1) + \frac{12}{\pi} \cos \delta \cos(\phi - \theta)(\text{sen}(15t_1) - \text{sen}(15t_2))}{\text{sen} \delta \text{sen} \phi (t_2 - t_1) + \frac{12}{\pi} \cos \delta \cos(\phi)(\text{sen}(15t_1) - \text{sen}(15t_2))} \quad \text{Ec. 1.5}$$

Donde:

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

θ : Angulo de inclinación de la cubierta (45°, ángulo en el cual las pérdidas por radiación son menores) (PUPPO, 1999)

- \emptyset : Latitud
- t_1 : Tiempo inicial medido a partir de la media noche, horario militar. (9:00h)
- t_2 : Tiempo final medido a partir de la media noche, horario militar (16:00h)
- δ : Ángulo de declinación solar

Para determinar I_d se utiliza el Índice de claridad horario K_T' :

$$K_T' = \frac{I}{I_0} \quad \text{Ec. 1.6}$$

Donde:

- I_0 : Radiación solar extraterrestre horaria en superficie horizontal
- I : Radiación global horaria
- K_T' : Índice de claridad horario

Radiación solar extraterrestre horaria en una superficie horizontal (I_0):

$$I_0 = G_{sc} * \epsilon_0 \left[\text{sen}\delta \text{sen}\emptyset (t_2 - t_1) + \frac{12}{\pi} \text{cos}\delta \text{cos}\emptyset (\text{sen}(15t_1) - \text{sen}(15t_2)) \right] \text{Ec. 1.7}$$

Donde:

- ϵ_0 : Corrección por excentricidad
- I_0 : Radiación solar extraterrestre horaria en superficie horizontal
- G_{sc} : Constante solar
- \emptyset : Latitud
- t_1 : Tiempo inicial medido a partir de la media noche, horario militar.
- t_2 : Tiempo final medido a partir de la media noche, horario militar
- δ : Ángulo de declinación solar

Energía solar en El Salvador

- Irradiación diaria solar promedio terrestre sobre superficie horizontal (I):

$$I = I_0 * \left[a + b * \left(\frac{nr}{N} \right) \right] \quad \text{Ec. 1.8}$$

Donde:

nr : Número de horas solar real

a : Constante de Angstrom

b : Constante de Angstrom

N : Número de horas teóricas

I : Irradiación diaria solar promedio sobre una superficie horizontal

I_0 : Radiación solar extraterrestre horaria en superficie horizontal

- **Irradiación solar difusa horaria**

Para determinar la irradiación solar difusa horaria, ver la Tabla 1.1.

Tabla. 1.1 Relaciones de Orgill y Hollands para determinar la radiación solar difusa

Relación a utilizar	Criterio
$\frac{I_d}{I} = 1.0 - 0.249K'_T$	$0 \leq K'_T \leq 0.35$
$\frac{I_d}{I} = 1.577 - 1.84K'_T$	$0.35 \leq K'_T \leq 0.75$
$\frac{I_d}{I} = 0.177$	$K'_T > 0.75$

Ref. Mejía, (1994)

➤ **Radiación solar directa horaria I_b :**

Se obtiene a partir de

$$I_b = I - I_d \quad \text{Ec.1.9}$$

Trasferencia de calor y masa

Este tipo de dispositivos de diseño simple (destiladores solares) y de ciclos sencillos de funcionamiento poseen los análisis de los procesos de transferencia de calor y masa sumamente complejos, por lo que a criterio se tomado en cuenta los términos más relevantes que intervienen en el proceso de transferencia de calor y masa, los cuales se detallan a continuación:

Recurso solar (Gs)

De las ecuaciones utilizadas para el cálculo de la energía solar disponible se debe considerar los siguientes puntos fundamentales en el diseño de destiladores solares:

Gs: El destilador solar aprovecha la radiación directa y difusa para poder llevar a cabo el proceso térmico de transferencia de calor y masa.

Grv: La radiación al llegar al vidrio sufre reflexión, absorción y transmitancia por lo tanto la radiación que entra al destilador es: $G_s (1 - \alpha_g)$ donde α_g , es un factor que incluye la reflexión y la absorción de la radiación solar en el vidrio.

Grw, Grf: La radiación que ingresa al destilador choca contra la superficie del agua, parte es reflejada y parte es absorbida y la mayoría llega al fondo de la charola en la cual parte de la radiación es nuevamente refleja y parte la mayor es absorbida, siendo esta:

$$G_s(1 - \alpha_g)(1 - \alpha_a).$$

Donde: α_a es un factor que incluye la reflexión y absorción por el agua y la reflexión por el fondo del destilador.

Los valores de α_g y α_a son 0.1 y 0.3 respectivamente. (COOPER, p, 1972).

1.2.6 Tipos y usos de la energía solar

Directa: Una de las aplicaciones de la energía solar es directamente como luz solar, por ejemplo, para la iluminación de recintos. En este sentido, cualquier ventana es un colector solar. Otra aplicación directa, muy común, es el secado de ropa y algunos productos en procesos de producción con tecnología simple.

Térmica: Se denomina "térmica" la energía solar cuyo aprovechamiento se logra por medio del calentamiento de algún medio. La climatización de viviendas, calefacción, refrigeración, secado, etc., son aplicaciones térmicas.

Fotovoltaica: Es la energía solar aprovechada por medio de celdas fotoeléctricas, capaces de convertir la luz en un potencial eléctrico, sin pasar por un efecto térmico.

Sistemas pasivos: Los sistemas pasivos se usan generalmente en el acondicionamiento calorífico de edificios y tanto lo que sirve de colector como el sistema de almacenamiento se encuentran incorporados en los distintos componentes del edificio, como pisos, paredes, recipientes con agua y techos. El tipo de almacenamiento de energía utilizado en estos sistemas es generalmente por calor sensible. Debido a que en estos sistemas las temperaturas de almacenamiento son bajas, usualmente menores de 70°C, se requiere de grandes volúmenes del material que sirve como almacén. Para poder calcular la capacidad de almacenamiento de un material determinado, necesitamos conocer sus propiedades como la densidad y el calor específico, que vienen dados respectivamente por las siguientes Ecuaciones:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad \text{Ec. 1.10}$$

Donde:

ρ : Densidad del material

m : Masa del material

V : Volumen del material

$$Q_s = mC_p\Delta T \quad \text{Ec. 1.11}$$

Donde:

Q_s : Calor Total almacenado por el material

m : Masa del material

C_p : Calor específico a presión constante del material

ΔT : Cambio de temperatura asociado al proceso

Sistemas activos: La característica principal de los sistemas activos es que estos utilizan un fluido de trabajo en movimiento que puede ser agua, aire, aceites o algún otro fluido.

Los principales componentes que intervienen en estos sistemas son: el colector solar, la unidad de almacenamiento, sistemas de conversión y control y el lugar donde se hace la descarga de energía. Generalmente, el medio de almacenamiento es agua si por el colector se hace circular un líquido. Si en el colector circula aire, el medio de almacenamiento serán rocas o piedras. Las temperaturas alcanzadas en este tipo de sistemas oscilan entre los 50°C y 100°C. En este caso el almacenamiento de energía se puede dar por cualquiera de los mecanismos como: calor sensible, cambio de fase, reacciones químicas y estanques solares. Este sistema trabaja en dos etapas al igual que en el caso anterior: durante el día almacena calor y lo cede por la tarde o noche.

Los Sistemas de Aprovechamiento de la Energía Solar

En la actualidad, la energía solar está siendo aprovechada para fines energéticos a través de dos vías basadas en principios físicos diferentes. Por un lado la **vía térmica**. Los sistemas que adoptan esta vía absorben la energía solar y la transforman en calor. Por otro lado, la **vía fotovoltaica** este permite la transformación directa de la energía solar en energía eléctrica mediante las llamadas "celdas solares" o "celdas fotovoltaicas". Dichas celdas hacen posible la producción de electricidad a partir de la radiación solar debido al efecto fotovoltaico, un efecto por el que se transforma directamente la energía luminosa en energía eléctrica y que se produce cuando la radiación solar entra en contacto con un material semiconductor cristalino.

Los sistemas basados en la vía térmica también pueden hacer posible el aprovechamiento de la energía solar en forma de energía eléctrica, siguiendo un método "indirecto". En efecto, algunos de estos sistemas absorben la energía solar

en forma de calor mediante un captador térmico y después la transforman en electricidad mediante una máquina termodinámica.

La Vía Térmica

Habitualmente, se suele dividir a los sistemas de aprovechamiento de energía solar por vía térmica en dos grupos.

a. Sistemas de aprovechamiento a baja y media temperatura

Ofrecen posibilidades beneficios a corto plazo, tales como la producción de agua caliente sanitaria, calefacción, climatización de piscinas, invernaderos, secadores, etc.

Normalmente, resulta conveniente en estos casos disponer de sistemas solares con apoyo de algún sistema convencional de producción de energía, para garantizar que el suministro energético es el adecuado, ya que, la energía solar tiene un carácter disperso y semialeatorio para garantizar así la radiación solar suficiente para la cobertura de las necesidades energéticas mediante el sistema solar. El aprovechamiento de energía solar a baja temperatura se puede realizar a partir de diferentes vías:

- Mediante la utilización pasiva de la energía solar o arquitectura solar: Arquitectos, promotores y constructores están aprovechando los beneficios que ofrecen la energía solar, por lo que las viviendas construidas se adaptan adecuadamente al entorno y al clima en el que se encuentran localizados, evitando proyectos irracionales desde el punto de vista energético.
- Mediante los sistemas solares basados en colectores: Un colector es un instrumento que absorbe el calor proporcionado por el Sol con un mínimo de pérdidas y los transmite a un fluido (aire o más frecuentemente, agua).

Generalmente se emplea para producir agua caliente de uso doméstico o para hacer funcionar sistemas de calefacción.

Los hay de dos tipos:

Colectores planos: son actualmente los más difundidos y representan alrededor del 90% de la producción de colectores.

Se componen esquemáticamente de una lámina plana, o placa, capaz de absorber eficientemente la radiación solar y convertirla en calor, y de una serie de tubos en buen contacto térmico con la placa, por los que circula un líquido refrigerante (generalmente agua o agua con anticongelante). Este líquido que circula por los canales de distribución sirve para transmitir el calor absorbido por la placa a un sistema de producción de agua caliente o a un sistema de calefacción.

La lámina es habitualmente metálica (de cobre o acero inoxidable, principalmente) y a menudo está recubierta de un tratamiento selectivo especial para hacer que la absorbancia de la radiación solar por parte de la superficie de la lámina sea más intensa. Para disminuir las pérdidas de calor del colector, la parte posterior de la lámina posee un aislamiento térmico, y la parte superior una cubierta de láminas transparentes de cristal o -en algunos casos- plástico, que reduce las pérdidas de calor por radiación y convierte al colector en una especie de invernadero.

Los colectores de concentración: se utilizan para instalaciones que trabajan a media temperatura, Estos colectores concentran la radiación solar que recibe la superficie captadora en un elemento receptor de superficie muy reducida (un punto, una línea). Al ser el receptor más pequeño que en los colectores planos puede estar fabricado a partir de materiales más sofisticados que permiten una mejor absorción de la energía solar. Por otro lado, al recibir una mayor cantidad de radiación solar.

Los colectores de concentración son capaces de proporcionar temperaturas de hasta 300°C con buenos rendimientos.

Las centrales de colectores de concentración se utilizan para generar vapor a alta temperatura con destino a procesos industriales, para producir energía eléctrica, etc.

Uno de los inconvenientes de la mayoría de los colectores de concentración es que sólo aprovechan la radiación directa del Sol, es decir, sólo aprovechan los rayos solares que realmente inciden sobre su superficie. No son capaces, por el contrario, de captar la radiación solar difusa. Por ello, no resultan convenientes en zonas climáticas que, aunque reciben una aceptable cantidad de radiación solar, son relativamente nubosas. Sólo resultan realmente eficaces en zonas auténticamente soleadas.

b. Los sistemas de aprovechamiento de energía solar a alta temperatura.

El aprovechamiento de energía solar, a alta temperatura, para producir electricidad mediante vía termodinámica se basa en principios análogos a los que pueden contemplarse en una central eléctrica convencional que quema carbón o petróleo. Se consigue que la radiación solar caliente a alta temperatura un fluido primario (el fluido calo-portador). Este fluido transmite el calor a un circuito secundario por el que circula un segundo fluido que, luego de transformarse en vapor por la acción del calor, pone en marcha una turbina acoplada a un alternador. En algunos casos, es el propio fluido primario el que, convertido en vapor, acciona la turbina. Generalmente, todas estas instalaciones solares tienen incorporado un dispositivo que permite almacenar una cierta cantidad de energía en forma de calor para mitigar las fluctuaciones en la radiación solar

La Vía Fotovoltaica

Se basan en un conjunto de "celdas solares o fotovoltaicas" fabricadas de un material semiconductor cristalino, que, al ser incididas por la luz del sol, producen una corriente eléctrica por efecto fotovoltaico.

Para construir las celdas fotovoltaicas, se utilizan compuestos que son capaces de suministrar una cantidad apreciable de energía al recibir la radiación solar. Normalmente, las pilas fotovoltaicas que se producen en el mundo se fabrican a base de silicio.

El rendimiento de estas celdas está entre 15% y un 25%, es decir, que sólo una pequeña parte de la energía lumínica se aprovecha realmente en forma de energía eléctrica. Este rendimiento es menor cuanto más alta es la temperatura. El problema fundamental que presentan las celdas fotovoltaicas es su alto costo.

1.3 Destiladores Solares

Un destilador solar en esencia trata de reproducir a pequeña escala y de manera acelerada el ciclo natural del agua como puede observarse en la figura 1.6. El fenómeno natural de la evaporación del agua, se reproduce en un destilador solar con el empleo de la radiación solar como fuente energética para la obtención de agua destilada a partir de agua potable. Con este fin se han desarrollado diferentes prototipos de destiladores.

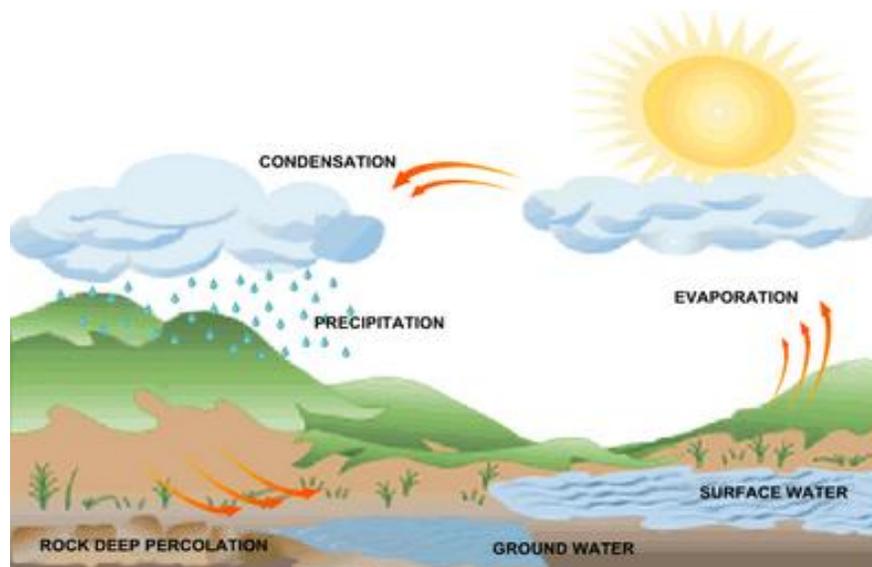


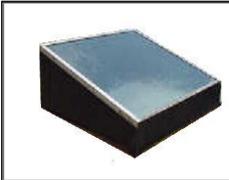
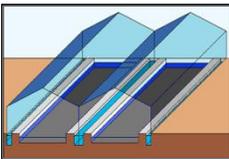
Figura 1.6 Fenómeno natural de la evaporación del agua.

Ref. Sánchez, J., (2008)

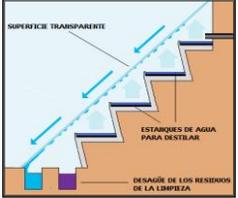
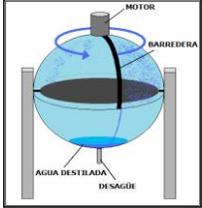
1.3.1 Tipos de destiladores solares

Existen muchas configuraciones de destiladores solares aunque en todos ellos operan por el mismo principio. En la Tabla 1.2 se muestran algunos tipos de destiladores:

Tabla.1. 2 Tipos de destiladores solares

Tipos de destiladores solares	Descripción	Característica general	Diseño
<p>Destilador solar de una vertiente DS1</p>	<p>Consta de una caja cubierta por un cristal inclinado. La caja está dividida en dos compartimientos: uno con el fondo de color negro donde se coloca el agua a evaporar y que ocupa la mayor parte de la caja y el otro el receptáculo donde se recoge el agua destilada y que se encuentra en el lado de menor altura.</p>	<p>Modelo de destilador más sencillo de estructura</p>	
<p>Destilador solar de dos vertientes o tipo caseta DS2</p>	<p>Consta de un “tejado” de material transparente de dos vertientes. La radiación del sol evapora el agua y luego condensa en el panel transparente se deslizan por los lados y precipitan a un depósito situado bajo la bandeja donde se dispone el agua para destilar.</p>	<p>Modelo más conocido y difundido en el mundo</p>	
<p>Destilador solar de invernadero DS3</p>	<p>Consta de una estructura de invernadero que en su interior alberga un estanque de agua de poca profundidad y con el fondo de color negro. El agua evaporada se condensa en las paredes del invernadero y se desliza hacia los receptáculos situados en la base de las paredes.</p>	<p>Modelo de destilador solar de gran tamaño</p>	

Continúa pág. 21

Tipos de destiladores solares	Descripción	Característica general	Diseño
Destilador solar de cascada DS4	<p>Consta de terrazas, en la parte superior de cada una de las terrazas se disponen los estanques con fondo de color negro, llenos de agua para destilar. Cuando la radiación solar incide en el destilador comienza la evaporación. El agua en estado gaseoso se condensa en una superficie transparente dispuesta de forma inclinada sobre las terrazas y se desliza hacia el receptáculo situado en la parte baja del destilador.</p>	<p>Modelo con una mejor acumulación de energía térmica</p>	
Destilador solar esférico de barredera DS5	<p>Consta de una esfera de material transparente así como de la introducción de una barredera que se desliza en su cara interna, accionada por un pequeño motor. En una bandeja con fondo de color oscuro situada en la parte central de la esfera se coloca el agua a destilar.</p>	<p>Modelo más complejo y eficiente</p>	

Ref. Los Autores

1.3.2. Aplicaciones de los procesos de destilación

Existen infinidad de aplicaciones de la operación de destilación. Se emplean en numerosas industrias desde la industria petroquímica a la farmacéutica. Se puede afirmar que prácticamente en cualquier proceso químico existe una destilación debido a la necesidad de separación de ciertos componentes de otros menos valiosos.

a. Destilación fraccionada

Este proceso, conocido como rectificación o destilación fraccionada, se utiliza mucho en la industria, no sólo para mezclas simples de dos componentes (como alcohol y agua en los productos de fermentación, u oxígeno y nitrógeno en el aire líquido), sino también para mezclas más complejas como las que se encuentran en el alquitrán de hulla y en el petróleo.

b. Destilación por vapor

Si dos líquidos insolubles se calientan, ninguno de los dos es afectado por la presencia del otro (mientras se los remueva para que el líquido más ligero no forme una capa impenetrable sobre el más pesado) y se evaporan en un grado determinado solamente por su propia volatilidad. Por lo tanto, dicha mezcla siempre hierve a una temperatura menor que la de cada componente por separado. El porcentaje de cada componente en el vapor sólo depende de su presión de vapor a esa temperatura. Este principio se puede aplicar a sustancias que podrían verse perjudicadas por el exceso de calor si fueran destiladas en la forma habitual.

c. Destilación al vacío

Otro método para destilar sustancias a temperaturas por debajo de su punto normal de ebullición es hacer el vacío parcial en el alambique. Por ejemplo, la

anilina puede ser destilada a 100 °C extrayendo el 93% del aire del alambique. Este método es tan efectivo como la destilación por vapor, pero más caro. Cuanto mayor es el grado de vacío, menor es la temperatura de destilación. Si la destilación se efectúa en un vacío prácticamente perfecto, el proceso se llama destilación molecular. Este proceso se usa normalmente en la industria para purificar vitaminas y otros productos inestables. Se coloca la sustancia en una placa dentro de un espacio en el que se ha hecho el vacío y se calienta. El condensador es una placa fría, colocada tan cerca de la primera como sea posible. La mayor parte del material pasa por el espacio entre las dos placas, y por lo tanto se pierde muy poco.

d. Destilación molecular centrífuga

Si una columna larga que contiene una mezcla de gases se cierra herméticamente y se coloca en posición vertical, se produce una separación parcial de los gases como resultado de la gravedad. En una centrifugadora de alta velocidad, o en un instrumento llamado vórtice, las fuerzas que separan los componentes más ligeros de los más pesados son miles de veces mayores que las de la gravedad, haciendo la separación más eficaz. Por ejemplo, la separación del hexafluoruro de uranio gaseoso, UF₆, en moléculas que contienen dos isótopos diferentes del uranio, uranio 235 y uranio 238, puede ser llevada a cabo por medio de la destilación molecular centrífuga.

e. Destilación destructiva

Cuando se calienta una sustancia a una temperatura elevada, descomponiéndola en varios productos que se separan por fraccionamiento en la misma operación, el proceso se llama destilación destructiva. Sus aplicaciones más importantes son la destilación destructiva del carbón para el coque, el alquitrán, el gas y el amoníaco, y la destilación destructiva de la madera para el carbón de leña, el ácido etanoico, la propanona y el metanol.

Este último proceso ha sido ampliamente desplazado por procedimientos sintéticos para fabricar distintos subproductos. El craqueo del petróleo es similar a la destilación destructiva.

1.3.3. Balances de materia y energía involucrados en un destilador solar

Dentro del proceso de transferencia de calor y masa para el modelo experimental hay involucrados muchos factores que intervienen en el colector, tal como se muestran en la Figura 1.7:

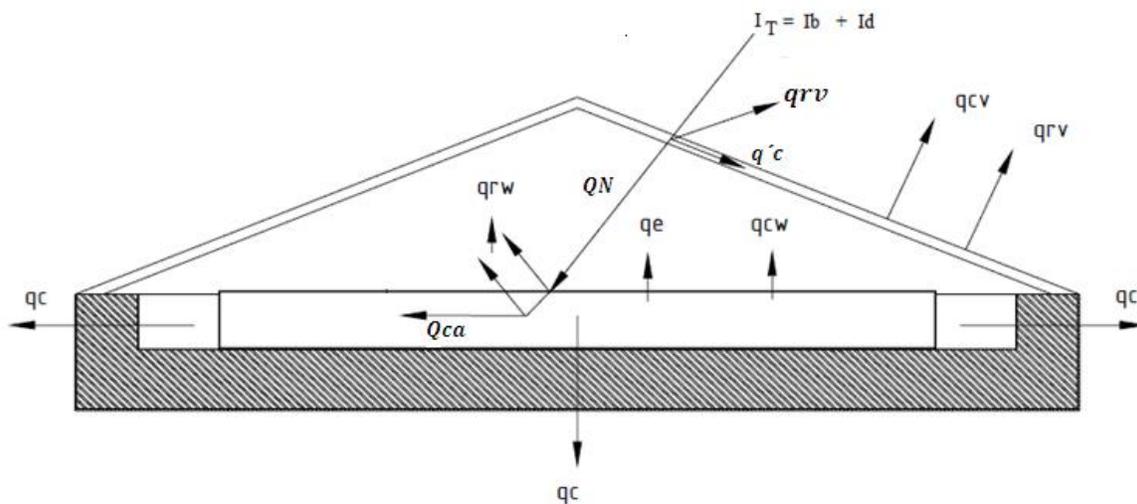


Figura 1.7 Balance de materia y energía involucradas en un destilador solar

Ref. Rodríguez Leiva, (2008)

Además se tienen los siguientes términos que están involucrados dentro del proceso térmico y que se a definen a continuación:

Calor perdido por conducción (qc)

Para el caso en el cual el destilador se encontrare ubicado sobre una superficie o enterrado en la tierra deberá considerarse la transferencia de calor como un sólido semi-infinito, sin embargo las condiciones previas de diseño (para este estudio) establecen que el modelo experimental se encuentra sobre una estructura lo que

ocasiona que sufra pérdidas de calor por conducción a través de la base y de las paredes del destilador.

Considerando el área de transferencia de calor de las paredes con respecto a la base se asume que la cantidad de calor que el sistema perderá a través de las paredes es relativamente despreciable con respecto a aquel calor que pierde a través de la base.

El calor perdido por conducción a través de las paredes del equipo por unidad de área se determina mediante la siguiente ecuación:

$$qc = Kb * (T_w - T_a) \frac{W}{m^2K} \quad \text{Ec.1. 12}$$

Donde:

qc : Calor perdido por conducción $\left[\frac{W}{m^2}\right]$

Kb : Resistencia térmica equivalente del aislante

T_w : Temperatura media del agua $[K]$

T_a : Temperatura ambiente $[K]$

Para el cálculo del calor perdido por conducción es necesario determinar la resistencia térmica equivalente de las paredes aislantes se utiliza la siguiente ecuación:

$$Req = \frac{x1}{K1} + \frac{x2}{K2} + \frac{x3}{K3} \quad \text{Ec. 1.13}$$

Donde:

Req : Resistencia equivalente de los materiales

$x1, x2, y x3$: Espesores de materiales

$K1, K2 y K3$: Coeficientes de transferencia de calor por conducción

Coeficiente de transferencia de calor convectivo

Para realizar el siguiente cálculo es necesario tomar en cuenta la relación de la velocidad del viento como lo indica la ecuación No 1.14 (WATMUFF):

$$hct = 2.8 + 3v \quad \text{Ec. 1.14}$$

Donde:

hct : Coeficiente de calor convectivo W/m^2K

v : Velocidad del viento promedio que existe en el área de influencia (m/s)

El coeficiente de transferencia de calor convectivo determina la resistencia térmica equivalente del aislante Kb :

$$Kb = \frac{1}{Req + \frac{1}{hct}} \quad \text{Ec. 1.15}$$

Calor perdido por radiación del vidrio (qrv)

De la superficie del vidrio se pierde calor por radiación y esta se puede calcular mediante la siguiente formula cuya ecuación esta dará por la ley de Stefan Boltzman:

$$qrv = \epsilon v * \sigma * (T_v^4 - T_s^4) \quad \text{Ec. 1.16}$$

Donde:

ϵv : Emitancia del vidrio.

σ : Constante de Stefan Boltzman $5.6697 \times 10^{-8} \frac{w}{m^2K^4}$

T_v : Temperatura del vidrio [K]

T_s : Temperatura del cielo [K]

La temperatura del cielo puede calcularse de la siguiente manera (CINEMAT, 2002):

$$Ts = Ta \left[0.8 + \frac{Tdp - 273}{250} \right]^{0.25} \quad \text{Ec.1. 17}$$

Donde:

Tdp : Temperatura de rocío. [K]

Ta : Temperatura ambiente. [K]

Y la temperatura de rocío mediante (CINEMAT , 2002) :

$$Tdp = \sqrt[8]{\frac{H}{100} (110 + T) - 110} \quad \text{Ec.1.18}$$

Donde:

H : Humedad relativa del ambiente.

T : Temperatura ambiente [K]

Calor perdido por convección del vidrio (qcv)

Si existe una diferencia de temperatura en el interior del líquido o un gas, es casi seguro que se producirá un movimiento en el fluido.

Este movimiento transfiere calor de una parte del fluido a otra por un proceso llamado convección.

El movimiento del fluido puede ser natural o forzado. Si se calienta un líquido o un gas, su densidad (masa por unidad de volumen) suele disminuir. Si el líquido o gas se encuentra en el campo gravitatorio, el fluido más caliente y menos denso asciende, mientras que el fluido más frío y más denso desciende. Este tipo de movimiento, debido exclusivamente a la no uniformidad de la temperatura del fluido, se denomina convección natural.

La convección forzada se logra sometiendo el fluido a un gradiente de presiones, con lo que se fuerza su movimiento de acuerdo a las leyes de la mecánica de fluidos.

Debido a la velocidad del viento y a la diferencia de temperatura del vidrio y el aire existe pérdida de calor por el efecto combinado de la conducción y la convección que viene a estar dado por:

$$qcv = hcv * (Tv - Ta) \quad \text{Ec. 1.19}$$

Donde:

hcv : Coeficiente de transferencia de calor convectivo del vidrio $\left[\frac{w}{m^2 K} \right]$

qcv : Calor perdido por convección del vidrio $\left[\frac{w}{m^2} \right]$

Tv : Temperatura del vidrio [K]

Ta : Temperatura ambiente [K]

Con lo que puede determinarse la igualdad:

$$hcv = hct$$

Ec.1. 20

Y así poder calcular el calor perdido por convección del vidrio.

Calor perdido por radiación del agua (qrw)

Es un tipo de energía emitida por la materia en forma de ondas electromagnéticas (o fotones), como resultado de los cambios en las 57 configuraciones electrónicas de los átomos o moléculas.

En lo que respecta a la transferencia de calor es de interés la radiación térmica o forma de radiación emitida por los cuerpos debido a su temperatura. La radiación térmica suele corresponder a la banda de frecuencias del infrarrojo.

Todos los cuerpos a una temperatura por encima del cero (0) absoluto emiten radiación térmica. La radiación es un fenómeno volumétrico y todos los sólidos, líquidos y gases emiten, absorben o reflejan radiación en diversos grados.

Sin embargo la radiación térmica suele considerarse como un fenómeno superficial para los sólidos que son opacos a la radiación térmica, como los metales, la madera y las rocas, ya que la radiación emitida por las regiones interiores de un material de este tipo nunca puede llegar a la superficie y la radiación incidente sobre esos cuerpos suele absorberse en unas cuantas micras hacia dentro en dichos sólidos.

A diferencia de la conducción y la convección, la radiación no necesita un medio de transmisión y puede ocurrir en el vacío. La transferencia de calor por radiación es la más rápida, a la velocidad de la luz. No sufre atenuación en el vacío.

El agua radia calor hacia el vidrio y la expresión para evaluar esta transferencia se obtiene de la ley de Stefan-Boltzman, considerando que las placas entre las que hay radiación (superficie del agua y placa de vidrio) son planas y paralelas, se considera la siguiente ecuación para determinar el calor perdido por radiación del agua:

$$q_{rw} = \frac{\sigma}{\frac{1}{\varepsilon_w} + \frac{1}{\varepsilon_v} - 1} (T_w^4 - T_v^4) \quad \text{Ec. 1.21}$$

Donde:

q_{rw} : Calor perdido por radiación $\left[\frac{W}{m^2}\right]$

ε_w : Emitancia del agua

ε_v : Emitancia del vidrio

T_w : Temperatura media del agua $[K]$

T_v : Temperatura media del vidrio $[K]$

σ : Constante de Stefan Boltzman $5.6697 \times 10^{-8} \frac{W}{m^2 K^4}$

Calor perdido por convección natural (q_{cw})

Entre el agua y el vidrio hay un espacio ocupado por aire, y conforme el agua se va calentando y el vidrio también, pero en menor grado debido al efecto refrigerante del aire, empieza a haber corrientes de aire caliente de la superficie del agua hacia el vidrio, que provoca la pérdida de calor por convección natural

El coeficiente de transferencia de calor por convección natural puede calcularse de la siguiente manera:

$$hc = 0.884 * (T_w - T_v + \frac{P_w - P_{wv}}{268.9 \times 10^3 - P_w} * (T_w + 273))^{\frac{1}{3}} \quad \text{Ec. 1.22}$$

Donde:

hc : Coeficiente de transferencia de calor por convección natural

P_w : Presión de vapor del agua a la temperatura del agua $[Pa]$

P_{wv} : Presión de vapor del agua a la temperatura del vidrio $[Pa]$

T_w : Temperatura media del agua $[K]$

T_v : Temperatura media del vidrio $[K]$

Con estos valores se puede determinar el coeficiente de calor por convección natural.

Considerando la curva típica de ebullición para agua a 1 bar mostrada en la figura 1.8, puede determinarse que se encuentra en un régimen de ebullición de transición, ebullición de película inestable, o ebullición de película parcial es decir formando burbujas tan rápidamente que estas cubren la superficie formando un manto de vapor, puesto que este estado es muy inestable ya que la película desvanece y reaparece intermitentemente, esto hace que de una forma aleatoria la resistencia de la película incremente, reduciendo el flujo y la transferencia de calor.

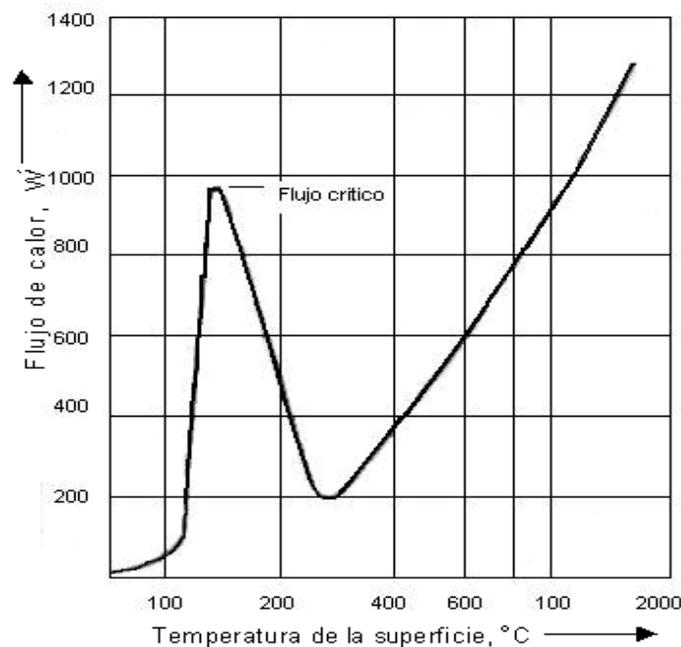


Figura 1.8 Curva típica de ebullición del agua a 1 bar

Sin embargo esto hará un modelo térmico mucho más real de nuestro sistema para lo cual deberemos considerar el coeficiente de radiación efectivo hr el mismo se expresa como:

$$hr = \frac{\varepsilon \cdot \sigma \cdot (T_{sc}^4 - T_w^4)}{T_{sc} - T_w} \quad \text{Ec.1.23}$$

Donde:

hr : Coeficiente de radiación efectivo

ε_a : Emisividad del acero inoxidable

T_{sc} : Temperatura de superficie del vidrio

Si $hr < hc$, se puede considerar una forma más simple de cálculo.

$$h_T = hc + \frac{3}{4}hr \quad \text{Ec. 1.24}$$

Una vez determinado el coeficiente de transferencia de calor por convección total podemos determinar el calor perdido por convección del agua a partir de:

$$q_{cw} = h_T * (T_w - T_v) \quad \text{Ec. 1.25}$$

Donde:

q_{cw} : Calor perdido por convección del agua $\left[\frac{W}{m^2}\right]$

h_T : Coeficiente total de transferencia de calor por convección del agua

T_w : Temperatura media del agua $[K]$

T_v : Temperatura media del vidrio $[K]$

Calor perdido por evaporación

Para el cálculo del calor perdido por evaporación es necesario saber que el calor sensible del aire dentro del destilador es:

$$q_e = h_e * (P_w - P_v) \quad \text{Ec.1.26}$$

Donde:

h_e : Coeficiente de transferencia de calor evaporativo $\left[\frac{W}{m^2K}\right]$

q_e : Calor perdido por evaporación

$$h_e = 0.013h_T \quad \text{Ec. 1.27}$$

Balance global y eficiencia

Para este análisis se consideran dos sistemas aislados por partes y posteriormente se considera el conjunto como un todo, como ya se mencionó anteriormente se toman los valores más representativos que inducen pérdida de calor en el sistema.

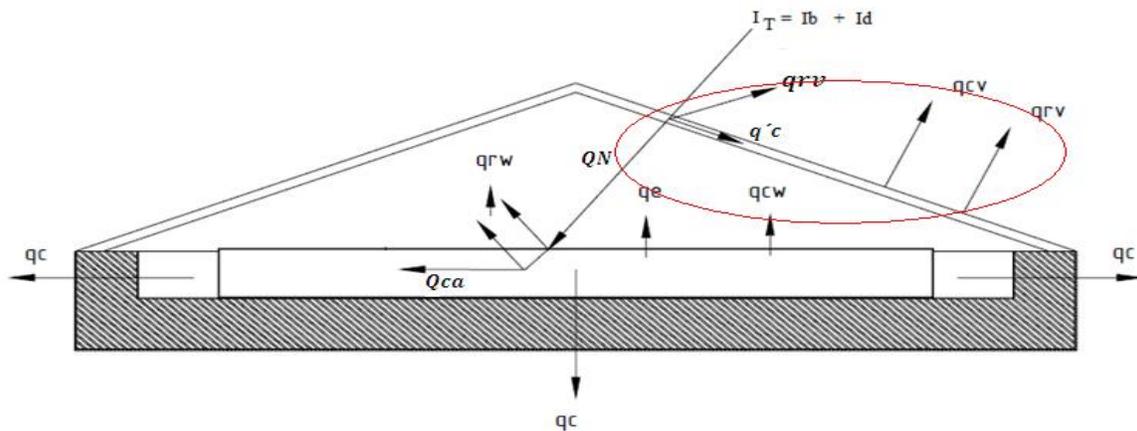


Figura 1.9 Balance global y eficiencia

Ref. Rodríguez Leiva, (2008)

De acuerdo con el esquema encerrado en el círculo mostrado en la Figura 1.9 y tomando en consideración el principio de la conservación de la energía se tiene que: *Energía que entra – Energía que sale = Energía que se almacena*

$$q'c = q_{rw} + q_{cw} + q_e + \alpha g * I_T - (q_{rv} + q_{cv}) \quad \text{Ec. 1.28}$$

Donde:

$q'c$: Calor almacenado por la cubierta. $\left[\frac{W}{m^2}\right]$

q_{rw} : Calor perdido por radiación $\left[\frac{W}{m^2}\right]$

q_{cw} : Calor perdido por convección del agua $\left[\frac{W}{m^2}\right]$

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

I_T : Radiación directa sobre una superficie inclinada

αg : Factor de reflexión de la radiación

q_{rv} : Calor perdido por radiación del vidrio. $\left[\frac{W}{m^2}\right]$

q_{cv} : Coeficiente de transferencia de calor convectivo del vidrio $\left[\frac{W}{m^2}\right]$

Balance de calor sobre el agua

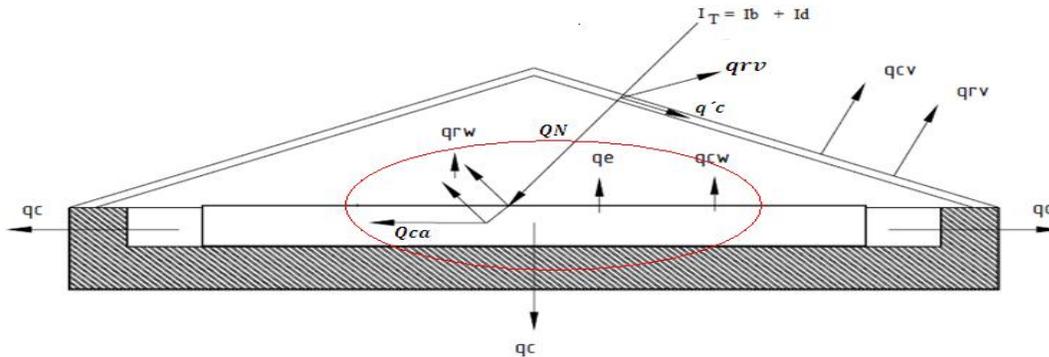


Figura 1.10 Balance de calor sobre el agua

Ref. Rodríguez Leiva,(2008)

De acuerdo con el esquema encerrado en la circunferencia mostrado en la Figura 1.10 y tomando en consideración el principio de la conservación de la energía se tiene: *Energía que entra – Energía que sale = Energía que se almacena*

$$q'a = I_T * (1 - \alpha_g)(1 - \alpha_a) - (q_{rw} + q_{cw} + q_e + q_c) \quad \text{Ec. 1.29}$$

Donde:

$q'a$: Calor almacenado en el interior. $\left[\frac{W}{m^2} \right]$

α_a : Coeficiente que incluye la reflexión y la absorción de la radiación solar por el agua y por el fondo del destilador y es igual a 0.3 aproximadamente.

Siendo el calor almacenado por unidad de área

$$qt = q'c + q'a \quad \text{Ec. 1.30}$$

Expresando esto en función del área del colector solar, se obtiene que la capacidad del calor almacenada por el dispositivo es:

$$QT = qt * A \quad \text{Ec. 1.31}$$

Donde:

QT : Calor absorbido por el sistema $\left[\frac{W-h}{m^2 \text{ dia}} \right]$

A : Área de captación de la energía solar $[m^2]$

Cantidad de calor necesaria para calentar y evaporar

Se requiere calcular la cantidad de calor necesaria para poder elevar la temperatura tanto de la cubierta como del agua, y de esta última poder alcanzar su evaporación.

El vidrio inicialmente se encuentra a la temperatura ambiente y posteriormente este elevará su temperatura paulatinamente hasta alcanzar un valor T_v , este cuerpo absorberá determinada cantidad de calor del total disponible el mismo que lo determinamos por la siguiente fórmula:

$$Q_v = m_v * C_{pv}(T_v - T_a) \quad \text{Ec. 1.32}$$

La masa del vidrio viene dada por:

$$m_v = \rho_v * A_{vidrio} * E_v \quad \text{Ec. 1.33}$$

Donde:

Q_v : Cantidad de calor necesario para calentar el vidrio $\left[\frac{W-h}{m^2 \text{ dia}} \right]$

m_v : Masa del vidrio $[Kg]$

E_v : Espesor del vidrio $[m]$

C_{pv} : Calor específico del vidrio $\left[\frac{J}{Kg K} \right]$

T_a : Temperatura ambiente $[^\circ C]$

T_v : Temperatura de equilibrio del vidrio $[^\circ C]$

ρ_v : Densidad del vidrio $\left[\frac{Kg}{m^3} \right]$

A_{vidrio} : Área del vidrio $[m^2]$

Se requiere estimar la cantidad de calor necesaria para calentar y evaporar el agua de la bandeja, para esto se requiere el dato del volumen, el cual viene dado por las dimensiones de la bandeja del colector con lo cual se procede a determinar el valor de la masa de agua (m_s) que se colocará en la bandeja colectora del modelo experimental.

Con el valor de ms se puede determinar el siguiente calor sensible necesario para calentar el agua:

$$Q_{ca} = ms * Cp * (Tw - Ta) \quad \text{Ec. 1.34}$$

Q_{ca} : Cantidad de calor necesario para calentar el agua $\left[\frac{W-h}{m^2 dia}\right]$

ms : Masa de agua en el colector [Kg]

Cp : Calor específico del agua $\left[\frac{J}{Kg K}\right]$

Ta : Temperatura ambiente [$^{\circ}C$]

Tw : Temperatura de equilibrio del agua [$^{\circ}C$]

Para que exista la evaporación del agua, el sistema debe alcanzar el cambio de estado de fase, es decir, debe tener una energía extra para que el sistema pueda cumplir su función:

$$Q_{ev} = x * ms * \lambda \quad \text{Ec. 1.35}$$

Donde:

Q_{ev} : Cantidad de calor necesaria para evaporar x porcentaje de agua $\left[\frac{W-h}{m^2 dia}\right]$

x : Porcentaje de masa evaporada

λ : Entalpia de vaporización a la temperatura Tw $\left[\frac{KJ}{Kg}\right]$

Por tanto la cantidad necesaria para calentar el vidrio, calentar el agua de la bandeja y evaporar cierto porcentaje de la misma viene dada por:

$$QN = Q_{cv} + Q_{ca} + Q_{ev} \quad \text{Ec. 1.36}$$

Donde:

QN : Calor total necesario

$$Q_{cv} = q_{cv} * A_{vidrio} \quad \text{Ec. 1.37}$$

Eficiencia de un destilador solar

La intensidad de la energía solar que cae sobre el destilador es el parámetro más importante que afecta la producción de agua del destilador solar. La cantidad de agua destilada producida es la cantidad de energía utilizada en la vaporización del agua en el destilador sobre el calor latente de vaporización del agua. La eficiencia del destilador solar es la cantidad de energía utilizada en la vaporización de agua en el destilador sobre la cantidad de incidencia de energía solar en el destilador.

Lo que puede expresarse de la manera siguiente:

Eficiencia del destilador solar teórica:

$$Eficiencia_{teórica} = \frac{Q}{I_T} \times 100 \quad \text{Ec. 1.38}$$

Donde:

Q : Energía total almacenada por el sistema

I_T : Irradiancia total

La energía total almacenada por el sistema es la suma de

$$Q = QT + QN \quad \text{Ec. 1.39}$$

Donde:

Q : Energía total almacenada por el sistema

QT : Calor absorbido por el sistema

QN : Calor necesario para calentar y evaporar

1.3.3. Rendimiento de los destiladores solares

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

En principio las regiones soleadas y cálidas ofrecerán mejores condiciones para la destilación solar que las regiones frías y húmedas, donde por otro lado en principio

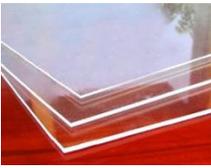
no se hará preciso recurrir a este sistema. Es decir los lugares donde se hará más necesario recurrir a la destilación solar por ser más secos serán también los que dispondrán de más luz solar.

Se estima que los porcentajes de aprovechamiento útil de la energía solar para destilar agua rondan entre el 25 y el 50% para los modelos descritos en la tabla 1.2. Estos valores traducidos en cifras cotidianas significan que es posible obtener entre 3 y 5 litros diarios por m² de destilador, en días soleados.

Materiales utilizados para la construcción de un destilador solar

Algunas de las características de los materiales que son utilizados con frecuencia para la construcción de los destiladores solares se describen en la Tabla 1.4

Tabla. 1.3 Características de algunos materiales utilizados en destiladores solares

Uso en el Destilador	Tipo de material	Características
Material para cubierta	<p style="text-align: center;">Plástico Polimetilmetacrilato</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Alta resistencia a la intemperie • Alto índice de refracción • Transparencia comprendida entre el 85 y el 92%, por lo que deja pasar casi todos los rayos UV • Difusión casi nula
	<p style="text-align: center;">Vidrio</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Resistente a los agentes químicos • No contamina el agua destilada

Continúa Pág. 38

Uso en el Destilador	Tipo de material	Características
Material para tuberías de transporte	<p>Cobre</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Conductividad térmica elevada • Elevado costo
	<p>Aluminio</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Alta conductividad • Baja densidad • Estable al aire y resistente a la corrosión por el agua
	<p>PVC</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Resistente y ligero • Alto aislamiento térmico • No presenta corrosión
Material para estructura de soporte	<p>ACERO inoxidable</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • No presenta corrosión • Resistente a la intemperie
	<p>Hierro</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Bajo costo • Fácilmente oxidable.

Continúa Pág. 39

Uso en el Destilador	Tipo de material	Características
<p align="center">Material para aislamiento Térmica</p>	<p align="center">Fibra de vidrio</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Soporta altas temperaturas • Buen aislante térmico • Bajo costo
	<p align="center">Durapax</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Alto aislamiento térmico • Baja densidad • Bajo costo

Ref. Los Autores

1.4 Propiedades del agua

La molécula de agua libre y aislada, formada por un átomo de Oxígeno unido a otros dos átomos de Hidrogeno es triangular. El ángulo de los dos enlaces (H-OH) es de $104,5^\circ$ y la distancia de enlace O-H es de 0,96 A. Puede considerarse que el enlace en la molécula es covalente, con una cierta participación del enlace iónico debido a la diferencia de electronegatividad entre los átomos que la forman.

La atracción entre las moléculas de agua tiene la fuerza suficiente para producir un agrupamiento de moléculas. La fuerza de atracción entre el hidrógeno de una molécula con el oxígeno de otra es de tal magnitud que se puede incluir en los denominados enlaces de PUENTE DE HIDRÓGENO. Estos enlaces son los que dan lugar al aumento de volumen del agua sólida y a las estructuras hexagonales.

Tabla. 1.4 Propiedades del agua

Estado físico		sólida, líquida y gaseosa
FISICAS	Color	Incolora
	Olor	Inodora
	Sabor	Insípida
	Peso molecular	18.16 g/mol
	Densidad	1 g./c.c. a 4°C
	Punto de congelación	0°C (a 1 atm.)
	Punto de ebullición	100°C
	Presión crítica	217,5 atm
	Temperatura crítica	374°C
	Capacidad calorífica	1 cal/g
	Velocidad de propagación de la ondas longitudinales	1450 m/s
	Constante crioscópica	1.859 °C/ 1000 g
	Constante ebulloscópica	0.51°C/1000 g
	Calor de vaporización	18 cal/mol °C
	Viscosidad cinemática	1792 m ² /s (0°C)
QUIMICAS	Reacciona con los óxidos de ácidos	
	Reacciona con los óxidos básicos	
	Reacciona con los metales	
	Reacciona con los no metales	
	Se une con las sales formando hidratos	
FISICOQUIMICAS	Acción disolvente	
	Fuerza de cohesión entre sus moléculas	
	Elevada fuerza de adhesión	
	Bajo grado de ionización	

Ref. Los Autores

1.5 Agua utilizada en laboratorio

El tipo de agua utilizada en Laboratorio es de varios tipos, pero depende del uso que se le dará, a continuación se presentan los distintos tipos:

a. Agua desmineralizada.

Es aquel tipo de agua que se genera por el paso de agua impura a través de una columna rellena de esferas de una mezcla de dos resinas sintéticas denominadas “resinas de intercambio iónico” que poseen la propiedad de ir secuestrando los iones de las sales disueltas y cambiándolos por iones hidrógeno y oxhidrilo que forman agua. La reacción es instantánea y pasan pocos segundos desde el ingreso del agua a tratar y la salida del agua desmineralizada por la columna de intercambio. (Nuñez, 2007)

b. Agua destilada.

Es aquella a la que se le han eliminado las impurezas e iones mediante destilación. La destilación es un método en desuso para la producción de agua pura a nivel industrial. Esta consiste en separar los componentes líquidos de una mezcla. Debido a su relativamente elevada pureza, algunas propiedades físicas de este tipo de agua son significativamente diferentes a las del agua de consumo diario. Por ejemplo, la conductividad del agua destilada es casi nula (dependiendo del grado de destilación) pues a diferencia del agua de grifo común, carece de muchos iones que producen la conductividad, tales como cloruros, magnesio y fluoruros. (WIKIPEDIA, 2010)

1.5.1 Agua grado reactivo

Es un agua que se puede usar para hacer reactivos, o para utilizarse en aplicaciones analíticas especiales. Hay varios tipos de agua de acuerdo al uso destinado, estas categorías las han estandarizado organizaciones como el ASTM (American Society for Testing and Materials) y la ACS (American Chemical Society). Norma ASTM D 1193-91.

- **Tipo I.-** Agua preparada por destilación, pulida por medio de un tratamiento de resinas de intercambio mezcladas y filtrada a través de una membrana de 0.2 μm , de manera que tenga una conductividad final máxima de 0.06 $\mu\text{S/cm}$.
- **Tipo II.-** Agua producida por un destilador diseñado para producir un destilado que tenga una conductividad final máxima de 1.0 $\mu\text{S/cm}$.
- **Tipo III.-** Agua preparada por destilación, intercambio iónico u ósmosis inversa y filtrada a través de una membrana de 0.45 μm , con una conductividad final máxima de 0.25 $\mu\text{S/cm}$.

La norma 1080: Agua de calidad para reactivo de los Métodos normalizados para el análisis de aguas potables, y residuales (Díaz de S., 1992), presenta el siguiente cuadro resumen de las especificaciones para este tipo de agua.

Tabla. 1.5 Especificaciones del agua grado reactivo

Parámetro de calidad	Tipo I	Tipo II	Tipo III
Bacterias UFC/ml	10	1000	NA
pH	NA	NA	5-8
Resistividad, megaohm-cm a 25°C	>10	>1	0.11
Conductividad $\mu\text{mh/cm}$ a 25°C	<0.1	1	10
SiO ₂ mg/l	<0.05	<0.1	<1
Sólidos totales mg/l	0.1	1	5
Carbono Orgánico oxidable total mg/l	<0.05	<0.2	<1

Ref. Díaz de S., (1992)

A continuación se presenta una descripción general de los parámetros a evaluar según la norma 1080 para agua calidad reactivo:

a. Unidades formadoras de colonias UFC/ml

Las unidades formadoras de colonias o UFC indican el grado de contaminación microbiológica de un ambiente o medio. Refleja el número relativo de microorganismos de una especie determinada en un volumen de un metro cúbico de agua sus unidades de medición son: UFC/ml (UFC por mililitro).

Una de la técnicas para el cálculo de UFC/ml es utilizando en un contador de colonias simple. Se marca el vidrio sobre cada colonia con la punta de un rotulador. Se calculan las colonias o el recuento de organismos vivos/ml multiplicando el número medio de colonias por placa contable por el recíproco de la dilución. Se da el informe como «unidades formadoras de colonias/ml» (ufc) o como «recuento de organismos vivos/ml» y nunca como «bacterias/g o /ml».

b. Conductividad eléctrica

La conductividad es una variable que se controla en muchos sectores, desde la industria química a la agricultura. Esta variable depende de la cantidad de sales disueltas presentes en un líquido y es inversamente proporcional a la resistividad del mismo. Con los instrumentos convencionales, la medida de la conductividad se obtiene aplicando un voltaje entre dos electrodos y midiendo la resistencia de la solución. Las soluciones con conductividad alta producen corrientes más altas.

La conductividad se define como la capacidad de una sustancia de conducir la corriente eléctrica y es lo contrario de la resistencia.

La unidad de medición utilizada comúnmente es el Siemens/cm (S/cm), con una magnitud de 10^{-6} , es decir microSiemens/cm ($\mu\text{S/cm}$), o en 10^{-3} , es decir,

miliSiemens (mS/cm). En el caso de medidas en soluciones acuosas, el valor de la conductividad es directamente proporcional a la concentración de sólidos disueltos, por lo tanto, cuanto mayor sea dicha concentración, mayor será la conductividad. Además de los normales conductímetros, existen instrumentos que convierten automáticamente el valor de conductividad en ppm, ofreciendo directamente las medidas de la concentración de sólidos disueltos.

La conductividad de una solución se determina por un movimiento molecular. La temperatura influye en dicho movimiento, por lo que es necesario tomarla en cuenta cuando se realizan mediciones de precisión. Generalmente, para realizar mediciones comparativas, la temperatura de referencia es de 20 °C ó 25 °C. Para corregir los efectos de la temperatura, se utiliza un factor de compensación β . Se expresa en % / °C que varía de acuerdo con la composición de la solución que se está midiendo.

En la mayor parte de las aplicaciones, el coeficiente β se fija en 2% / °C.

Interferencias

- La exposición de la muestra al aire atmosférico, puede causar cambios en la conductividad, debido a pérdida o ganancia de gases disueltos, en especial el CO₂. Esto es especialmente importante para aguas de alta pureza, con concentraciones bajas de gases y sustancias ionizables. Para evitar esto se debe tener una atmósfera inerte de nitrógeno o helio sobre la muestra.
- Sustancias no disueltas o materiales que precipiten lentamente en la muestra, pueden causar ensuciamiento en la superficie de los electrodos y causar lecturas erróneas.
- El ensuciamiento por sustancias orgánicas y corrosión de los electrodos, causan lecturas inestables o erróneas.
- El factor de correlación para obtener los valores cuantitativos de los sólidos totales disueltos solo es válido cuando la muestra tiene un pH entre 5 y 8, a

valores mayores o menores de pH, los resultados no serán confiables. Se tendrá que ajustar el valor del pH a cerca de 7.0 utilizando un ácido o una base débil según sea necesario.

c. Silicatos SiO_2 mg/l

Por silicatos se entiende un conjunto de sustancias muy distintas entre sí, de composición variable, constituidas principalmente por silicio y oxígeno, y que contienen además otros elementos químicos. También varían las propiedades físicas y químicas. Así, unos (muy pocos y todos ellos alcalinos) son solubles en agua, mientras que otros (la mayoría) son insolubles. En cuanto al aspecto físico, los silicatos difieren notablemente unos de otros; los hay más o menos blancos, de aspecto terroso (bentonita, sepiolita), otros se presentan en forma de láminas brillantes (micas, vermiculita), y otros son densos e intensamente coloreados (lapislázuli, olivino y ultramarinas).

d. Sólidos Totales

Los sólidos totales (TS) es la suma del total de sólidos disueltos (TDS) y el total de sólidos en suspensión (TSS).

La determinación de sólidos disueltos totales mide específicamente el total de residuos sólidos filtrables (sales y residuos orgánicos) a través de una membrana con poros de 2.0 μm (o más pequeños).

En un análisis de agua estas cantidades se determinan gravimétricamente secando una muestra y pesando el residuo. La determinación de sólidos disueltos totales se basa en filtrar un volumen de agua conocido (100 ml es un volumen conveniente para agua dulce, para ambientes altamente salinos se utilizan generalmente volúmenes de 25 ml) para luego evaporarlo a 105°C, hasta que alcance un peso constante. A continuación, se procede a pesar el residuo filtrable que permanece luego de la evaporación. Dicho valor representa la concentración de sólidos disueltos totales. En el caso de

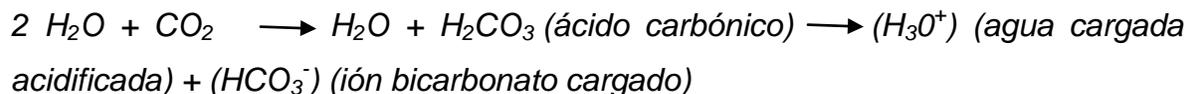
muestras de agua provenientes de ambientes salinos se puede determinar el contenido de sólidos filtrables inorgánicos y orgánicos quemando la muestra, luego de ser previamente filtrada y evaporada. Al quemar la muestra utilizando temperaturas entre 500 y 550°C queda sólo la ceniza inorgánica. La pérdida en peso de la muestra representa el contenido de materia orgánica.

e. pH

El nivel ácido o básico relativo de la solución se mide por el pH. El pH es la medida de la concentración de iones de hidrogeno en el agua, específicamente el logaritmo (log) de la concentración de iones de hidrógeno. La medida del pH se basa en una escala de 1 a 14, con un pH 7.0 neutro (ni ácido ni básico), con igual número de iones hidroxilo (OH⁻) e hidrógeno (H⁺). Un pH menor a 7.0 es ácido y un pH mayor a 7.0 es básico.

Como el valor del pH se expresa en forma logarítmica, un pH de 6.0 es 10 veces mas ácido que un pH de 7.0, y un pH de 5.0 es 100 veces más ácido que un pH de 7.0. El pH tiene efecto en muchas fases del tratamiento del agua tales como coagulación, cloración y ablandamiento del agua.

El agua destilada por definición es ligeramente ácida ronda un pH de 5,8. El motivo es que el agua destilada disuelve el dióxido de carbono del aire. Disuelve dióxido de carbono hasta que está en equilibrio dinámico con la atmósfera. Esto significa que la cantidad que se disuelve equilibra la cantidad que sale de la disolución. La cantidad total en el agua se determina por la concentración en la atmósfera. El dióxido de carbono disuelto reacciona con el agua y finalmente forma ácido carbónico.



Solo recientemente se ha conseguido producir agua destilada con un valor de pH de aproximadamente 7, pero debido a la presencia del dióxido de carbono alcanzará un valor de pH ligeramente ácido en un par de horas.

Además, es importante mencionar que el pH del agua destilada es difícil de medir. No solo porque recoge rápidamente los contaminantes – tales como el dióxido de carbono (CO_2) – afectando a su pH, sino que además tiene una baja conductividad que puede afectar la precisión de los medidores de pH. Por ejemplo, la absorción de unas pocas ppm de CO_2 puede provocar que el pH del agua destilada caiga a 4,5, aunque el agua todavía sea esencialmente de alta calidad.

La estimación más precisa del pH del agua destilada se obtiene midiendo su resistencia; para una resistencia dada, el pH debe encontrarse dentro de ciertos límites. Por ejemplo, si la resistencia es de $10,0 \text{ MWcm}$, el pH debe estar entre 6,6 y 7,6. La relación entre la resistencia y el pH del agua ultra pura se muestra en la figura 1.11.

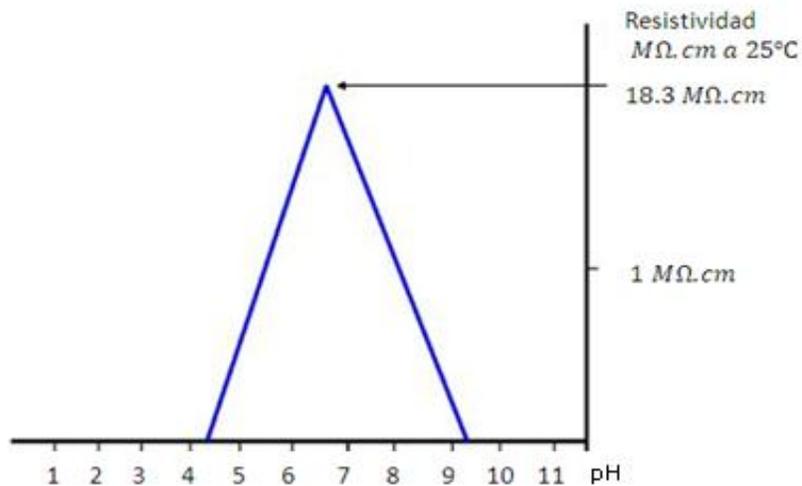


Figura 1.11 Resistividad eléctrica frente al pH del agua destilada

r. Carbono orgánico total (COT)

Es la cantidad de carbono unido a un compuesto orgánico y se usa frecuentemente como un indicador no específico de calidad del agua o del grado de limpieza de los equipos de fabricación de medicamentos. Se mide por la cantidad de dióxido de carbono que se genera al oxidar la materia orgánica en condiciones especiales. El COT es la medida directa del material orgánico, oxidable, con base de carbón, en el agua.

Un análisis típico del COT mide tanto el carbono total (CT) presente como el carbono inorgánico total (CIT). Restando el Carbono inorgánico total del Carbono total obtenemos el Carbono orgánico total.

Hasta acá se ha presentado el fundamento teórico que trata lo referente a energía solar, y las ecuaciones que se utilizan en el diseño del equipo, a continuación se muestran los cálculos que se realizan y parámetros utilizados para el diseño de este tipo de equipos.

CAPITULO II

Diseño del Destilador Solar

2.1 Introducción

En este capítulo se realizan los cálculos respectivos para estimar el área necesaria en la Bandeja del destilador utilizando las ecuaciones descritas en el capítulo uno, de manera que pueda suplirse la demanda proyectada (85 gal) para proceder luego a la construcción del destilador, se iniciará con el cálculo de la radiación solar mensual a partir de información correspondiente a la República de El Salvador en la América Central representado por su día promedio, tomando luego como base el mes con menor valor de radiación ; a partir de este dato y con del modelo de Destilador Solar de dos vertientes se realizarán los Balances de Materia y energía en el equipo que comprenden el balance de calor sobre la cubierta de vidrio, que comprende el cálculo de las pérdidas de calor tanto por conducción, radiación y convección, así como el cálculo del calor ganado por el dispositivo, de manera que tomemos en cuenta las transferencias de calor involucradas en el proceso. Para los cálculos realizados se tomaron en cuenta datos de temperatura de experiencias anteriores de manera que se obtenga una aproximación al valor real de calor involucrado en el sistema, finalmente tomando la menor eficiencia encontrada en libros, se procede a calcular el valor del área de bandeja, que dará la pauta para calcular el valor del área del vidrio y las otras dimensiones del equipo.

2.2 Consideraciones del proceso de diseño

2.2.1 Alternativas de Selección

a) Variables utilizadas para la calificación

Eficiencia: Este parámetro se refiere a la característica fundamental de funcionamiento de todos los equipos, para los destiladores solares es la cantidad

de energía utilizada en la vaporización del agua sobre la cantidad de energía que incide sobre el destilador solar.

Facilidad de trabajo: La cual se evalúa en función de la complejidad de operación que tendrá el equipo al momento de su utilización.

Mantenimiento: Se refiere al costo que esto demanda sobre un equipo, lo que repercute tanto en el tiempo de vida, como en el costo del equipo y eficiencia del mismo, un equipo que requiere mantenimiento mínimo en etapas y en costos, proveerá una mayor comodidad al usuario y menos gastos al realizarlo

Costo: Se refiere al valor correspondiente al costo de materiales y mano de obra que intervendrán en la construcción del equipo.

Fabricación: Es el nivel de complejidad que presenta el modelo experimental al momento del montaje además se toma en cuenta la precisión que presenta dicho equipo.

b) Matriz de selección.

Tomando como base la información presentada en la Tabla 1.2 que muestra los distintos tipos de destiladores se ha elaborado la Tabla 2.1 la cual es una matriz que resume los aspectos que se han considerado al momento de seleccionar la mejor alternativa del equipo a diseñar.

Tabla 2. 1 Matriz de comparación de las alternativas de selección

Aspectos	Calificación	DS1	DS2	DS3	DS4	DS5
Técnicas 50						
Facilidad de trabajo	10	8	8	5	5	5
Facilidad de operación	15	14	13	10	10	9
Mantenimiento	5	4	4	4	4	3
Disponibilidad de materiales	15	13	13	10	10	9
Funcionalidad	5	3	4	3	3	3
Económicas 30						
Costo de fabricación	12	10	11	9		5
Costo de operación	8	5	7	5	9	6
Transporte	10	9	9	8	4	6
Complementarias 20						
Complejidad	10	6	7	8	5	8
Seguridad de uso	10	9	10	8	7	7
Puntuación total	100	81	86	70	64	61

Ref. Los Autores

Haciendo el análisis de las alternativas de selección puede verificarse que la opción con mayor puntuación total según los criterios establecidos en el apartado sobre los distintos tipos de destiladores solares es el destilador solar tipo invernadero de dos vertientes.

Matriz de elaboración y geometría

El modelo experimental de destilador solar a construir será el de dos vertientes, teóricamente con un ángulo de inclinación del sistema de condensación (Vidrio) de 30°.

Para el dimensionamiento físico del modelo experimental se establecen parámetros ya definidos tales como la temperatura ambiente, velocidad del viento, temperatura bandeja de recolección, temperatura de saturación del agua, tomados de estudios anteriores, así como dimensiones fijas de materiales debido a su disponibilidad en el mercado, como es el caso de la bandeja, definida con 1 metro de ancho.

El proyecto y toda su realización se basa en el método inductivo, tomando como base la matriz de selección presentada anteriormente.

2.2.2 Diseño del modelo experimental

De acuerdo al apartado anterior, el modelo experimental del equipo que presenta mejores condiciones para su aprovechamiento es el destilador solar tipo invernadero de dos vertientes, ya que presenta bajos costos, buenas condiciones de mantenimiento y buena eficiencia.

Se utilizará el modelo de Duffie, J.A., Beckman W.A.(1974) para el cálculo de la energía solar que incide en El Salvador específicamente en el departamento de San Salvador con los datos recopilados en el proyecto Solarimetría de la Universidad de El Salvador. A continuación se desarrolla el análisis térmico que comprende el cálculo de las pérdidas de calor tanto por conducción, radiación y convección, así como el cálculo del calor ganado por el dispositivo, para poder encontrar el área del equipo partiendo de la menor eficiencia teórica reportada en estudios anteriores para este tipo de destilador que se estima ronda en un 23 % según Duffie.

Parámetros de diseño

Los parámetros fijados para el diseño se presentan en la tabla 2.2. Uno de los objetivos de esta investigación es suplir la demanda de agua destilada de la planta piloto, el consumo promedio diario se estima en 3 litros de agua, por lo que se pretende que el equipo puede abastecer esta cantidad de agua demandada.

Tabla 2. 2 Parámetros de diseño fijados para la construcción del destilador solar

No.	Parámetro	Valor	Referencia
1	Volumen de agua destilada	0.003m ³	Demanda de agua destilada por la Planta Piloto
2	Ángulo de inclinación de superficie de vidrio	30°	Según referencias bibliográficas, ha este ángulo se tienen menos perdidas por radiación
3	Temperatura Ambiente	24°C	SNET, 2011
4	Velocidad del viento	2.22 $\frac{m}{s}$	SNET, 2011
5	Temperatura de la superficie colectora	35.5°C	Estimada, referencias bibliográficas
6	Espesor de Aislamiento de Fibra de Vidrio	0.005 m	Estimada, referencias bibliográficas

Ref. Los Autores

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

Estimación de la Intensidad de Radiación solar (Duffie, J., Beckman W., 1974)

Se determina las condiciones de radiación solar para los días promedios de cada mes del año, para enero el día 16, febrero el día 14 y así de manera consecutiva, obteniendo un valor por mes; para luego tomar como base el valor más desfavorable de energía solar el cual se establecerá identificando el mes con menor irradiancia y con este valor se desarrollaran los cálculos de diseño. Se toma el valor más desfavorable para dimensionar el equipo bajo condiciones de poca radiación, esto para tomar en cuenta los días de invierno y de mayor nubosidad.

A continuación se presenta un ejemplo de cálculo el cual corresponderá al día 16 de enero, en la tabla 2.4 se muestran los resultados para el resto de días y así determinar el valor de menor irradiancia.

Las constantes utilizadas para la estimación de la intensidad de radiación solar se presentan a continuación:

Tabla 2. 3 Valores de las constantes utilizadas para el cálculo de la intensidad de radiación total.

Constante	Valor	Referencia
Base de cálculo:	7 horas en un 1 día	horas de mayor radiación solar de 9:00 am a 4:00pm
Latitud de San Salvador	$\phi = 13.7^\circ$	DIGESTYC,(2011)
Ángulo de inclinación de la cubierta	$\theta = 30^\circ$	Ángulo que reduce poco las radiaciones, aumenta la difusión (Puppo,1999)

Ref. Los Autores

- **Declinación solar δ :**

Se calculará a partir de la Ec. 1.1 para el día promedio de cada mes.

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

Donde:

δ : Ángulo de declinación solar

n : Numero de día del año

Para el valor de n se tomará el día medio de cada mes contado consecutivamente desde el 1 de enero, como se escribe en la Tabla 2.4

Tabla 2. 4 Días para los cuales se calculará la intensidad de radiación solar y su correspondiente valor de n

Mes	Día	n
Enero	16	16
Febrero	14	45
Marzo	16	75
Abril	15	106
Mayo	16	136
Junio	15	166
Julio	16	197
Agosto	16	228
Septiembre	15	258
Octubre	16	289
Noviembre	15	319
Diciembre	16	350

Ref. Los Autores

Para la declinación solar se obtiene para el día 16 del año (mes de enero):

$$\delta_{16} = 23.45 * \text{sen} \left[\frac{360 * (284 + 16)}{365} \right]$$

$$\delta_{16} = -21.10^\circ$$

- **Angulo del Ocaso ó Semiángulo Horario**

Para el día 16 de enero tenemos a partir de la ecuación 1.2:

$$ws = \text{acos}[-\tan(\delta) * \tan(\emptyset)]$$

Donde:

ws : Ángulo del ocaso

\emptyset : Latitud de San Salvador

Sustituyendo valores:

$$ws_{16} = \text{acos}[-\tan(-22.10^\circ) * \tan(13.7^\circ)]$$

$$ws_{16} = 84.60^\circ$$

- **Número de horas sol teóricas N**

A partir de la Ec. 1.3:

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

Donde:

N : Número de horas solar teóricas

Para el día 16 del año:

$$N_{16} = \frac{2}{15} * 84.60^\circ$$

$$N_{16} = 11.28 \text{ h}$$

- **Constante solar Gsc:**

Se acepta el valor de $G_{sc} = 1353 \text{ W m}^{-2}$ (1940 cal. $\text{Cm}^{-2} \cdot \text{Min}^{-1}$), por la NASA y por la ASTM, por lo tanto:

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

- **Factor de cambio de ángulo de incidencia en el transcurso del día**

Con la Ecuación 1.5 se determina el factor R_b :

$$R_b = \frac{\text{sen}\delta \text{sen}(\varnothing - \theta)(t_2 - t_1) + \frac{12}{\pi} \text{cos}\delta \text{cos}(\varnothing - \theta) (\text{sen}(15t_1) - \text{sen}(15t_2))}{\text{sen}\delta \text{sen}\varnothing(t_2 - t_1) + \frac{12}{\pi} \text{cos}\delta \text{cos}(\varnothing) (\text{sen}(15t_1) - \text{sen}(15t_2))}$$

Donde:

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

θ : Angulo de inclinación de la cubierta (30° , ángulo en el cual las perdidas por radiación son menores, la difusión es mayor y permite el

deslizamiento de las gotas de aguas formadas en la cubierta sin que vuelvan a caer en la bandeja) (PUPPO, 1999)

t_1 :Tiempo inicial medido a partir de la media noche, horario militar. (9:00h)

t_2 :Tiempo final medido a partir de la media noche, horario militar (16:00h)

Sustituyendo valores para el día 16 se tiene:

$$R_{b16} = \frac{\text{sen}(-21.10^\circ)\text{sen}(13.7^\circ - 30^\circ)(7) + \frac{12}{\pi} \cos(-21.10^\circ) \cos(13.7^\circ - 30^\circ) (\text{sen}(135^\circ) - \text{sen}(240^\circ))}{\text{sen}(-21.10^\circ)(\text{sen}13.7^\circ)(7) + \frac{12}{\pi} \cos(-21.10^\circ) \cos(13.7^\circ) (\text{sen}(135^\circ) - \text{sen}(240^\circ))}$$

$$R_{b16} = 1.255$$

- **Radiación Solar en superficie inclinada (Plancha de vidrio)**

Basados en las ecuación 1.4 y utilizando el valor de R_b calculado anteriormente, puede calcularse la radiación solar en una superficie inclinada de la siguiente manera:

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

Donde:

I : Radiación global horaria.

I_d : Radiación solar difusa horaria en superficie horizontal.

I_b : Radiación solar directa horaria en superficie horizontal.

ρ_d : Albedo o coeficiente de reflexión del suelo (0.3).

Para determinar I_d se utiliza el Índice de claridad horario K_T' a partir de la Ec 1.6:

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

Donde:

I_0 : Radiación solar extraterrestre horaria en superficie horizontal.

I : Radiación global horaria.

K_T' : Índice de claridad horario

Para obtener la radiación solar extraterrestre horaria en superficie horizontal se requiere de la Ec 1.7:

$$I_0 = G_{sc} * \epsilon_0 \left[\text{sen}\delta\text{sen}\phi(t_2 - t_1) + \frac{12}{\pi} \text{cos}\delta\text{cos}\phi(\text{sen}(15t_1) - \text{sen}(15t_2)) \right]$$

Donde:

ϵ_0 : Corrección por excentricidad

*Los valores de corrección por excentricidad serán tomados del Anexo II de Morillo, 1998. Ver tabla 2.5

Tabla 2.5 Valores de corrección por excentricidad para los días promedios de cada mes

Mes	Día	ϵ_0
Enero	16	1.0343
Febrero	14	1.0256
Marzo	16	1.0102
Abril	15	0.9927
Mayo	16	0.9771
Junio	15	0.9682
Julio	16	0.9673
Agosto	16	0.9750
Septiembre	15	0.9891
Octubre	16	1.0070
Noviembre	15	1.0231
Diciembre	16	1.0334

Ref. Morillo, (1998)

Sustituyendo en la ecuación 1.7 para el día 16 de enero:

$$I_{017} = 1353 \frac{W}{m^2} * 1.0343 \left[\text{sen}(-21.10^\circ)\text{sen}(13.7^\circ)(16 - 9) + \frac{12}{\pi} \text{cos}(-21.10^\circ) \text{cos}(13.7^\circ)(\text{sen}(15 * 9) - \text{sen}(15 * 16)) \right]$$

$$I_{016} = 6787.06 \frac{W \cdot h}{m^2 \text{ día}}$$

- **Irradiación diaria solar promedio terrestre sobre superficie horizontal (I)** a partir de la Ec 1.8:

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

Donde:

nr: Número de horas solar real

a : Constante de Angstrom

b : Constante de Angstrom

Según el documento “Evaluación del Potencial de Energía Eólica y Solar” (siglas en inglés SWERA) las constantes *a* y *b* de Angstrom Tabla 2.6 obtenidas de los resultados de mediciones para la estación s5 ubicada en San Salvador son 0.308 y 0.351 respectivamente.

Tabla 2. 6 Valor de Constantes “a” y “b” de Angstrom y su coeficiente de correlación “r” para las subestaciones de mediciones en el territorio salvadoreño

Estación	b	a	'a+b'	r
a31	0.524	0.182	0.706	0.942
g3	0.351	0.303	0.654	0.952
h8	0.445	0.213	0.658	0.966
n15	0.304	0.290	0.594	0.981
s27	0.449	0.266	0.715	0.973
s5	0.351	0.308	0.659	0.964
u11	0.359	0.273	0.632	0.959
v13	0.309	0.287	0.596	0.985
z4	0.567	0.147	0.714	0.938

Ref. SWERA, (2005)

Tabla 2. 7 Ubicación de subestaciones de mediciones en territorio salvadoreño por el proyecto Solarimetría de la UES

Código	Estación	Departamento
a31	Montecristo	Santa Ana
g3	Nueva Concepción	Chalatenango
h8	Ahuachapán	Ahuachapán
n15	La Unión	La Unión
s27	Estación Matriz	San Salvador
s5	Observatorio	San Salvador
u11	Beneficio la Carrera	Usulután
v13	Apastepeque	San Vicente
z4	La Galera	Morazán

Ref. SWERA, (2005)

Para el valor de nr , haciendo referencia al número real de horas de brillo solar se toman los registros de brillo solar reportados por la UES en el proyecto de solarimetría en valores promedios de cada mes según la tabla 2.8

Sustituyendo en la ecuación 1.8 para el día 16 de enero con un valor de número de horas solar real de 9.0 h según Tabla 2.8

$$I_{16} = 6787.06 \frac{W * h}{m^2 dia} * \left(0.308 + 0.351 * \frac{9.0h}{11.28h} \right)$$

$$I_{16} = 3991.08 \frac{W * h}{m^2 dia}$$

Tabla 2. 8 Registros de brillo solar recopilados por el proyecto de Solarimetría de la UES
(Promedios mensuales en horas de luz solar)

Estación	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
a18	7,0	7,9	8,3	7,5	5,5	4,7	6,7	6,0	4,5	4,6	5,5	5,9
a31	8,8	8,5	8,1	6,7	5,3	4,6	7,0	5,9	4,2	6,0	7,7	8,3
a35	7,6	7,3	7,0	5,7	4,9	4,6	7,7	7,0	4,5	5,1	7,0	7,4
b10	8,9	8,9	9,5	8,3	7,1	6,7	8,1	7,9	6,4	7,3	8,3	8,8
g3	9,1	9,6	9,2	8,5	7,5	6,8	7,9	7,4	6,3	7,3	8,2	8,1
h8	9,5	9,7	9,6	9,0	7,5	6,7	8,3	7,4	5,9	7,1	8,6	9,4
l4	9,1	9,1	8,7	7,9	6,9	6,3	8,1	7,4	5,8	6,6	8,2	8,9
l8	9,8	9,8	9,5	8,1	6,7	6,0	8,0	7,4	5,9	6,6	8,6	9,5
m18	9,6	10,0	9,7	8,6	7,3	7,0	8,3	7,6	6,3	7,0	8,4	9,2
m23	8,0	8,6	8,4	6,2	4,5	4,7	7,2	6,6	5,3	5,5	6,9	7,0
m6	9,4	9,8	9,7	8,9	7,7	7,3	8,6	8,6	7,2	7,8	8,5	9,3
n15	9,8	10,0	9,7	8,9	7,4	7,4	8,8	8,5	7,2	8,1	9,1	9,7
s27	8,9	9,6	9,6	8,6	6,8	6,3	8,3	7,9	6,2	7,0	8,5	8,5
s5	9,0	8,7	9,1	7,4	5,5	5,5	7,6	7,3	5,6	7,2	8,3	8,9
t6	9,8	9,9	9,6	8,6	7,3	6,8	8,2	7,7	6,7	7,3	8,9	9,4
u11	9,7	10,0	9,7	8,7	7,0	6,8	8,1	8,2	7,0	7,3	8,9	9,5
u6	9,2	9,4	9,1	7,9	6,4	5,6	7,8	7,4	5,5	6,3	8,0	9,0
v13	9,8	10,0	9,5	8,5	6,9	6,5	8,1	8,0	6,6	7,2	8,9	9,7
v6	9,5	9,8	9,5	8,5	7,4	6,9	8,3	8,2	6,8	7,4	8,5	9,4
z2	9,4	9,8	9,4	8,5	7,0	7,0	8,2	8,0	6,9	7,6	8,6	9,2
z4	7,0	7,9	7,9	7,1	5,6	5,1	7,1	6,2	4,6	4,7	5,7	6,2

Ref. SWERA, (2005).

- **Irradiación solar difusa horaria**

Para determinar la irradiación solar difusa horaria, se utilizaran las relaciones presentadas en la Tabla 1.1:

Calculando la Irradiación solar difusa para el día 16 (Ec.1.6):

$$K'_{T16} = \frac{I_{16}}{I_{016}}$$

$$K'_{T16} = \frac{3991.08 \frac{W * h}{m^2 dia}}{6787.06 \frac{W * h}{m^2 dia}}$$

$$K'_{T16} = 0.5880$$

De acuerdo a lo anterior, se define que:

$$K'_{T16} = 0.5880$$

Se encuentra en el intervalo $0.35 < K'_T \leq 0.75$ por lo tanto la relación a utilizar para encontrar I_d según Tabla 1.1 será:

$$\frac{I_d}{I} = 1.577 - 1.84K'_T$$

Sustituyendo para el día 16:

$$I_{d16} = I_{16} * (1.577 - 1.84 * K'_{T16})$$

$$I_{d16} = 3991.08 \frac{W * h}{m^2 dia} * (1.577 - 1.84 * 0.5880)$$

$$I_{d16} = 1975.60 \frac{W * h}{m^2 dia}$$

- **La radiación solar directa horaria I_b**

La radiación solar directa horaria se obtiene a partir de Ec. 1.9:

$$I_b = I - I_d$$

Sustituyendo valores para el día 16:

$$I_{b16} = 3991.08 \frac{W * h}{m^2 dia} - 1975.60 \frac{W * h}{m^2 dia}$$

$$I_{b16} = 2015.48 \frac{W * h}{m^2 dia}$$

Sustituyendo valores calculados anteriormente en la ecuación 1.4 se obtiene la radiación solar en la superficie inclinada que capta el destilador solar para el día 16:

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

$$I_{T16} = (2015.48)(1.255) + (1975.60) \left(\frac{1 + \cos 30^\circ}{2} \right) + 3991.08 \left(\frac{1 - \cos 30^\circ}{2} \right) (0.3) \left[\frac{W * h}{m^2 dia} \right]$$

$$I_{T16} = 4453.43 \frac{W * h}{m^2 dia}$$

De igual forma que para el día 16, se han calculado para el resto de días promedios de cada mes, obteniéndose la tabla 2.9.

Tabla 2. 9 Resumen de valores de radiación solar en superficie inclinada que capta el destilador solar para el día medio n de cada mes de un año

Mes	n	δ_n [°]	ws_n [°]	N_n [h]	R_{bn}	I_{0n} $\frac{W * h}{m^2 dia}$	I_n $\frac{W * h}{m^2 dia}$	K'_{Tn}	I_{dn} $\frac{W * h}{m^2 dia}$	I_b $\frac{W * h}{m^2 dia}$	I_r $\frac{W * h}{m^2 dia}$
Enero	16	-21,10	84,60	11,28	1,255	6787,06	3991,08	0,5880	1975,60	2015,48	4453,43
Febrero	45	-13,62	86,61	11,55	1,148	7331,45	4196,70	0,5724	2197,98	1998,71	4430,55
Marzo	75	-2,42	89,41	11,92	1,014	7876,64	4536,40	0,5759	2346,62	2189,78	4501,65
Abril	106	9,78	92,41	12,32	0,886	8105,44	4205,16	0,5188	2617,27	1587,89	3934,08
Mayo	136	19,03	94,82	12,64	0,794	8010,72	3690,47	0,4607	2691,56	998,91	3378,62
Junio	166	23,31	96,03	12,80	0,751	7882,67	3616,35	0,4588	2650,27	966,08	3270,91
Julio	197	21,35	95,47	12,73	0,771	7906,02	4091,88	0,5176	2556,11	1535,77	3650,83
Agosto	228	13,45	93,34	12,45	0,850	7998,80	4110,39	0,5139	2595,58	1514,82	3791,40
Septiembre	258	2,22	90,54	12,07	0,964	7892,64	3716,03	0,4708	2640,94	1075,09	3575,40
Octubre	289	-9,97	87,54	11,67	1,102	7443,10	3903,95	0,5245	2388,86	1515,09	3976,98
Noviembre	319	-19,15	85,14	11,35	1,226	6881,39	3885,37	0,5646	2090,72	1794,65	4228,29
Diciembre	350	-23,37	83,95	11,19	1,292	6573,31	3859,03	0,5871	1917,09	1941,95	4375,00

Ref. Los Autores

El valor de radiación solar en la superficie inclinada que se utilizará para los siguientes cálculos será el menor valor del año, calculado con el método anteriormente descrito para el día 16.

En la Tabla 2.9 se encuentran las variables calculadas para cada día medio de cada mes. Obteniéndose el menor valor de radiación solar para el día 166 del año en el mes de septiembre el cuál fue de $3270.91 \frac{W * h}{m^2 dia}$, calculado con los datos recopilados por el proyecto solarimetría de la UES en San Salvador.

2.3 Balance de energía en el sistema

Para poder realizar el balance de energía en el sistema se tomaran en cuenta las ecuaciones de transferencia de calor asociadas al sistema. En la tabla 2.10 se establecen los valores de las constantes utilizadas para esta etapa de diseño.

Tabla 2. 10 Valores de las constantes utilizadas para el Balance energético

Constante	Valor	Descripción	Referencia
T_w	$55\text{ }^\circ\text{C} = 328.15\text{K}$	Temperatura media del agua	Estimada en estudios anteriores
T_a	$24\text{ }^\circ\text{C} = 297.15\text{K}$	Temperatura ambiente	SNET, 2011
X_1	0.003 m	Espesor del Acero inoxidable	Lámina de acero inoxidable disponible
X_2	0.0051 m	Espesor de lana de vidrio	INCROPERA, 1999)
X_3	0.002 m	Espesor de hierro	Lámina de hierro disponible
K_1	$55.36 \frac{W}{m^2K}$	Coefficiente de Conductividad térmica para el Acero inoxidable	Apendice 11 MCCabe
K_2	$0.0414 \frac{W}{m^2K}$	Coefficiente de Conductividad térmica de la lana de vidrio	Apendice A.3-15 Geankoplis
K_3	$60.40 \frac{W}{m^2K}$	Coefficiente de Conductividad térmica del hierro	Apendice 11 MCCabe
v	2.22 m/seg	Velocidad del viento promedio	SNET, (2011).
ϵ_v	0.8	Emitancia del vidrio	MILLS, (1995)
σ	$5.6697 \times 10^{-8} \frac{W}{m^2K^4}$	Constante de Stefan Boltzman	MILLS, (1995)
T_v	$35.5\text{ }^\circ\text{C} = 308.65\text{K}$	Temperatura del vidrio	INCROPERA, (1999)
T_{sc}	$27\text{ }^\circ\text{C} = 300.15\text{K}$	Temperatura de superficie colectora	Estimada referencias bibliográficas

Continúa pág. 65

Constante	Valor	Descripción	Referencia
ϵ_w	0.96	Emitancia del agua	INCROPERA, (1999)
ϵ_a	0.19	Emitancia acero inoxidable	INCROPERA,(1999)
ρ	1.1614 g/cm ³	Densidad del aire	INCROPERA, 1999
$C_{p_{aire}}$	1.007 $\frac{J}{Kg K}$	Calor específico del aire	INCROPERA, 1999
λ	2257 $\frac{KJ}{Kg}$	Calor latente de evaporación	INCROPERA, 1999
PT	101.325 KPa	Presión Total	INCROPERA, 1999
Ev	0.004 m	Espesor del vidrio	
ρ_v	2500 $\frac{g}{cm^3}$	Densidad del vidrio	INCROPERA, 1999
V	3 L = 0.003m ³	Volumen del agua a destilar	Volumen de agua proyectada a destilar
$C_{p_{vid}}$	= 750 $\frac{J}{kgK}$	Calor específico del vidrio	INCROPERA, 1999
C_{p_a}	4186 $\frac{J}{kgK}$	Calor específico del agua	INCROPERA, 1999
ρ_w	989.9 $\frac{kg}{m^3}$	Densidad del agua	INCROPERA, 1999

Ref. Los Autores

- **Cálculo de calor perdido por conducción**

Para el cálculo del calor perdido por conducción a través de las paredes del equipo por unidad de área se determina mediante la Ecuación 1.12.

$$q_c = Kb * (T_w - T_a) = \frac{W}{m^2 K}$$

Donde:

q_c : Calor perdido por conducción

Kb : Resistencia térmica equivalente del aislante

T_w : Temperatura media del agua

T_a : Temperatura ambiente

Para el cálculo del calor perdido por conducción es necesario determinar la resistencia térmica equivalente de las paredes aislantes ecuación 1.13:

$$R_{eq} = \frac{x_1}{K_1} + \frac{x_2}{K_2} + \frac{x_3}{K_3}$$

Donde:

R_{eq} : Resistencia equivalente de los materiales

x_1 : Espesor de Acero inoxidable

x_2 : Espesor de lana de vidrio

x_3 : Espesor de hierro

K_1 : Coeficientes de conductividad calorífica del acero inoxidable

K_2 : Coeficientes de conductividad calorífica de la lana de vidrio

K_3 : Coeficientes de conductividad calorífica del hierro

Resistencia térmica del equipo estará formada por los materiales mostrados según la Figura 2.1.

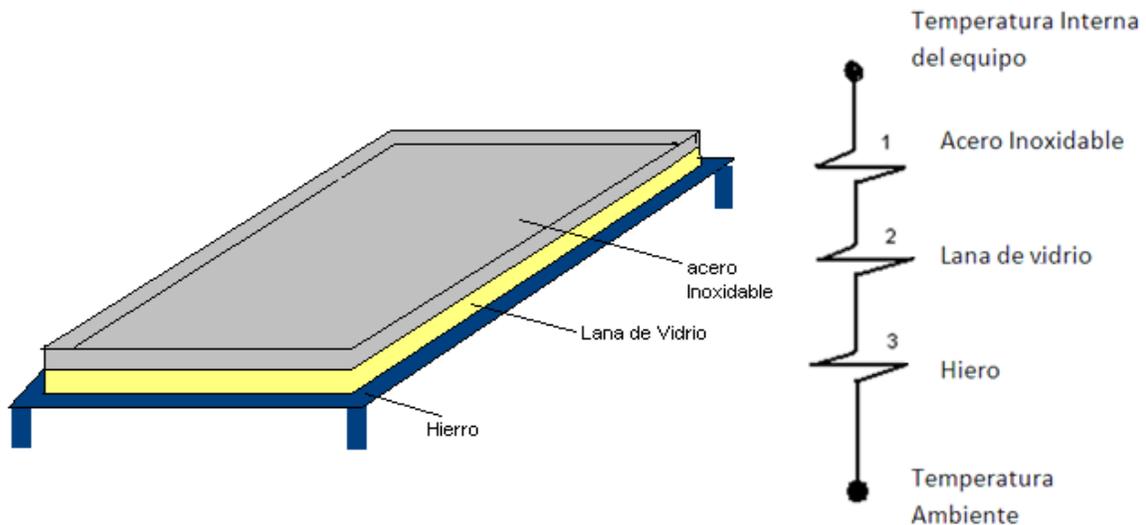


Figura 2. 1 Resistencia de los materiales aislantes en el equipo

Sustituyendo, la resistencia equivalente es:

$$Req = \frac{0.003m}{55.36 \frac{W}{mK}} + \frac{0.051m}{0.0414 \frac{W}{mK}} + \frac{0.002m}{60.40 \frac{W}{mK}}$$
$$Req = 1.232 \frac{m^2K}{W}$$

Calculando el Coeficiente de calor convectivo a partir de la ecuación 1.14 se obtiene:

$$hct = 2.8 + 3v$$

Donde:

hct: Coeficiente de calor convectivo W/m^2K

v: Velocidad del viento 2.2 m/s (ver pag 35)

Sustituyendo valores:

$$hct = 2.8 + 3 * 2.22 \text{ m/s}$$

$$hct = 9.46 \text{ W/m}^2K$$

Con ayuda del coeficiente de transferencia de calor convectivo se determina la resistencia térmica equivalente del aislante *Kb* de la Ec. 1.15:

$$Kb = \frac{1}{Req + \frac{1}{hct}}$$
$$Kb = \frac{1}{1.232 \frac{m^2K}{W} + \frac{1}{9.46 \text{ W/m}^2K}}$$
$$Kb = 1.1985 \frac{W}{m^2K}$$

Sustituyendo valores para calcular el calor perdido por conducción se tiene:

$$qc = 1.1985 \frac{W}{m^2K} * (328.15 - 297.15)K$$
$$qc = 37.1535 \frac{W}{m^2}$$

- **Cálculo del calor perdido por radiación del vidrio**

El calor perdido por la radiación del vidrio se calculará por medio de Ec. 1.16:

$$q_{rv} = \varepsilon_v * \sigma * (t_v^4 - t_s^4)$$

Donde:

ε_v : Emitancia del vidrio.

σ : Constante de Stefan Boltzman $5.6697 \times 10^{-8} \left[\frac{W}{m^2 K^4} \right]$

T_v : Temperatura del vidrio 308.65 [K]

T_s : Temperatura del cielo [K]

La temperatura del cielo T_s se calcula mediante la Ec. 1.17:

$$T_s = T_a \left[0.8 + \frac{T_{dp} - 273}{250} \right]^{0.25}$$

Donde:

T_{dp} : Temperatura de rocío. [K]

T_a : Temperatura ambiente. 24 [K]

✓ Cálculo de la temperatura de rocío T_{dp} :

$$T_{dp} = \sqrt[8]{\frac{H}{100} * (110 + T_a) - 110}$$

Donde:

H : Humedad relativa del ambiente = 75

Sustituyendo valores en ecuación 1.18

$$T_{dp} = \sqrt[8]{\frac{75}{100} * (110 + 24) - 110}$$

$$T_{dp} = 19.27^\circ C = 292.42 K$$

Sustituyendo en la ecuación de T_s Ec. 1.15:

$$T_s = 297K * \left[0.8 + \frac{292.42K - 273}{250} \right]^{0.25}$$

$$T_s = 287.47K$$

Sustituyendo para calcular el calor perdido por radiación del vidrio q_{rv} :

$$q_{rv} = (0.8) * (5.6697 \times 10^{-8} \frac{W}{m^2 K^4}) * [(308.65K)^4 - (287.47)^4]$$

$$q_{rv} = 120.54 \frac{W \cdot h}{m^2 \cdot dia}$$

- **Calor perdido por convección del vidrio:**

De ecuación 1.19

$$q_{cv} = h_{cv} * (T_v - T_a)$$

Donde:

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

Con ayuda de la ecuación 1.20

$$h_{cv} = h_{ct} = 9.46 \frac{W}{m^2 K}$$

Sustituyendo valores:

$$q_{cv} = 9.46 \frac{W}{m^2 K} * (308.65 - 297.15)K$$

$$q_{cv} = 108.7901 \frac{W}{m^2}$$

- **Calor perdido por radiación del agua**

Haciendo uso de la Ec.1.21 tenemos:

$$q_{rw} = \frac{\sigma}{\frac{1}{\epsilon_w} + \frac{1}{\epsilon_v} - 1} (T_w^4 - T_v^4)$$

Donde:

ϵ_w : Emitancia del agua 0.96

ϵ_v : Emitancia del vidrio 0.8

T_w : Temperatura del agua 328.15 °K

T_v : Temperatura del vidrio 308.65 °K

σ : Constante de Stefan Boltzman $5.6697 \times 10^{-8} \left[\frac{W}{m^2 K^4} \right]$

Introduciendo valores en la ecuación, se obtiene:

$$q_{rw} = \frac{\left(5.6697 \times 10^{-8} \frac{W}{m^2 K^4}\right) (328.15 K^4 - 308.65 K^4)}{\frac{1}{0.96} + \frac{1}{0.8} - 1}$$

$$q_{rw} = 113.194 \frac{W - hr}{m^2 - dia}$$

- **Cálculo del calor perdido por convección natural**

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

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

Donde:

q_{cw} : Calor perdido por convección del agua

h_T : Coeficiente total de transferencia de calor por convección del agua

Para calcular h_T se calcularan los siguientes parámetros de la ecuación 1.22:

$$h_c = 0.884 * (T_w - T_v + \frac{P_w - P_{wv}}{268.9 \times 10^3 - P_w} * (T_w + 273))^{\frac{1}{3}}$$

Donde:

h_c : Calor perdido por convección natural

P_w : Presión de vapor del agua a la temperatura del agua

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

T_w : Temperatura del agua

Se obtienen las presiones P_w y P_{wv} a 328.15 K y 308.15 K respectivamente:

Tabla 2. 11 Presiones de vapor de agua

Factor	Simbología	Unidad	Valor
Presión	P_w	Pa	15,758
	P_{wv}		5,628

Ref. RICO, (1988)

Sustituyendo valores:

$$hc = 0.884 * (328.15 - 308.15 + \frac{15758Pa - 5628Pa}{268.9 \times 10^3 - 15758Pa} (328.15 + 273)K)^{\frac{1}{3}}$$

$$hc = 3.1222 \frac{W}{m^2K}$$

Mediante la ecuación 1.23 calculamos el coeficiente de radiación efectivo:

$$hr = \frac{\epsilon_a * \sigma * (T_{sc}^4 - T_w^4)}{T_{sc} - T_w}$$

Donde:

hr : Coeficiente de radiación efectivo

ϵ_a : Emisividad del acero inoxidable

T_{sc} : Temperatura de superficie del vidrio

Sustituyendo valores:

$$hr = \frac{\left(0.19 * 5.6697 \times 10^{-8} \frac{W}{m^2K^4}\right) * ((300.15)^4 - (328.15)^4)}{(300.15) - (328.15)}$$

$$hr = 1.3386 \frac{W}{m^2K}$$

Como $hr < hc$ Se puede considerar la ecuación 1.24:

$$h_T = hc + \frac{3}{4}hr$$

$$h_T = 3.1222 \frac{W}{m^2K} + \frac{3}{4} \left(1.3386 \frac{W}{m^2K}\right)$$

$$h_T = 4.1262 \frac{W}{m^2 K}$$

La cantidad de calor perdida por convección del agua según la ecuación 1.25

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

$$q_{cw} = 4.1262 \frac{W}{m^2 K} * ((328.15) - (308.65))$$

$$q_{cw} = 80.4609 \frac{W - hr}{m^2 - dia}$$

- **Calculo del calor perdido por evaporación**

Partiendo de la ecuación 1.26:

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

Donde:

h_e : Coeficiente de transferencia de calor evaporativo $\left[\frac{W}{m^2 \cdot c} \right]$

q_e : Calor perdido por evaporación

El Coeficiente de transferencia de calor evaporativo se puede relacionar con el coeficiente total de transferencia de calor por convección del agua (h_T) con la siguiente ecuación:

$$h_e = 0.013 h_T$$

Sustituyendo:

$$q_e = 13 \times 10^{-3} * (4.1262 \frac{W}{m^2 K}) * (15758 Pa - 5628 Pa)$$

$$q_e = 543.3793 \frac{W - h}{m^2 - dia}$$

- **Calculo de calor almacenado por la cubierta**

Tomando el valor de la energía solar total calculada con la ecuación 1.4:

$$I_T = 3270.91 \frac{watt * hr}{m^2 dia}$$

Esta radiación es la que llega al vidrio, la cual sufre reflexión, absorción y transmitancia con el factor αg , de la ecuación 1.28 y la radiación solar total se tiene:

$$\alpha g * I_T = 0.1 * 3270.91 \frac{W * h}{m^2 dia} = 327.091 \frac{W * h}{m^2 dia}$$

Por lo tanto la radiación que llega al vidrio es:

$$\alpha g * I_T = 327.091 \frac{W * h}{m^2 dia}$$

De la ecuación 1.28:

$$q'c = qrw + qcw + qe + \alpha g * I_T - (qrv + qcv)$$

$$q'c = [113.194 + 80.4609 + 543.3793 + 327.091 - (103.413 + 108.7901)] \frac{W - h}{m^2 dia}$$

$$q'c = 1069.5023 \frac{W - h}{m^2 dia} * \frac{1 dia}{7h}$$

$$q'c = 152.7860 \frac{W}{m^2}$$

- **Calculo del calor absorbido por el agua**

De la ecuación 1.29 del balance de calor sobre el agua tenemos que:

$$q'a = I_T * (1 - \alpha g)(1 - \alpha a) - (qwr + qcw + qe + qc)$$

Tomando el factor de 7 horas al día para hacer las unidades consistentes se tiene:

$$qwr = 120.54 \frac{W - hr}{m^2 - dia} * \frac{1 dia}{7 h} = 17.22 \frac{W}{m^2}$$

$$qcw = 80.4609 \frac{W - hr}{m^2 - dia} * \frac{1 dia}{7 h} = 11.4944 \frac{W}{m^2}$$

$$qe = 543.3793 \frac{W - h}{m^2 - dia} * \frac{1 dia}{7 h} = 77.6256 \frac{W}{m^2}$$

$$I_T = 3270.91 \frac{W - h}{m^2 - dia} * \frac{1 dia}{7 h} = 467.2729 \frac{W}{m^2}$$

Sustituyendo valores:

$$q'a = 467.2729 \frac{w}{m^2} * ((1 - 0.1)(1 - 0.3)) - (17.22 \frac{w}{m^2} + 11.4944 \frac{w}{m^2} + 77.6256 \frac{w}{m^2} + 37.1544 \frac{w}{m^2})$$
$$q'a = 150.89 \frac{w}{m^2}$$

- **Calculo de calor absorbido por el sistema**, de la Ec 1.30:

$$qt = q'c + q'a$$

Donde:

qt : Calor absorbido por el sistema

$q'a$: Calor absorbido por el agua

$q'c$: Calor almacenado por la cubierta

Sustituyendo datos:

$$qt = 152.7860 \frac{w}{m^2} + 150.89 \frac{w}{m^2}$$
$$qt = 303.6760 \frac{w}{m^2}$$

Calculando la capacidad del calor almacenada por el dispositivo por medio de la ecuación 1.31

$$QT = qt * A$$

$$QT = qt * Abandeja$$

$$QT = 303.6760 \frac{w}{m^2} * Abandeja$$

- **Cantidad de calor necesaria para calentar y evaporar Q** , (Ec 1.33)

$$mv = \rho v * Av * Ev$$

Donde:

ρv Densidad del vidrio

Ev : Espesor del vidrio

mv : Masa del vidrio

Av : Área del vidrio

Para determinar el área del vidrio se ha encontrado una relación entre el área de la bandeja en el fondo del destilador y el área del vidrio, fijando el ancho de la bandeja a 1m., tal como se muestra en la siguiente figura 2.2:

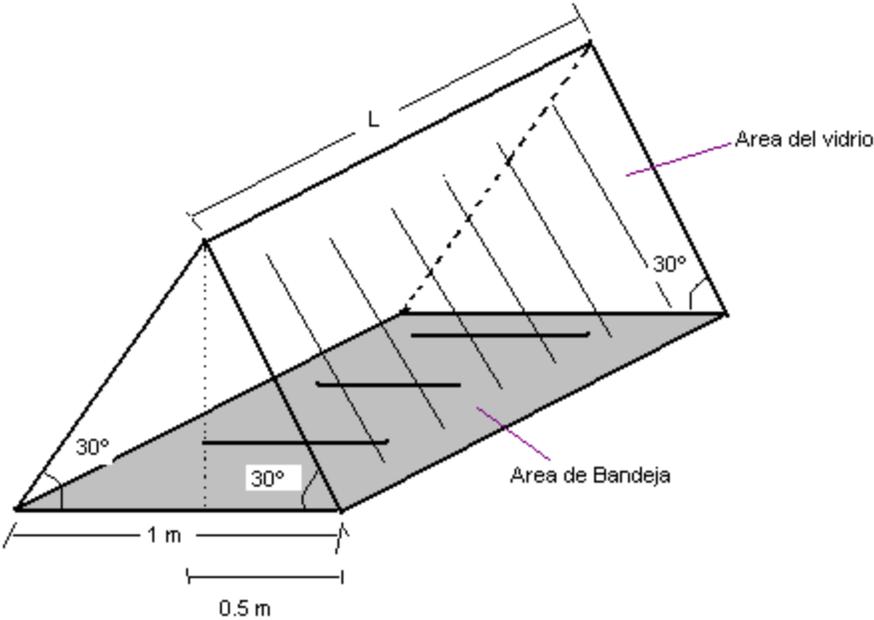


Figura 2. 2 Vista de las longitudes del destilador

Ref. Los Autores

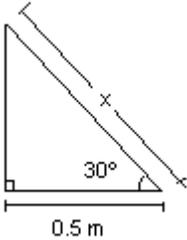


Figura 2. 3 Artificio para determinar dimensión de diagonal del destilador

Ref. Los Autores

A partir de funciones trigonométricas se obtiene que x es igual a:

$$x = \frac{0.5 \text{ m}}{\cos(30^\circ)} = 0.577 \text{ m}$$

Sustituyendo para encontrar la masa del vidrio:

$$mv = 2500 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} * (0.577 \text{ m} * L) * 0.004 \text{ m}$$

$$mv = 5.77 * L \frac{\text{Kg}}{\text{m}}$$

Con ayuda de este dato y haciendo uso de la ecuación 1.32 Calor necesario para calentar el vidrio se obtiene:

$$Qv = mv * Cpv(Tv - Ta)$$

Donde:

Qv : Calor necesario para calentar el vidrio

Cpv : Capacidad calorífica del vidrio

Sustituyendo:

$$Qv = 5.77 * L \frac{\text{Kg}}{\text{m}} * 750 \frac{\text{J}}{\text{KgK}} (308.65\text{K} - 297.15\text{K})$$

$$Qv = 49796.461 \frac{\text{J}}{\text{m}} * L$$

$$Qv = 13.83235 * L \frac{\text{W} * \text{h}}{\text{m} * \text{dia}}$$

- **Calor necesario para calentar el agua**

Para la determinación del calor necesario para calentar el agua se hace uso de la ecuación 1.34:

$$Qca = ms * Cp * (Tw - Ta)$$

$$Qca = 2.97 \text{ kg} * (4186 \frac{\text{J}}{\text{KgK}}) * (328.15 - 297.15)\text{K}$$

$$Qca = 385405.02 \text{ J}$$

$$Qca = 107.057 \frac{\text{W} * \text{h}}{\text{dia}}$$

- **Calor necesario para evaporar x porcentaje de agua**

Cálculo de calor necesario para evaporar un porcentaje del total de la masa de agua Ec. 1.35

$$Q_{ev} = x' * m_s * \lambda$$

Donde:

Q_{ev} : Calor necesario para evaporar el agua

x' : Fracción de agua a evaporar = 1

λ : Calor latente de evaporación del agua

Sustituyendo valores:

$$Q_{ev} = 1.0 * 2.97kg * 2257x10^3 \frac{J}{Kg}$$

$$Q_{ev} = 6703290 J \text{ al dia}$$

$$Q_{ev} = 1862.025 \frac{W - h}{dia}$$

Tomando en cuenta el número de horas de operación del destilador de 7 horas al día:

$$Q_{ca} = 107.057 \frac{W * h}{dia} * \frac{1 dia}{7 h} = 15.2939W$$

$$Q_{ev} = 1862.025 \frac{W - h}{dia} * \frac{1 dia}{7 h} = 266.004W$$

La cantidad necesaria para calentar el vidrio, el agua de la bandeja y evaporar el 100% de la misma viene dada por la ecuación 1.36:

$$Q_N = Q_{cv} + Q_{ca} + Q_{ev}$$

Para la ecuación 1.37:

$$Q_{cv} = q_{cv} * A_{vidrio} + Q_v$$

$$q_{cv} = 108.7901 \frac{W}{m^2}$$

$$Q_{cv} = q_{cv} * \frac{1 dia}{7h} * Area \text{ vidrio} + 13.83235 * L \frac{W * h}{m * dia}$$

$$Q_{cv} = 108.7901 \frac{W}{m^2} * (0.577m * L) * 2 + 13.83235L \frac{W * h}{m * dia} = 139.3762 * L \frac{W}{m}$$

Sustituyendo en la ecuación 1.36:

$$QN = 139.97 * L \frac{W}{m} + 15.2939 W + 266.004W$$

$$QN = 281.297W + 139.97 * L \frac{W}{m}$$

De acuerdo a la ecuación 1.38:

$$Eficiencia_{teórica} = \frac{Q}{I_T} * 100$$

Calculando la energía total almacenada por el sistema según la ecuación 1.39:

$$Q = QT + QN$$

Donde:

Q : Energía total almacenada por el sistema

$$QN = 281.297W + 139.97 * L \frac{W}{m}$$

$$QT = 303.6760 \frac{W}{m^2} * Abandeja$$

El área de la bandeja ($Abandeja$) de igual forma que con el área del vidrio se puede definir según la figura 2.2 de la siguiente manera:

$$Abandeja = 0.5 m * L$$

Sustituyendo en la ecuación 1.39

$$Q = \left(303.6760 \frac{W}{m^2} * 1 m * L \right) + \left(281.297w + 139.97 * L \frac{W}{m} \right)$$

$$Q = 303.6760 \frac{W}{m} * L + 281.297w + 139.97 \frac{W}{m} * L$$

$$Q = 281.297w + 443.646 \frac{W}{m} * L$$

Ahora sustituyendo en la ecuación 1.38:

$$Eficiencia_{teórica} = \frac{281.297w + 443.646 \frac{W}{m} * L}{3270.91W/m^2} * 100$$

Para la eficiencia se utilizará el valor promedio de las eficiencias máxima y mínima reportadas en la bibliografía las cuales son de 25% y 50% respectivamente, dando como promedio una eficiencia de 37.5%

Sustituyendo en la ecuación para encontrar la longitud L del destilador se tiene:

$$37.5 = \frac{281.297w + 443.646 \frac{W}{m} * L}{3270.91W/m^2} * 100$$

Despejando L

$$L = 2.13 \text{ m}$$

Por lo tanto el $A_{bandeja}$ será de:

$$A_{bandeja} = 1m * L = 2.13m^2$$

Por lo tanto el Área de la bandeja para una producción promedio de 3 litros al día con una eficiencia del equipo de 37.5% será de **2.13m²** aproximando este valor a **2.0m²**.

2.4 Prototipo del modelo experimental

Para el prototipo diseñado se realizara la construcción del mismo en función de las consideraciones de cada parte del equipo que se detallaran a continuación.

El equipo se construirá en un taller de estructuras metálicas bajo la supervisión del equipo de trabajo y siguiendo todas las consideraciones expuestas.

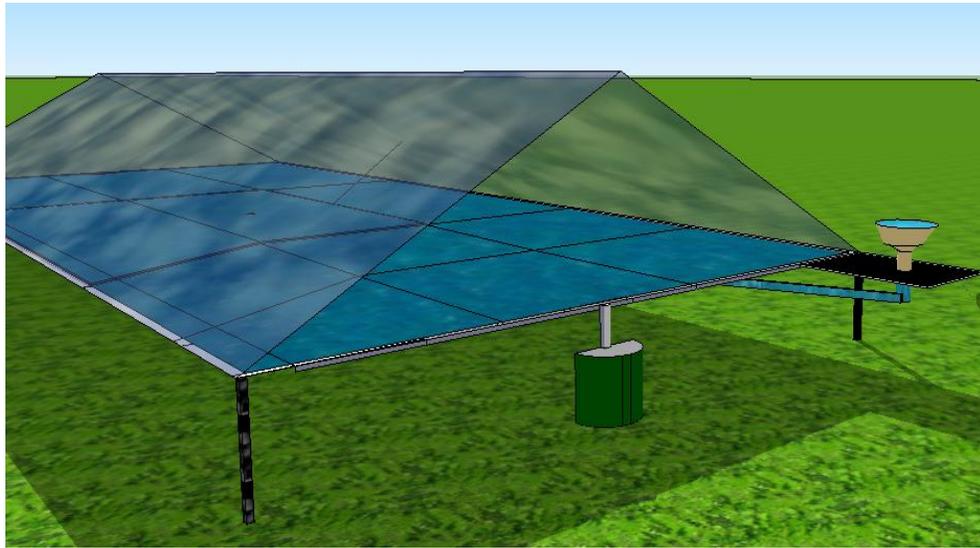


Figura 2. 4 Prototipo experimental del destilador solar.

Ref. Los Autores

Tabla 2. 12 Parámetros de Diseño

Parámetro	Valor
Volumen de agua destilada	0.003m ³
Ángulo de inclinación de superficie de vidrio	30°
Temperatura Ambiente	24°C
Velocidad del viento	2.22 $\frac{m}{s}$
Temperatura de la superficie colectora	35.5°C
Espesor de Aislamiento de Fibra de Vidrio	0.005 m
Área de bandeja	2.0
Ancho de bandeja	1 m
Largo de bandeja	2.0 m
Ancho del equipo	1.15 m
Largo del equipo	2.2 m
Altura de la estructura metálica	1 m

Ref. Los Autores

Tabla 2. 13 Parámetros de calidad del agua

Parámetro	Agua de Grifo	Agua destilada
Unidades Formadoras de Colonias (UFC/ml)	✓	✓
pH	✓	✓
Resistividad (MΩ-cm a 25 °C)	✓	✓
Contenido de Sílice (SiO ₂ en mg/L)	✓	✓
Sólidos totales disueltos (mg/L)	✓	✓
Carbono Orgánico Total Oxidable (COT)	✓	✓

Ref. Los Autores

Tabla 2. 14 Variables del sistema

Variable	
Volumen de entrada (m^3)	Variables a medir durante la evaluación de funcionamiento del destilador solar. Tiempo: 15 días (7 horas diarias).
Volumen de salida (m^3)	
Caudal de entrada (m^3/s)	
Temperatura de Entrada (°C)	
Temperatura de Bandeja (°C)	
Temperatura de Vidrio (°C)	
Temperatura de Salida (°C)	

Ref. Los Autores

2.5 Descripción de las partes del equipo

Para la construcción y montaje del prototipo se requiere un procedimiento de fabricación que involucra varios pasos, la cotización de los materiales, compra y adquisición del material y la construcción misma del equipo.

A continuación se describe el proceso de construcción del mismo:

Proceso de fabricación

Para la fabricación y montaje del modelo experimental se toma en cuenta lo siguiente:

Materiales

2 rectángulos de vidrio transparente de 4 mm de grosor. Medidas: 0.57 x 2.0 m.

2 triángulos de hierro de 1 x 0.57 x 0.57 m.

Una bandeja de acero inoxidable 1 x 2.0 m.

Una plancha de hierro de 0.2 mm de grosor de 54 x 59 cm.

Ángulo de hierro de 2 pulgadas, 13.7 m

Tubos de hierro de 1 1/2 pulgadas 9.6 m

Papel aluminio

Montaje

- 1) Cortar dos piezas rectangulares de vidrio de 0.57 m de ancho por 2.0 m de largo, para la cubierta.

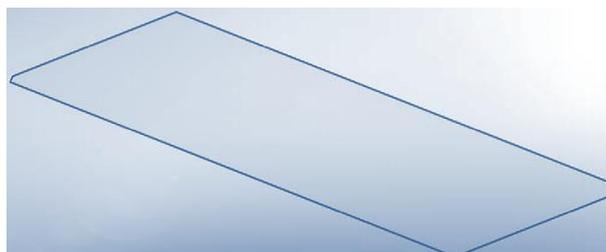


Figura 2. 5 Rectángulo de vidrio

- 2) Preparar dos triángulos de hierro cuya base tenga 1 m de largo y sus dos costados sean de 0.57 cm cada uno, para los lados de la cubierta. Estos serán forrados con papel aluminio.

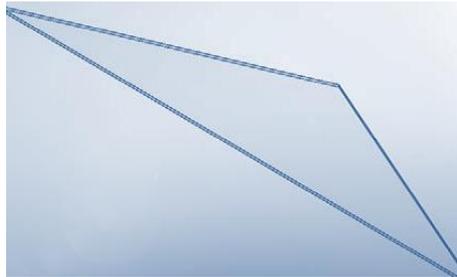


Figura 2. 6 Triángulo de vidrio

- 3) Construir la estructura para montar el vidrio de la cubierta utilizando ángulos de hierro formando una estructura con forma de invernadero como se muestra en la figura 2.7, darle un tratamiento con antioxidante después pintarla para que no se dañe por las condiciones climáticas.

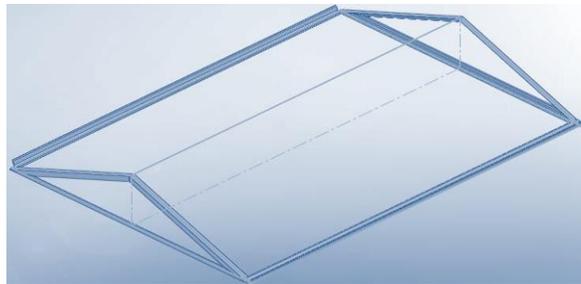


Figura 2. 7 Estructura para la cubierta elaborada con ángulo de hierro.

- 4) Pegar las dos piezas de vidrio con pegamento epóxico para vidrio-metal a la estructura de hierro de la estructura descrita en el paso anterior.
- 5) Dejar secar la estructura 12 horas. Si la estructura ha quedado débil, puede atornillar en las esquinas alguna escuadra pequeñas con unos tornillos pasantes inoxidables.

- 6) Elaborar dos piezas de hierro de 0.15 x 3 m con forma de canal en donde se colectara el agua destilada que se condensa en la superficie del vidrio. Estas piezas tendrán orificios en uno de los extremos para conectarles manguera cortas y así depositar el agua destilada en unos recipientes destinados a almacenar el agua obtenida en el día.

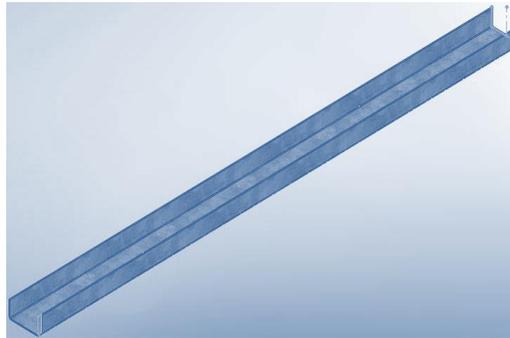


Figura 2. 8 Colector para el agua destilada

- 7) Las dimensiones de la bandeja que servirá como base del invernadero serán 1 x 2.0 m. Como es muy difícil encontrar una bandeja de estas dimensiones, se recortara una chapa acero inoxidable de 1.5 mm de grosor y luego plegar sus bordes. Las solapas laterales de la bandeja deben tener 4 cm. por altura. Plegar las solapas laterales de la plancha de acero inoxidable con la ayuda de una dobladora y luego soldar las esquinas. Pintar la bandeja con anticorrosivo y pintura epóxica de color negro.

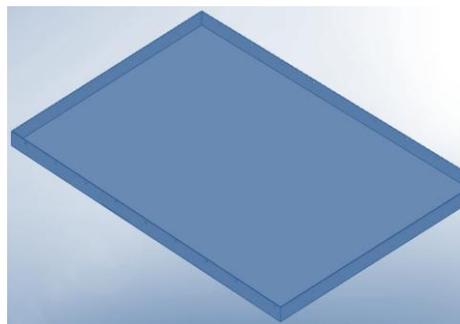


Figura 2. 9 Bandeja de acero inoxidable

- 8) Para la estructura que protegerá la bandeja y sostendrá la cubierta se utilizarán laminas de hierro de 1.5 mm de espesor estas laminas se soldarán unas con otras formando un rectángulo al que se le abrirá un orificio para introducir la tubería de alimentación para la bandeja En la estructura de soporte se soldarán las piezas para coleccionar el agua destilada descritas en el paso 6º, estas piezas se tratarán con pintura especial grado alimenticio para evitar cualquier arrastre de contaminante que afecte las condiciones buscadas en el agua destilada.
- 9) Construir la estructura del soporte para el destilador con tubería de hierro de 1 ½ pulgadas. Este soporte tendrá la forma de mesa como se muestra en la figura 2.10. Para sostener la bandeja de acero inoxidable se debe empernar a la parte superior de esta estructura piezas de hierro para que en ellas descansen la bandeja sin fijarla para poder darle un mejor mantenimiento.

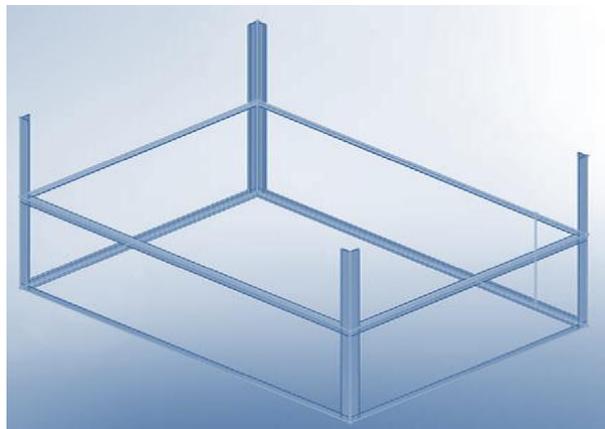


Figura 2. 10 Estructura de soporte para el destilador.

- 10) Cuando se haya montado toda la estructura de soporte de las dos vertientes, se colocará entre las paredes de protección y la bandeja lana de vidrio como aislante térmico. Además se soldarán cadenas de hierro a las estructuras metálicas tanto de la cubierta como de las paredes laterales de

la estructura de protección de la bandeja, para poder abrir y cerrar fácilmente el destilador para darle mantenimiento y limpieza.

Para que funcione el destilador, se colocará en un lugar donde reciba radiación solar y esté a resguardo de vientos fuertes. Conviene que la superficie sobre la que se colocará el destilador se encuentre nivelada. A continuación se trata de manera amplia lo referente a la construcción del equipo y los ajustes realizados al mismo sobre el diseño, dependiendo de los materiales disponibles en el mercado local.

CAPITULO III

Construcción y ajustes del destilador solar

3.1 Introducción

En el presente capítulo se tratan los principios que rigen el funcionamiento del destilador solar, desde la conformación de la idea inicial sobre el sistema hasta el resultado final, desglosando cada una de las partes constituyentes, materiales utilizados para la construcción, buscando la optimización en el funcionamiento del equipo haciendo uso de materiales idóneos.

Además se describe de manera detallada la construcción del equipo, haciendo mención de los parámetros clave durante el proceso de la construcción, se presentan cada una de las etapas de funcionamiento del equipo desde la adición de la materia prima (agua de grifo), pasando por los procesos de evaporación en bandeja y posterior condensación en la cubierta de vidrio, hasta llegar a la recolección de la misma en los recipientes correspondientes.

Como todo equipo, se requiere de ajustes por lo tanto se dedica un apartado especial en el que se muestran los ajustes requeridos para optimizar el funcionamiento, aspectos que deben ser tomados en cuenta en futuros proyectos de esta índole de tal manera que se aplique el principio de la mejora continua, para alcanzar un rendimiento superior en el funcionamiento del mismo.

3.2 Principios de funcionamiento

El principio de funcionamiento de los equipos de destilación solar está basado en el efecto invernadero, el cual es aplicable para todos los tipos, y la capacidad para aprovechar la energía solar dependerá del diseño del mismo.

Una de las bondades del equipo diseñado consiste en que se aprovecha el sol durante todo el día, ya que la ubicación del mismo dentro del terreno destinado

para este, permite que la radiación solar sea captada de manera eficiente, esto es, durante la mañana, así como por la tarde, logrando con esto que el evaporador se mantenga a altas temperaturas durante el período de validación y el resto del día, incluso durante horas de la noche y madrugada.

3.3 Esquema del equipo

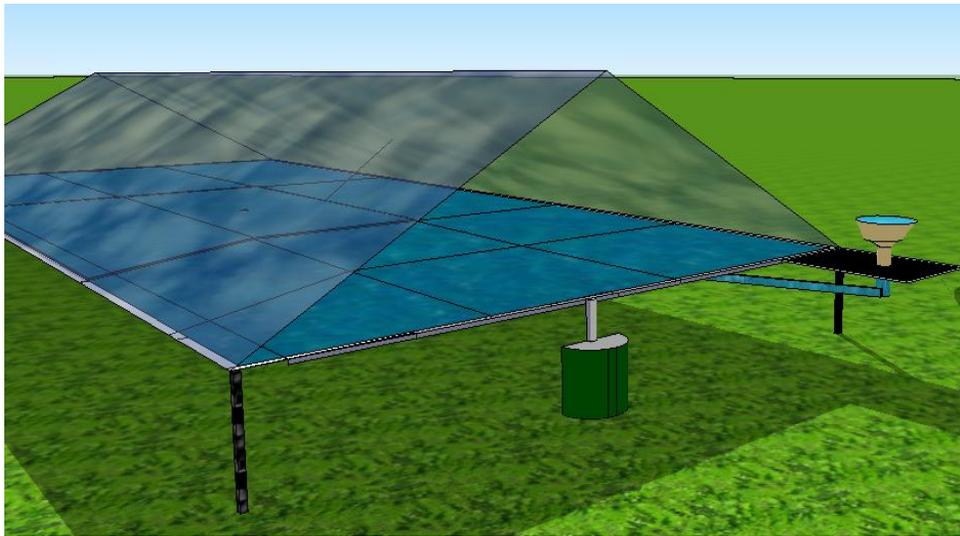


Figura 3.1 Propuesta de diseño para el destilador solar tipo invernadero.

Ref. Los Autores.

3.4 Selección de Materiales

Material para estructura principal

- a) Tubos cuadrados de hierro de 1''. Material para la estructura del equipo y alma de hierro para sostener pileta de cerámica
- b) Tubos cuadrados de hierro de ½''. Material para estructura de la base que contendrá alma de hierro y bandeja de hierro
- c) Vidrio simple de 5 mm de espesor, 2 placas de 2 X 1.5 m, el cual se utiliza para recubrir parte superior del sistema.

- d) 3 m² de ladrillo de cerámica gris oscuro, utilizada para la construcción de la bandeja contenedora de agua a ser tratada
- e) 6 m de tubería PVC de ½'' para la construcción de los canales de desagüe
- f) 1 m de tubería PVC de ¾'' para tubería desde el canal hacia los recipientes contenedores
- g) 2 m² de material de fibra de vidrio para aislamiento de pileta de cerámica

Materiales adicionales para la construcción

- 4 Tubos de silicón negro para fijar ladrillo de cerámica al hierro y aislar partes metálicas que podrían facilitar la salida del calor captado por el interior del sistema, tales como esquinas y uniones de tubos de hierro en los que no existen puntos de soldadura entre uniones de hierro.
- 4 Tubos de silicón incoloro para reforzar partes donde puede fugarse el agua evaporada de la bandeja y posteriormente condensada en la carcasa de vidrio.

3.5 Construcción detallada del destilador solar y parámetros claves

Los pasos seguidos para la construcción del sistema se detallan a continuación:

1. Corte y soldadura de estructura metálica, la cual fue supervisada por los estudiantes y docentes directores en cada una de sus etapas, desde el corte hasta la instalación tomando en cuenta medidas y ángulos requeridos, como se muestra en las Figuras 3.2 y 3.3.



Figura 3.2 Estructura metálica principal del equipo.



Figura 3.3 Estructura de hierro ajustable sobre la cual descansa la pileta de cerámica

En la figura 3.3 se presentan las vistas correspondientes a la estructura metálica del equipo, en la cual se observa que gran parte del material fue utilizado en la construcción de la base sobre la cual descansa la estructura o cubierta de vidrio (condensador), y la base de la bandeja donde se ubica la pileta de cerámica (evaporador).

2. Instalación del sistema de canales de PVC en el sistema. Este sistema fue instalado de tal manera que el agua no permanezca estancada, facilitando la fluidez luego de condensar y recopilar la mayor cantidad de agua en estado líquido proveniente de las placas de vidrio para luego ser transportada hacia los recipientes colectores.



Figura 3.4 Sistema de tuberías colectoras



Figura 3.5 Instalación de planchas de vidrio

3. Instalación de cubierta de vidrio en el sistema. Instalado al interior de la carcasa superior de la estructura de hierro y adherido a dicha superficie por medio de la aplicación de silicón en el contorno de la estructura, y de forma simultánea funciona como aislante del calor evitando que el agua evaporada se fugue en dichas hendiduras.



Figura 3. 6 Vista de cubierta de vidrio luego que se seca el silicón

4. Instalación de ladrillo de cerámica para la construcción de la pileta. Con la adición de silicón negro en la estructura de hierro se instaló cada una de las piezas constituyentes de la pileta, la cual tiene como función captar el agua alimentada para su posterior proceso de destilado



Figura 3. 7 Instalación de cerámica para construcción de pileta (Evaporador)



Figura 3. 8 Vista de alineación de las piezas de cerámica al momento de instalarlas



Figura 3. 9 Equipo utilizado para verificación de nivel en la estructura de la bandeja, de tal manera que el agua se distribuya uniformemente sobre la misma

Para la instalación de la parte lateral de la pileta fue necesario cortar dichos ladrillos con las medidas necesarias para asegurar un buen ensamble de las piezas, evitando fugas al momento de alimentar el agua en la pileta, ver figura 3.10 y 3.11



Figura 3. 10 Medición y cortes de piezas de cerámica



Figura 3. 11 Ejecución de cortes precisos para construcción de bandeja

Finalmente se obtiene una pileta como la que se muestra en la figura 3.12:



Figura 3. 12 Pileta de cerámica (Evaporador)

3.5.1 Funcionamiento del equipo

El objetivo del diseñado del equipo se concentra en el funcionamiento promoviendo requerimientos mínimos en cuanto a intervención del ser humano, tal como se detalla a continuación:

- a) El agua adicionada por el embudo externo llega, por medio de la tubería instalada en forma de U, hacia la bandeja de cerámica por efecto rebalse ingresando por la parte inferior de la bandeja. (debido a la presión ejercida por el agua desde el exterior, es decir bajo el principio de diferencias de presión, esta se llena por efecto rebalse hasta que el agua contenida en la pileta alcance una altura aproximadamente de 0.5 cm formando un espejo de agua que sea capaz tanto de calentarse como de evaporarse)



Figura 3. 13 Adición de materia prima (agua de grifo) al sistema de destilación



Figura 3. 14 Tubería que transporta el agua alimentada al sistema hacia la bandeja de cerámica



Figura 3. 15 Tubería de alimentación de agua en bandeja de cerámica (efecto rebalse) y sistema de desagüe de bandeja

- b) Cuando el agua ha alcanzado la altura o nivel requerido y recibe los primeros rayos del sol, se puede observar que el vidrio se va opacando por acción del agua evaporada de la bandeja, es decir, al contacto de la radiación solar con el agua se genera el proceso de evaporación como se presenta en la figura 3.17

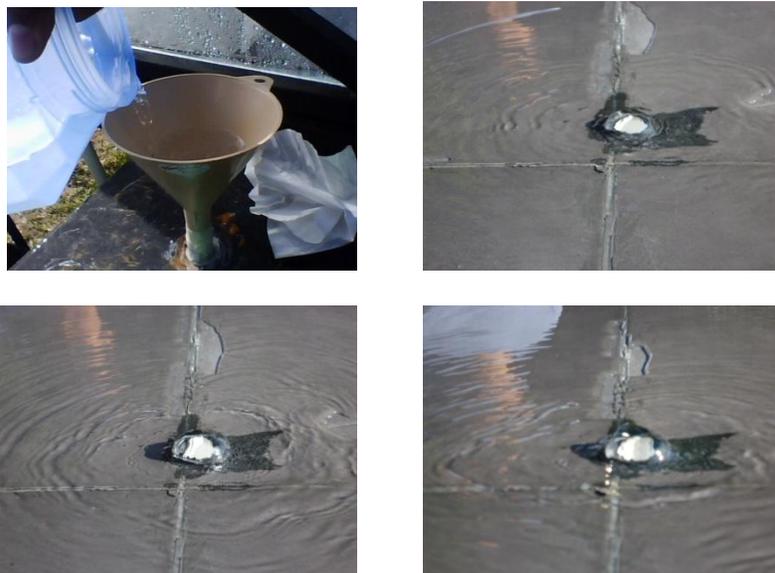


Figura 3.16 Proceso de llenado de bandeja por efecto rebalse.



Figura 3.17 Proceso de evaporación del agua de bandeja, lo cual se manifiesta de manera visual generando opacidad en la cubierta de vidrio

- c) El agua evaporada al entrar en contacto con la superficie del vidrio forma una capa de agua condensada que al transcurrir el tiempo inicia la formación de diminutas gotas, que a su vez se unen entre sí, hasta alcanzar el tamaño necesario para comenzar el recorrido en forma vertical por la misma superficie de vidrio hasta llegar a los canales de recolección.

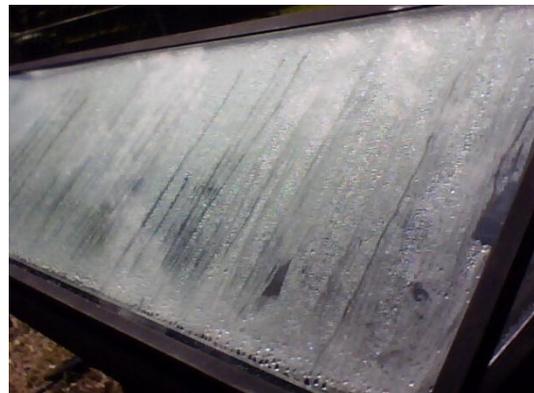


Figura 3.18 Formación de gotas de agua por efecto de la condensación y deslizamiento por la superficie interna del vidrio hacia canales de recolección

d) Luego de caer a los canales de recolección, el agua es transportada hacia los recipientes donde dicho producto será cuantificado diariamente y se realizan los análisis respectivos para verificar los parámetros a validar.

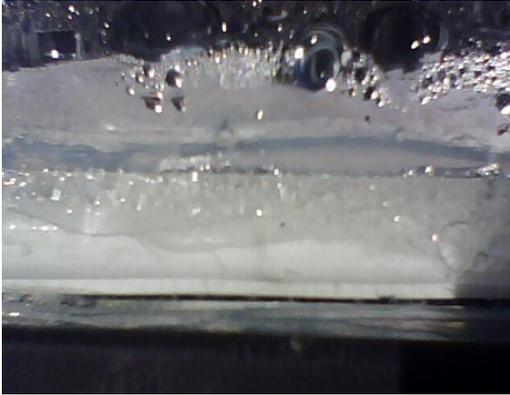


Figura 3.19 Canal de recolección de agua destilada.



Figura 3.20 Tubería de transporte de agua destilada y recipiente colector

3.5.2 Ajustes

- Reforzado del canal interno de PVC que se encarga de transportar el agua, de tal manera que el transporte del agua hacia los tanques recolectores sea de la forma más eficiente.
- Ajuste de bandeja de cerámica para alcanzar un nivel constante en el espejo de agua a lo largo de la superficie de la estructura.
- Reforzado con silicón en uniones de tubería para evitar fugas de agua tanto en la alimentación, como en la recolección de líquido
- Limpieza interna del vidrio para deslizamiento eficaz de las gotas formadas en el condensador.

3.6 Aspectos económicos

Se realizó la gestión de servicios profesionales en cada una de las actividades del proceso de construcción tales como mecánica estructural, instalación de vidrio, instalación de bandeja de cerámica, además de la adquisición de los materiales idóneos para la construcción del equipo manteniendo siempre un mejor rendimiento del mismo. A continuación se hace un detalle de los costos en que se incurrió con base a lo establecido:

Tabla 3. 1 Costo de materiales básicos

Material	Cantidad	Costo unitario US \$	Costo total US\$
Tubería cuadrada de hierro de 1" x 6 m	3	11.83	35.49
Tubería cuadrada de hierro de ½" x 6 m	8 m	6.50	8.67
Vidrio simple de 5 mm de espesor 2x0.6 m	2 placas	24.00	48.00
Ladrillo cerámico gris oscuro	3 m ²	10.00	30.00
Lámina de 1mm de espesor 2x1m	1	20.00	20.00

Ref. Los Autores

Tabla 3. 2 Costo de Accesorios

Material	Cantidad	Costo unitario US \$	Costo total US\$
Tubería de PVC de ½"	3.5 m	1.95	6.83
Tubería de PVC de ¾"	1 m	1.44	1.44
Válvula de bola de ½"	1	1.20	1.20
Codos de ½"	1	0.13	0.13
Tapón Hembra de ½"	1	0.28	0.28
Tee de ½"	1	0.27	0.27
Fibra de vidrio 2x1m ²	3	1.10	3.30
Silicón negro tubo x 70 ml	3	1.80	5.40
Silicón incoloro tubo x 70 ml	3	1.90	5.70
Pegamento de PVC x 50 ml	2	4.10	8.20
Recipientes de 12 L	2	2.30	4.60
Silicón para pegar cerámica	2	7.90	15.80
Thinner corriente	1	2.20	2.20
Teflón	1	0.25	0.25
Lija de agua	1	1.70	1,70
Pegamento Epoximil	1	4.07	4.07
Ángulos de 1"x 1/8" x 6m	2	7.50	15.00
Manguera transparente	1 yd	1.35	1.35
Broca para concreto 1/8"x3"	2	1.30	2.60

Ref. Los Autores

Tabla 3. 3 Costo de Mano de obra

Detalle	Costo total US\$
Corte, soldadura, instalación y transporte estructura metálica	200
Corte e instalación de ladrillo de cerámica y tubería	30
Instalación, transporte y corte de vidrio	30

Ref. Los Autores

Tabla 3. 4 Costo Total del destilador

Costo total de equipo US\$	482.48
----------------------------	--------

Ref. Los Autores

3.7 Balance de energía en el sistema

Para poder realizar el balance de energía en el sistema se tomaran en cuenta las ecuaciones de transferencia de calor asociadas al sistema. En la tabla 2.10 se establecen los valores de las constantes utilizadas, en la tabla 3.5 se encuentran las constantes a utilizar debido al cambio de los materiales en la construcción del equipo.

Tabla 3. 5 Valores de las constantes utilizadas para el Balance energético

Constante	Valor	Descripción	Referencia
X_1	0.005 m	Espesor del Cerámica	http://www.revistaconstruir.com/acabados/ceramica/133-ceramica-en-pisos-y-paredes
K_1	$0.81 \frac{W}{mk}$	Coficiente de Conductividad térmica para el Cerámica	Norma Argentina IRAM 11601* Tercera Edición
ϵ_c	0.93	Emitancia Cerámica	Norma Argentina IRAM 11601* Tercera Edición

Ref. Los Autores

- **Cálculo de calor perdido por conducción**

Recalculando con la Ecuación 1.12 el calor perdido por conducción:

$$qc = Kb * (T_w - T_a) = \frac{W}{m}$$

La resistencia térmica equivalente de las paredes aislantes se verá afectada por el cambio de material de la bandeja el cual es cerámica para lo cual se calcula con la ecuación 1.13:

$$Req = \frac{x1}{K1} + \frac{x2}{K2} + \frac{x3}{K3}$$

Donde:

Req: Resistencia equivalente de los materiales

x1 : Espesor de Cerámica

x2: Espesor de lana de vidrio

x3: Espesor de hierro

K1: Coeficientes de conductividad calorífica de la cerámica

K2: Coeficientes de conductividad calorífica de la lana de vidrio

K3: Coeficientes de conductividad calorífica del hierro

La resistencia térmica del equipo estará formada por los materiales mostrados según la Figura 3.21.

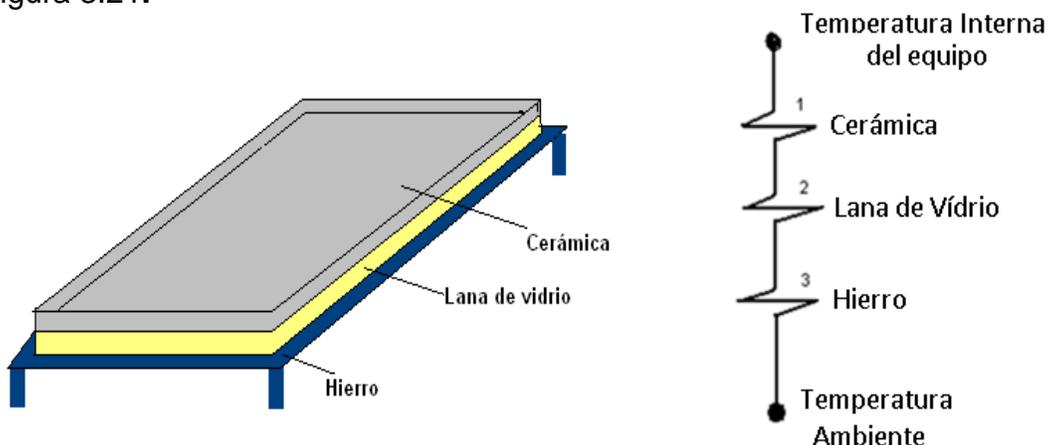


Figura 3. 21 Resistencia de los materiales aislantes en el equipo

Sustituyendo, en la ecuación 1.13:

$$Req = \frac{0.005m}{0.8141 \frac{W}{mK}} + \frac{0.051m}{0.0414 \frac{W}{mK}} + \frac{0.002m}{60.40 \frac{W}{mK}}$$

$$Req = 1.238 \frac{m^2K}{W}$$

Ahora se determina la resistencia térmica equivalente del aislante Kb de Ec 1.15:

$$Kb = \frac{1}{Req + \frac{1}{hct}}$$

$$Kb = \frac{1}{1.238 \frac{m^2K}{W} + \frac{1}{9.46 W/m^2K}}$$

$$Kb = 0.744 \frac{W}{m^2K}$$

Calculando el calor perdido por conducción se tiene:

$$qc = 0.744 \frac{W}{m^2K} * (328.15 - 297.15)K$$

$$qc = 23.32 \frac{W}{m^2}$$

Sustituyendo valores:

$$hc = 0.884 * (328.15 - 308.15 + \frac{15758Pa - 5628Pa}{268.9 \times 10^3 - 15758Pa} (328.15 + 273)K)^{\frac{1}{3}}$$

$$hc = 1.92804 \frac{W}{m^2K}$$

Mediante la ecuación 1.23 calculamos el coeficiente de radiación efectivo:

$$hr = \frac{\epsilon_c * \sigma * (Tsc^4 - Tw^4)}{Tsc - Tw}$$

Donde:

hr : Coeficiente de radiación efectivo

ε_c : Emisividad de la cerámica

T_{sc} : Temperatura de superficie del vidrio

Sustituyendo valores:

$$hr = \frac{\left(0.93 * 5.6697 \times 10^{-8} \frac{W}{m^2 K^4}\right) * ((300.15K)^4 - (328.15K)^4)}{(300.15K) - (328.15K)}$$
$$hr = 6.55203 \frac{W}{m^2 K}$$

De Ec 1.24:

$$h_T = hc + \frac{3}{4} hr$$
$$h_T = 1.92804 \frac{W}{m^2 K} + \frac{3}{4} \left(6.55203 \frac{W}{m^2 K}\right)$$
$$h_T = 6.84207 \frac{W}{m^2 K}$$

La cantidad de calor perdida por convección del agua según la ecuación 1.25

$$q_{cw} = h_T * (T_w - T_v)$$
$$q_{cw} = 6.84207 \frac{W}{m^2 K} * ((328.15) - (308.65))$$

$$q_{cw} = 133.42 \frac{W - hr}{m^2 - dia}$$

- **Calculo del calor perdido por evaporación**

De la ecuación 1.26 y la ecuación 1.27:

$$q_e = h_e * (P_w - P_v)$$
$$h_e = 0.013 h_T$$

Sustituyendo:

$$q_e = 13 \times 10^{-3} * \left(6.84207 \frac{W}{m^2 K}\right) * (15758Pa - 5628Pa)$$
$$q_e = 901.032 \frac{W - h}{m^2 - dia}$$

- **Calculo de calor almacenado por la cubierta**

Calculando el promedio de la radiación recibida durante la validación tenemos:

De la ecuación 1.28:

$$q'c = qrw + qcw + qe + \alpha g * I_T - (qrv + qcv)$$

$$q'c = \left[113.194 + 133.42 + 901.032 + 0.1 * 4193.976 \frac{W-h}{m^2 dia} - (103.413 + 108.7901) \right] \frac{W-h}{m^2 dia}$$

$$q'c = 1354.84 \frac{W-h}{m^2 dia} * \frac{1 dia}{7h}$$

$$q'c = 193.549 \frac{W}{m^2}$$

Tabla 3. 6 Radiación Solar promedio para cada día de la validación

Día	Radiación Solar recibida $\frac{W-h}{m^2 dia}$
01-feb-2012	4429,5
02-feb-2012	2468,8
03-feb-2012	4429,5
04-feb-2012	5311,6
05-feb-2012	4775,3
06-feb-2012	4219,1
07-feb-2012	4473,55
08-feb-2012	1465,5
09-feb-2012	4894,4
10-feb-2012	4420,1
11-feb-2012	4854,7
12-feb-2012	4490,4
13-feb-2012	3882,5
14-feb-2012	4940,2
15-feb-2012	3854,5
Promedio(I_T)	4193,976

Ref. Los Autores

- **Cálculo del calor absorbido por el agua**

De la ecuación 1.29 del balance de calor sobre el agua tenemos que:

$$q'a = I_T * (1 - \alpha g)(1 - \alpha a) - (qrw + qcw + qe + qc)$$

Para hacer las unidades consistentes se tiene:

$$qrw = 120.54 \frac{W - hr}{m^2 - dia} * \frac{1 dia}{7 h} = 17.22 \frac{W}{m^2}$$

$$qcw = 133.42 \frac{W - hr}{m^2 - dia} * \frac{1 dia}{7 h} = 19.06 \frac{W}{m^2}$$

$$qe = 901.032 \frac{W - h}{m^2 - dia} * \frac{1 dia}{7 h} = 128.719 \frac{W}{m^2}$$

$$I_T = 4193.976 \frac{W - h}{m^2 dia} * \frac{1 dia}{7 h} = 599.139 \frac{W}{m^2}$$

Sustituyendo valores: $q'a = I_T * (1 - \alpha_g)(1 - \alpha_a) - (qrw + qcw + qe + qc)$

$$q'a = 599.139 \frac{W}{m^2} * ((1 - 0.1)(1 - 0.3)) - (17.22 \frac{W}{m^2} + 19.06 \frac{W}{m^2} + 128.719 \frac{W}{m^2} + 23.32 \frac{W}{m^2})$$

$$q'a = 189.139 \frac{W}{m^2}$$

- **Calculo de calor absorbido por el sistema, de Ec 1.30:**

$$qt = q'c + q'a$$

Donde:

qt : Calor absorbido por el sistema

$q'a$: Calor absorbido por el agua

$q'c$: Calor almacenado por la cubierta

Sustituyendo datos:

$$qt = 193.549 \frac{W}{m^2} + 189.139 \frac{W}{m^2}$$

$$qt = 382.688 \frac{W}{m^2}$$

Calculando la capacidad del calor almacenada por el dispositivo por medio de la ecuación 1.31 y utilizan el area de la bandeja la cual es de 1.8 m^2

$$QT = qt * A$$

$$QT = qt * Abandeja$$

$$QT = 382.688 \frac{W}{m^2} * 1.8m^2 = 688.838 W$$

Debido a que no toda la cantidad de agua retenida en la bandeja fue evaporada, calculamos el porcentaje de agua aproximado calculado dividiendo la cantidad de agua promedio obtenida del sistema, entre la cantidad de agua adicionada al sistema:

$$x = \frac{Vcolectado \text{ en sistema}}{Vadicionado \text{ al sistema}}$$

Donde

x : Fracción de agua evaporada en el sistema.

Tabla 3. 7 Volumen de agua colectada para cada día de la validación

Día	Volumen de agua colectado <i>lt</i>
01-feb-2012	0,50
02-feb-2012	0,45
03-feb-2012	0,60
04-feb-2012	2,15
05-feb-2012	1,90
06-feb-2012	1,90
07-feb-2012	2,05
08-feb-2012	0,85
09-feb-2012	2,70
10-feb-2012	2,30
11-feb-2012	2.00
12-feb-2012	2.00
13-feb-2012	2.00
14-feb-2012	3.00
15-feb-2012	3,25
Promedio	1.84

Ref. Los Autores

$$x = \frac{V_{\text{colectado en sistema}}}{V_{\text{adicionado al sistema}}} = \frac{1.84 \text{ lt}}{15 \text{ lt}} = 0.12$$

Recalculando Q_{ev} de Ec. 1.35

$$Q_{ev} = x' * ms * \lambda$$

$$Q_{ev} = 0.12 * 1.84 * m^3 * 2257 \times 10^3 \frac{J}{Kg}$$

$$Q_{ev} = 498346 \text{ J al día}$$

$$Q_{ev} = 138.429 \frac{W \cdot h}{\text{día}}$$

Tomando en cuenta el número de horas de operación del destilador de 7 horas al día:

$$Q_{ev} = 138.429 \frac{W \cdot h}{\text{día}} * \frac{1 \text{ día}}{7 \text{ h}} = 19.7756 \text{ W}$$

Sustituyendo en la ecuación 1.36:

$$Q_N = Q_{cv} + Q_{ca} + Q_{ev}$$

$$Q_N = 139.97 * L \frac{W}{m} + 15.2939 \text{ W} + 19.7756 \text{ W}$$

$$Q_N = 78.8339 \text{ W} + 139.97 * 2.11 \text{ m} \frac{W}{m} = 330.406 \text{ W}$$

De acuerdo a la ecuación 1.38:

$$Eficiencia_{teórica} = \frac{Q_N}{I_T} * 100$$

Ahora sustituyendo en la ecuación 1.38:

$$Eficiencia = \frac{330.406 \text{ W}}{599.139 \frac{W}{m^2} * 1.8 \text{ m}^2} * 100$$

$$Eficiencia = \frac{330.406 \text{ W}}{1078.45 \text{ W}} * 100 = 30.64\%$$

La eficiencia del sistema construido es de **30.64%**.

Tabla 3. 8 Comparación entre parámetros diseñados y parámetros construidos.

Equipo	Área de Bandeja m^2	Eficiencia %
Diseñado	2.06	35.5
Construido	1.80	30.64

Ref. Los Autores

En la tabla 3.8 podemos observar una pequeña diferencia entre el área diseñada y el área construida, debido a que se realizaron ajustes posteriores en el equipo de manera que el agua no tuviera problemas para llegar del vidrio hacia los canales de recolección.

Hasta este punto del contenido se aborda lo que se refiere a la construcción y ajustes del equipo, a continuación se aborda la parte experimental del trabajo, definiendo las variables, parámetros, instrumentos de medición, obtención de datos por medio de instrumentación para definir variables del equipo, tabular y analizar resultados obtenidos según sea el caso.

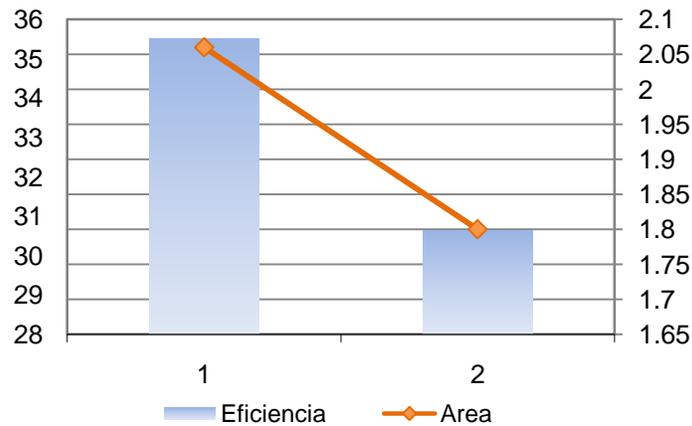


Figura 3. 22 Comparación de Eficiencia del destilador diseñado y destilador construido

CAPITULO IV

Fase experimental

4.1 Introducción

Durante la fase experimental se tiene como objetivo realizar un proceso de obtención de agua calidad reactivo tipo III, por medio del equipo de destilación solar construido, utilizando como materia prima el agua de grifo generando una transferencia de masa, donde el producto obtenido posea propiedades del agua calidad reactivo tipo III, características que son necesarias para ser utilizadas en los laboratorios, tal como se contempla en los objetivos de la investigación.

La obtención y empleo del agua destilada por vía solar es una práctica bien conocida en el mundo. Su calidad determina su posibilidad de uso en diferentes esferas. En la bibliografía internacional sobre el tema de destilación solar se hace referencia a la eficiencia de los destiladores y a los materiales con los cuales se construyen, pero pocas veces aparece un estudio de la calidad del agua destilada obtenida con ellas, lo que se hace necesario para la validación de dichos equipos y su posterior uso en las diferentes industrias.

4.2 Definición de variables y parámetros a analizar

Los niveles de calidad de agua para reactivo cubren un espectro que oscila entre el tipo I, sin concentraciones detectables de los compuestos o elementos analizar dentro de los límites de detección del método analítico, y el tipo III, para lavados y análisis cualitativos. El agua para análisis no debe contener sustancias que interfieran con los métodos analíticos. La calidad del agua está directamente relacionada con el análisis que vaya a efectuarse. Puede diferir de hecho, en función de los componentes orgánicos, inorgánicos y microbiológicos y del uso que se vaya a dar a dicha agua.

Se realizó una búsqueda, en el Centro de Información de Normas y Reglamentos Técnicos, Certificación y Metrología de El Salvador, sobre normalización para

evaluar la calidad del agua destilada y no se encontraron normas nacionales sobre el tema.

Por tanto se tomo como base bibliográfica la norma 1080: Agua de calidad para reactivo de los Métodos normalizados para el análisis de aguas potables, y residuales (Díaz de S., 1992), de lo que se extrajo las siguientes especificaciones (Tabla 4.1):

Tabla 4. 1 Parámetros de calidad para agua grado reactivo

PARAMETRO DE CALIDAD	Tipo I	Tipo II	Tipo III
Bacterias, $\left[\frac{UFC}{mL}\right]$	10	1000	NA
pH	NA	NA	5-8
Resistividad, $\left[\frac{M\Omega}{cm}\right]$ a 25°C	>10	>1	0.11
Conductividad, $\left[\frac{\mu V}{cm}\right]$ a 25°C	<0.10	1	10
SiO₂, $\left[\frac{mg}{L}\right]$	<0.05	<0.1	<1
Sólidos totales, $\left[\frac{mg}{L}\right]$	0.1	1	5
Carbono Orgánico oxidable total, $\left[\frac{mg}{L}\right]$	<0.05	<0.2	<1

NA: No Aplicable

Ref. Díaz de S., (1992)

Con base a lo anterior, se establecieron los parámetros y variables de interés a los cuales se les dará seguimiento durante el período de validación de 15 días para poder validar el método de obtención de agua destilada grado reactivo tipo III, por medio del Destilador solar construido. Los datos de interés se presentan en las Tabla 4.2 y 4.3.

Tabla 4. 2 Parámetros de calidad del agua

Parámetro	Agua de Grifo	Agua destilada
Unidades Formadoras de Colonias $\left[\frac{UFC}{mL}\right]$	✓	✓
pH	✓	✓
Resistividad $\left[\frac{M\Omega}{cm}\right]$ a 25°C	✓	✓
Contenido de Sílice (SiO ₂) $\left[\frac{mg}{L}\right]$	✓	✓
Sólidos totales disueltos $\left[\frac{mg}{L}\right]$	✓	✓
Carbono Orgánico Total Oxidable (COT) $\left[\frac{mg}{L}\right]$	✓	✓

Ref. Los autores

Los datos de la Tabla 4.2 serán evaluados en los días 1 y 15 del periodo de validación y se realizarán muestras por triplicado.

Tabla 4. 3 Variables del sistema

Variable	Variables a medir durante la evaluación de funcionamiento del destilador solar.
Volumen de entrada [L]	Tiempo: 15 días (7 horas diarias en intervalos de 15 minutos).
Volumen de salida [L]	
Caudal de entrada $\left[\frac{L}{s}\right]$	
Temperatura de Vidrio [°C]	
Temperatura de Cerámica [°C]	
Temperatura de Agua de bandeja [°C]	
Radiación solar $\left[\frac{Wh}{m^2}\right]$	

Ref. Los Autores

4.3 Recopilación de datos experimentales

Se estableció un período de muestreo comprendido en quince días continuos iniciando el 01 de febrero del 2012 y finalizando el día 15 de febrero del mismo año, la recopilación de datos se llevo a cabo durante las 09:00 y 16:00 horas de cada día (7 horas), basados en que durante este intervalo de tiempo se percibe la mayor

cantidad de radiación solar, la cual es de especial interés para que el destilador solar genere los resultados deseados.

El muestreo se desarrollo durante las 7 horas en intervalos de 15 minutos cada uno, en cada muestreo se llevo a cabo la medición de:

Volumen de entrada [L]	Temperatura de Agua de bandeja [°C]
Volumen de salida [L]	Radiación solar $\left[\frac{Wh}{m^2}\right]$
Caudal de entrada $\left[\frac{L}{s}\right]$	Velocidad del viento $\left[\frac{m}{s}\right]$
Temperatura de Vidrio [°C]	Nubosidad [%]
Temperatura de Cerámica [°C]	

El equipo de medición quedó constituido por un sistema de termopares y termocuplas que permite el registro de manera continua de las temperaturas del colector solar, cuerpo de agua y ambas placas condensadores. También se evaluó la velocidad del viento, radiación solar, y producción de destilado para cada condensador. Se realizaron una serie de corridas experimentales durante 15 días continuos durante el mes de febrero con el equipo sujeto a diferentes condiciones climáticas.

La radiación solar y velocidad del viento se obtuvo por medio de la descarga de datos de la estación meteorológica ubicada en la Universidad de El Salvador y proporcionada por el Observatorio Ambiental cuyas coordenadas son Latitud Norte 13.719 y Longitud Oeste -89.203.



Figura 4. 1 Solarímetro para recopilar datos de radiación solar, de la estación meteorológica del Observatorio Ambiental, Ubicado en la Universidad de El Salvador



Figura 4. 2 Estación meteorológica del Observatorio ambiental, ubicado en las instalaciones de la Universidad de El Salvador



Figura 4. 3 Medición de temperaturas con ayuda de una termocupla

Los análisis físico-químicos abarcan una descripción física de la muestra, pH, Sólidos totales disueltos $\left[\frac{mg}{L}\right]$, Resistividad $\left[\frac{M\Omega}{cm}\right]$ a 25°C. La medición de las propiedades se realizó en los laboratorios de la planta piloto de la Escuela de Ingeniería Química con ayuda de pH metro y un equipo multiparámetros.

Para los análisis microbiológicos, físicos y químicos, se tomaron tres muestras de agua del destilador solar, y otra del agua potable que se vierte en el equipo para realizar el estudio y la comparación.



Figura 4. 4 Muestreo de aguas para análisis fisicoquímicos y microbiológicos

Para tomar las muestras en todas las ocasiones se utilizaron frascos estériles, a fin de asegurar la calidad de las mediciones. Este riguroso método de trabajo debe realizarse cada vez que se vaya a validar la calidad del agua.

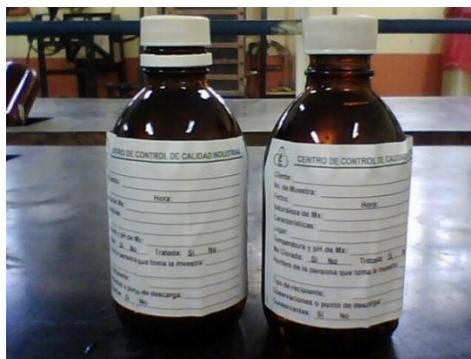


Figura 4. 5 Muestreo de aguas para Determinación de Carbono Orgánico Total (COT)



Figura 4. 6 Equipo para la determinación de Conductividad y Resistividad y STD



Figura 4. 7 Equipo para la determinación de pH

4.4 Validación de resultados

La validación está relacionada con la correspondencia entre el modelo y la realidad. El termino validación se aplica a aquellos procesos que buscan determinar si una simulación es correcta o no respecto al sistema “real”.

La validación de la calidad del agua destilada destinada para uso en los laboratorios de la planta piloto se basa en los análisis físicos, químicos y microbiológicos usando las metodologías y parámetros descritos para análisis según Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales (Díaz de S., 1992)

4.4.1 Resultados obtenidos

Al final del periodo de recopilación de datos se tabuló la información y se procedió a su análisis.

A continuación se muestran las tablas de los resultados obtenidos durante el periodo experimental, donde se contemplan las temperaturas de las caras internas de las dos superficies de vidrio (Condensadores), así como la temperatura reflejada en la bandeja de cerámica (Evaporador) y en el agua (Sustancia a evaporar y condensar).

Temperaturas en cubierta de vidrio: En un destilador solar de sección triangular es interesante evaluar las temperaturas en las cubiertas, las que varían principalmente por la orientación.

Tabla 4. 4 Registro de temperatura cubierta de vidrio (T_1) durante el periodo de validación

TEMPERATURA DE VIDRIO T_1 (°C)															
Hora	01 feb	02 feb	03 feb	04 feb	05 feb	06 feb	07 feb	08 feb	09 feb	10 feb	11 feb	12 feb	13 feb	14 feb	15 feb
09:00	27.6	28.2	29.6	35.1	31.4	34.3	30.0	23.4	32.7	35.0	31.9	31.6	32.0	36.6	37.0
09:15	28.1	28.5	30.0	35.5	32.6	34.8	30.5	24.8	35.7	37.9	32.0	33.2	34.5	33.8	39.2
09:30	28.9	29.4	31.9	35.8	34.8	35.1	31.6	25.1	36.6	40.2	34.3	35.6	43.3	39.3	39.8
09:45	30.7	30.1	38.7	36.0	38.4	36.6	30.7	26.2	40.8	42.1	35.6	40.2	43.6	46.1	40.7
10:00	32.8	34.8	41.5	36.6	41.9	41.0	33.9	28.1	41.5	44.4	36.2	44.1	43.9	47.7	43.3
10:15	35.5	35.6	46.2	36.9	44.9	45.4	36.9	31.0	45.1	46.2	37.8	47.3	47.5	49.3	45.9
10:30	36.1	36.5	48.9	37.2	45.5	47.4	44.7	31.8	50.2	46.1	38.7	50.3	50.7	51.1	46.1
10:45	37.3	38.6	49.6	37.5	48.0	48.3	45.9	32.4	51.4	49.8	46.3	55.6	54.5	53.2	47.2
11:00	37.9	39.7	55.4	39.3	50.2	52.0	48.9	32.6	52.7	58.0	49.7	56.7	55.9	57.3	48.2
11:15	39.7	40.4	56.0	42.6	54.0	52.0	53.2	32.6	53.3	58.0	53.3	56.3	59.1	59.0	47.5
11:30	40.9	46.5	58.3	48.4	56.1	55.9	54.7	32.0	53.9	57.0	57.9	58.6	59.5	59.4	52.3
11:45	43.7	45.0	57.9	50.2	57.1	55.3	55.7	31.9	54.1	57.8	57.4	60.1	59.3	59.2	56.6
12:00	44.3	44.7	57.4	54.1	58.4	56.8	57.8	31.0	56.6	58.6	64.3	60.7	61.9	59.1	58.6
12:15	45.1	45.9	57.2	57.9	57.7	56.7	58.5	31.5	58.3	56.6	68.4	61.8	61.6	56.3	60.4
12:30	45.8	45.5	57.9	60.1	57.6	57.6	60.2	30.3	60.0	57.5	66.8	67.4	63.0	58.1	65.3
12:45	46.2	45.9	60.8	59.1	66.0	57.1	59.3	30.0	61.8	59.9	72.9	65.0	56.9	60.1	62.9
13:00	47.2	45.9	62.0	59.6	58.7	56.9	61.8	29.0	62.5	59.3	67.2	63.8	55.9	61.3	63.2
13:15	48.9	44.4	63.4	60.4	56.0	57.2	59.7	29.2	60.4	54.4	64.4	61.3	57.0	61.1	58.9
13:30	49.2	44.3	63.9	60.4	55.4	57.5	57.1	30.5	61.4	56.8	63.4	59.7	50.9	61.0	58.5
13:45	49.9	43.3	60.1	61.0	56.7	60.0	57.7	32.6	65.0	58.2	59.6	54.9	49.8	60.5	58.4
14:00	50.5	40.8	58.2	60.6	57.4	56.1	56.8	35.6	67.7	61.2	58.3	53.0	47.7	57.2	57.1
14:15	52.7	40.4	53.4	60.3	57.6	50.7	56.4	33.9	63.3	55.3	53.3	49.8	49.4	58.2	52.0
14:30	53.5	38.6	53.3	59.8	55.5	48.0	55.4	40.0	64.7	55.7	50.8	47.3	47.6	56.3	46.2
14:45	50.3	38.6	53.1	59.1	52.3	45.2	56.0	43.6	63.6	57.5	51.2	46.6	45.0	55.9	43.8
15:00	49.4	38.2	52.3	58.2	54.1	45.0	52.5	44.6	63.5	55.3	51.6	45.8	43.7	55.6	47.7
15:15	47.8	36.9	52.0	57.9	52.0	46.6	55.6	43.7	61.3	49.8	52.3	44.9	47.0	53.5	46.5
15:30	45.5	36.5	50.2	54.3	51.8	45.0	47.9	43.6	60.4	45.3	50.1	44.6	49.7	53.0	43.0
15:45	44.7	36.3	48.9	52.2	49.6	45.7	47.9	42.2	56.6	43.2	48.9	44.0	45.7	50.1	40.5
16:00	43.4	34.7	47.6	48.0	49.1	44.0	47.9	41.1	54.4	42.8	47.0	43.7	44.0	43.3	40.8

Ref. Los Autores

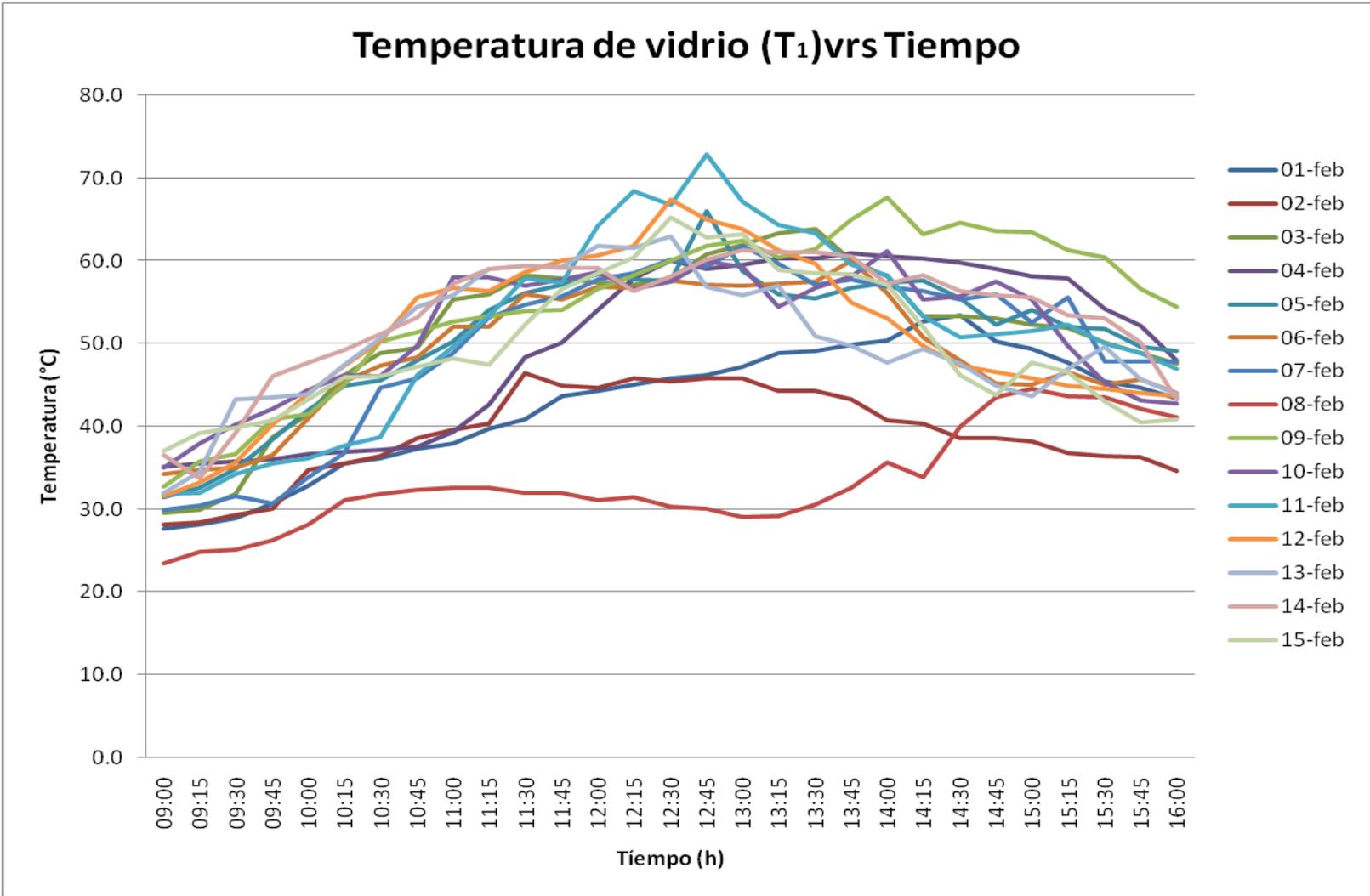


Figura 4. 8 Grafica de Temperaturas de cubierta de vidrio (T_1) durante los tiempos de muestreo en el periodo de validación

Ref. Los Autores

Tabla 4. 5 Registro de temperatura en cubierta de vidrio (T_1) durante el periodo de validación

TEMPERATURA DE VIDRIO T_1' (°C)															
Hora	01 feb	02 feb	03 feb	04 feb	05 feb	06 feb	07 feb	08 feb	09 feb	10 feb	11 feb	12 feb	13 feb	14 feb	15 feb
09:00	25.8	22.3	30.5	37.2	29.4	29.6	32.6	26.3	32.6	38.4	25.6	29.8	30.1	38.5	39.0
09:15	26.2	23.2	31.6	37.7	29.7	30.4	34.2	26.6	37.2	41.0	26.3	30.6	40.3	39.0	43.5
09:30	27.9	23.1	32.8	38.1	30.1	31.7	35.4	27.2	37.3	43.8	27.4	35.4	38.5	46.1	44.9
09:45	31.5	26.2	38.0	38.4	37.0	38.2	35.6	29.6	41.5	44.6	28.0	37.1	40.6	48.6	48.2
10:00	31.9	28.9	41.5	38.8	42.1	41.9	37.4	31.2	40.8	48.0	28.3	41.3	45.8	51.2	46.8
10:15	33.3	30.0	45.2	39.4	44.2	49.2	40.9	34.5	44.1	50.1	29.7	44.4	49.2	53.0	49.2
10:30	35.7	32.6	48.2	39.8	48.1	47.6	48.1	34.3	48.8	57.6	39.4	46.8	52.5	56.4	48.5
10:45	38.1	36.0	50.0	40.1	51.1	50.0	50.0	33.6	47.6	65.2	43.2	43.5	55.6	58.5	51.0
11:00	38.9	40.0	54.3	40.8	55.5	53.1	52.0	32.1	47.3	65.0	49.2	53.7	58.1	60.1	50.4
11:15	42.9	46.3	54.9	45.0	53.9	53.1	54.2	33.5	49.9	63.3	50.9	55.0	62.8	62.7	49.2
11:30	43.4	47.8	55.5	48.9	58.0	55.3	58.3	32.4	47.6	59.3	55.5	51.3	62.5	61.6	55.3
11:45	46.8	47.7	57.7	51.6	60.6	59.3	59.9	32.3	46.2	60.7	59.7	61.3	61.4	63.4	58.1
12:00	47.2	45.1	52.5	56.7	62.2	60.3	62.2	31.7	46.5	61.1	68.2	57.2	64.1	62.7	62.4
12:15	46.6	45.1	56.6	60.4	60.0	60.9	63.3	32.1	46.0	61.5	73.5	61.5	62.8	60.0	64.6
12:30	46.1	45.8	58.1	57.2	59.2	60.8	65.0	32.3	46.8	61.7	70.9	65.9	67.1	59.2	66.9
12:45	45.8	46.0	57.6	58.8	56.6	62.6	65.7	31.4	53.2	63.3	78.3	59.6	62.0	58.7	66.2
13:00	45.3	46.0	58.2	56.2	61.1	62.3	63.3	26.1	56.3	62.3	69.4	50.2	54.2	61.6	62.1
13:15	44.9	45.4	60.6	54.9	55.6	62.9	59.6	29.8	51.8	57.6	64.3	52.9	59.9	61.3	57.6
13:30	44.2	46.6	59.1	60.4	48.6	63.6	57.5	31.8	54.4	59.4	62.7	59.8	52.0	53.2	57.9
13:45	43.9	42.8	60.4	60.2	57.1	68.3	58.5	34.4	59.1	58.6	59.8	54.8	49.8	56.6	57.6
14:00	43.5	40.2	58.7	59.8	56.6	60.5	58.6	36.8	52.9	61.5	54.7	51.2	50.2	56.2	58.2
14:15	40.7	40.9	53.4	60.5	44.0	57.1	57.4	41.0	57.7	53.5	55.9	49.1	49.9	55.0	52.8
14:30	40.1	40.0	51.8	59.9	59.0	54.4	56.2	42.2	56.5	55.1	53.6	46.4	49.0	52.4	46.4
14:45	40.0	40.0	52.4	57.7	55.7	51.3	58.0	44.2	53.2	56.0	51.4	46.1	47.4	51.4	40.7
15:00	38.6	37.8	54.5	60.0	57.6	49.3	50.1	46.3	53.3	58.8	53.3	46.7	41.8	51.0	45.6
15:15	37.7	36.6	53.2	59.8	57.1	47.3	49.9	44.7	49.6	52.2	49.0	47.2	46.5	50.8	44.8
15:30	37.5	37.3	51.0	53.0	56.6	45.5	47.9	44.5	52.7	43.8	46.3	46.3	49.0	50.5	43.2
15:45	36.8	37.2	50.6	52.8	54.3	45.4	47.4	44.0	52.6	42.6	47.0	45.2	47.7	43.6	38.0
16:00	36.1	36.9	49.8	46.4	47.2	44.2	47.4	43.8	44.9	42.0	45.8	44.8	46.3	44.5	39.3

Ref. Los Autores

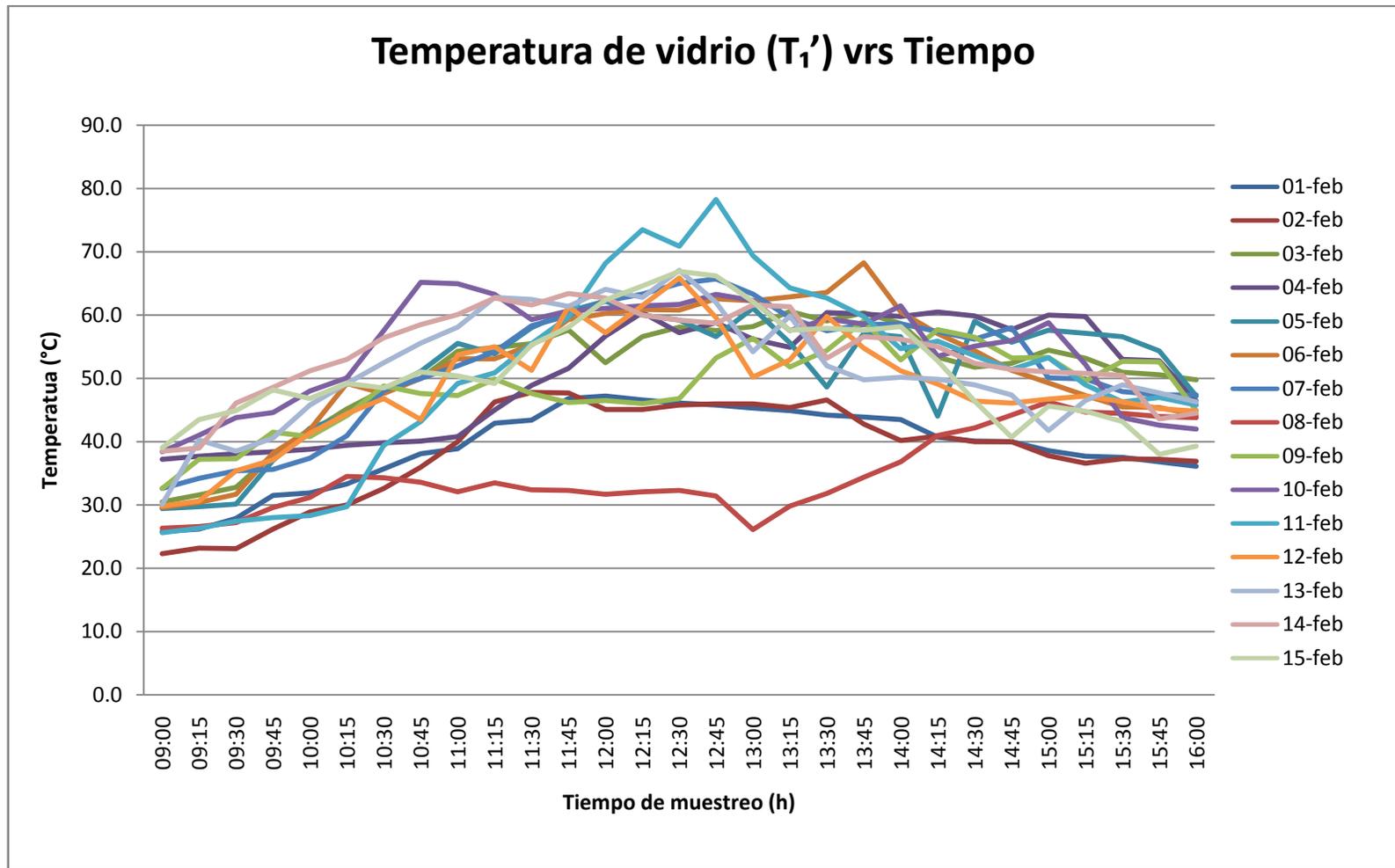


Figura 4. 9 Grafica de Temperaturas de cubierta de vidrio (T_1') durante los tiempos de muestreo en el periodo de validación

Ref. Los Autores

Tabla 4. 6 Registro de temperatura en colector solar (Bandeja de cerámica) , T_2 durante el periodo de validación

TEMPERATURA DE CERAMICA T_2 (°C)															
Hora	01 feb	02 feb	03 feb	04 feb	05 feb	06 feb	07 feb	08 feb	09 feb	10 feb	11 feb	12 feb	13 feb	14 feb	15 feb
09:00	23.5	23.1	22.4	26.4	33.5	31.6	30.9	26.2	30.7	34.0	32.6	31.7	31.6	35.3	36.3
09:15	23.9	24.5	25.0	29.2	35.7	32.7	31.1	26.6	36.8	39.6	31.8	32.0	39.3	36.6	40.1
09:30	24.6	24.8	26.5	30.4	36.6	33.2	32.7	27.0	42.2	45.7	32.4	35.8	43.3	45.0	43.0
09:45	31.8	29.3	37.8	30.8	38.4	38.3	35.9	27.9	46.5	47.7	33.6	43.3	45.7	48.9	45.4
10:00	33.9	35.2	42.2	31.1	43.4	44.9	37.2	29.4	47.8	52.4	34.3	48.4	49.4	54.4	48.1
10:15	36.3	37.2	46.2	31.5	47.2	51.4	39.5	34.2	53.2	53.5	36.6	51.4	53.3	55.7	53.5
10:30	38.7	39.2	49.3	31.8	51.9	53.3	44.4	35.8	56.7	53.9	39.3	54.7	55.7	58.3	53.8
10:45	40.2	40.1	52.3	32.0	54.9	55.1	49.2	36.3	58.0	56.8	50.1	58.5	58.6	60.9	55.8
11:00	42.9	42.3	56.7	32.1	57.8	56.2	53.5	37.5	59.6	64.9	55.2	61.7	62.0	65.9	56.2
11:15	44.6	45.0	56.3	44.3	61.3	59.0	56.6	38.3	60.3	66.6	59.6	64.0	65.1	68.0	55.7
11:30	43.7	50.3	57.2	52.8	63.6	61.7	60.0	36.8	62.1	65.5	61.4	66.4	64.9	67.4	60.4
11:45	42.9	50.8	60.4	56.9	65.8	62.9	61.7	36.9	65.6	67.6	61.7	68.8	64.7	67.2	63.8
12:00	40.0	49.9	56.7	61.9	66.3	65.6	62.5	36.3	67.3	68.7	70.3	69.2	68.0	66.6	66.6
12:15	44.3	51.6	60.2	63.8	67.0	65.6	64.3	36.6	68.0	62.9	75.0	70.4	62.2	64.5	68.9
12:30	45.1	51.0	62.0	65.8	66.7	66.0	66.4	36.7	69.5	67.5	73.0	76.8	68.9	64.5	74.4
12:45	48.7	51.5	63.7	66.9	66.1	65.0	66.6	35.9	73.0	68.4	80.2	72.6	65.3	68.1	70.7
13:00	49.6	51.8	65.6	67.6	68.3	64.5	67.5	34.3	72.6	68.5	75.4	71.5	63.3	70.7	72.3
13:15	53.3	49.0	65.8	67.5	63.5	64.9	65.1	34.8	71.1	63.8	72.0	66.7	64.7	70.0	66.6
13:30	55.8	50.3	64.4	67.6	62.7	65.5	62.9	36.0	72.2	61.4	69.8	67.7	60.2	69.2	66.8
13:45	57.6	45.8	64.5	67.4	64.4	67.5	63.2	38.7	73.3	66.0	66.6	62.9	57.5	68.9	66.5
14:00	58.0	47.1	62.7	66.0	65.3	63.6	62.1	41.8	70.6	67.2	64.7	51.2	54.7	67.6	65.2
14:15	57.9	46.2	58.5	66.8	66.0	43.7	61.2	41.4	70.1	63.4	63.4	57.6	55.3	66.4	57.1
14:30	58.1	45.2	56.6	66.6	62.8	50.8	58.2	47.0	68.4	63.9	61.8	55.1	54.9	64.4	54.7
14:45	57.6	44.2	56.1	65.1	59.6	51.0	60.2	50.4	66.8	64.7	61.4	54.3	52.5	63.6	51.6
15:00	56.8	44.1	55.8	64.6	60.4	50.2	57.1	51.6	66.0	63.8	60.8	53.0	50.8	63.0	53.0
15:15	54.7	43.1	54.3	63.2	59.8	50.0	54.2	50.7	64.2	59.2	58.9	52.6	52.1	59.9	52.6
15:30	53.6	42.7	53.2	58.9	58.6	48.6	52.0	51.3	61.6	55.2	56.3	51.6	52.1	59.3	52.0
15:45	52.9	41.6	53.0	58.7	56.1	48.5	51.1	52.4	63.3	54.6	55.8	51.2	52.2	55.0	48.9
16:00	51.2	40.7	52.8	55.0	55.8	47.5	51.2	51.4	59.9	52.5	53.6	50.9	50.9	53.4	50.0

Ref. Los Autores

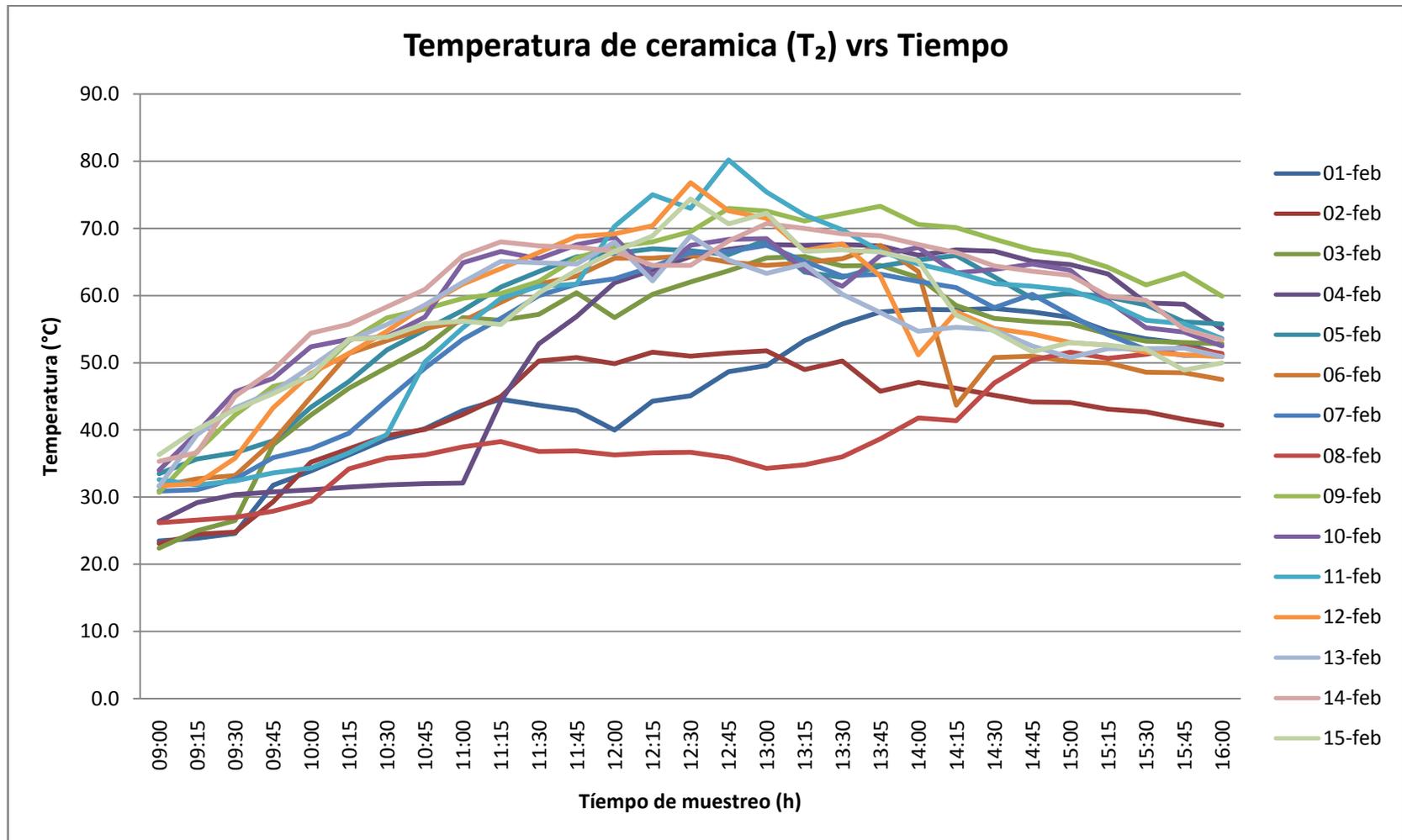


Figura 4. 10 Grafica de Temperaturas de cerámica (T_2) durante los tiempos de muestreo en el periodo de validación

Ref. Los Autores

Tabla 4. 7 Valores máximos y mínimos de temperatura de cubierta de vidrio (T_1), reflejados durante el periodo de validación

T_1	01-feb	02-feb	03-feb	04-feb	05-feb	06-feb	07-feb	08-feb	09-feb	10-feb	11-feb	12-feb	13-feb	14-feb	15-feb
máx	53.5	46.5	63.9	61.0	66.0	60.0	61.8	44.6	67.7	61.2	72.9	67.4	63.0	61.3	65.3
mín	27.6	28.2	29.6	35.1	31.4	34.3	30.0	23.4	32.7	35.0	31.9	31.6	32.0	33.8	37.0

Ref. Los autores

Se observa la variación en las temperatura interna de la cubierta que recibe inicialmente la radiación solar, a medida que avanza en el día la misma va en aumento desde los 27.6°C hasta temperaturas tan altas como 72.9°C como podemos ver para el día 11 de validación que corresponde al día calendario 11 de febrero del año en curso, a medida que se va acercando la tarde, esta temperatura tiende a disminuir hasta alrededor de las 4:00pm cuando alcanza temperaturas tan altas como 54.4°C y tan bajas como 34.7°C, no siendo necesariamente las temperaturas máximas o mínimas alcanzadas por el sistema durante las siete horas, lo que indica que aun a altas horas de la tarde, existe una buena cantidad de calor dentro del sistema de destilación, además las temperaturas máximas fluctúan entre las 12:30 y 2:30pm e incluso existe un dato a las 3:00 donde se alcanzo el mayor valor, curiosamente a las 12:00m, cuando el sol se encuentra en el Zenit no tenemos ningún máximo, a esta hora la temperatura aún continúa subiendo.

Tabla 4. 8 Valores máximos y mínimos de temperatura de cubierta de vidrio (T_1'), reflejados durante el periodo de validación

T_1'	01-feb	02-feb	03-feb	04-feb	05-feb	06-feb	07-feb	08-feb	09-feb	10-feb	11-feb	12-feb	13-feb	14-feb	15-feb
máx	47.2	47.8	60.6	60.5	62.2	68.3	65.7	46.3	59.1	65.2	78.3	65.9	67.1	63.4	66.9
mín	25.8	22.3	30.5	37.2	29.4	29.6	32.6	26.1	32.6	38.4	25.6	29.8	30.1	38.5	38.0

Ref. Los Autores

La cara que recibe la radiación solar en el turno de la tarde muestra sus valores máximos entre las 11:30am y 2:15pm, teniendo un máximo para el día 11 de febrero a las 12:45pm, coincidiendo con la temperatura máxima para la otra cara, podemos afirmar que fue el día 11 de febrero de 2012 cuando se alcanzo la mayor temperatura

en la superficie interna del vidrio. En este caso cuando el sol se encuentra en el Zenit, se tuvo un máximo solamente para el día 1 que coincide con el día calendario 1 de febrero con el valor de 47.2°C. Contrario a la T1 la cual no presento ningún máximo a las 12:00m.

Tabla 4. 9 Valores máximos y mínimos de temperatura de cerámica (T_2), reflejados durante el periodo de validación

T_2	01-feb	02-feb	03-feb	04-feb	05-feb	06-feb	07-feb	08-feb	09-feb	10-feb	11-feb	12-feb	13-feb	14-feb	15-feb
máx	58.1	51.8	65.8	67.6	68.3	67.5	67.5	52.4	73.3	68.7	80.2	76.8	68.9	70.7	74.4
mín	23.5	23.1	22.4	26.4	33.5	31.6	30.9	26.2	30.7	34.0	31.8	31.7	31.6	35.3	36.3

Ref. Los Autores

Se puede apreciar en las temperaturas observadas en la bandeja de cerámica fluctúan durante todo el día alrededor de los 23.5°C, 76.8°C e incluso los 80.2°C, lo que nos indica que una gran parte de la radiación que ha logrado ingresar a través de las planchas de vidrio ha logrado que la cerámica alcance altas temperaturas, contribuyendo así a que el proceso se lleve a cabo a altas temperaturas y que esta temperatura se mantenga constante por un buen periodo de tiempo tal como lo podemos apreciar desde las horas de la mañana, cuando la temperatura comienza a subir y podemos observar que aun a altas horas de la tarde, los datos de temperatura continúan siendo mayores, 55.8°C para el día 2 de febrero a las 4:00pm y 59.9°C para el día 9 de febrero, lo cual indica que el sistema continua funcionando hasta altas horas de la tarde.

Tabla 4. 10 Registro de temperatura en cuerpo de agua (T_3) durante el periodo de validación

TEMPERATURA AGUA DE BANDEJA T_3 (°C)															
Hora	01 feb	02 feb	03 feb	04 feb	05 feb	06 feb	07 feb	08 feb	09 feb	10 feb	11 feb	12 feb	13 feb	14 feb	15 feb
09:00	26.8	26.4	26.3	27.4	31.2	30.0	32.5	25.4	30.0	36.9	33.2	30.9	30.7	36.4	36.3
09:15	27.2	29.3	27.6	29.6	32.6	30.9	33.7	25.7	34.6	39.1	33.6	31.0	37.4	37.3	43.5
09:30	27.7	32.6	29.7	31.8	33.0	32.5	34.0	26.2	39.2	42.5	34.3	35.4	43.5	43.2	45.0
09:45	32.9	34.8	38.0	33.7	33.7	37.8	36.1	26.8	45.4	46.6	35.2	42.2	46.3	45.6	45.4
10:00	35.1	36.4	42.9	36.9	42.1	43.5	38.2	27.8	47.4	49.4	36.4	47.2	48.2	54.2	47.1
10:15	37.3	38.6	46.2	37.2	46.1	48.6	41.5	32.3	52.1	52.2	38.7	51.7	52.6	56.1	50.5
10:30	38.6	39.2	49.5	39.5	50.0	51.9	46.4	34.0	55.8	52.5	41.0	53.2	56.6	58.6	52.0
10:45	41.7	40.3	52.3	40.7	53.8	53.6	53.6	34.8	56.7	56.6	49.3	57.6	59.1	59.5	53.4
11:00	44.5	42.8	56.7	42.4	55.8	55.3	55.0	35.2	58.3	63.3	53.2	60.5	60.3	62.3	53.5
11:15	45.1	44.7	56.3	46.6	59.5	56.6	57.5	35.8	59.6	62.5	58.7	62.6	62.6	64.4	53.0
11:30	45.9	50.2	57.2	53.3	61.7	59.3	60.0	33.9	60.1	61.4	59.9	66.2	62.7	64.3	57.8
11:45	46.3	50.0	60.4	55.7	62.8	60.5	61.0	33.8	62.8	62.5	61.8	66.5	63.0	65.1	61.3
12:00	46.7	49.3	56.7	60.6	63.4	61.9	62.0	34.0	64.8	64.1	69.2	67.5	65.2	64.9	65.5
12:15	47.1	51.0	60.2	62.4	64.7	62.0	64.5	33.6	66.3	59.2	73.7	68.2	65.6	61.6	69.1
12:30	47.2	50.5	62.0	64.1	64.2	62.7	66.0	33.5	67.6	63.5	71.2	75.6	67.6	63.3	71.0
12:45	48.8	50.0	63.7	64.4	62.5	64.4	66.0	33.0	70.3	64.4	77.0	72.0	61.2	66.6	67.4
13:00	50.7	50.8	64.3	65.6	65.0	63.2	66.9	31.9	71.3	65.0	71.5	71.6	59.4	68.1	68.7
13:15	53.4	49.5	65.8	66.3	63.6	63.5	64.3	31.9	68.3	60.0	69.3	69.2	60.2	68.0	64.8
13:30	54.0	50.3	64.4	66.6	61.7	64.7	62.6	33.0	70.3	61.5	68.6	66.6	54.3	68.0	64.7
13:45	55.7	48.0	64.5	66.2	62.6	64.9	63.4	35.0	71.7	63.2	65.4	61.8	53.2	67.5	63.9
14:00	56.3	46.5	62.7	64.7	63.8	62.3	62.2	38.3	69.5	65.7	62.3	60.0	52.3	66.0	62.6
14:15	56.1	46.3	58.5	65.0	64.6	54.1	60.9	38.7	69.6	60.9	62.2	57.1	53.2	64.9	57.1
14:30	55.4	44.6	56.6	64.5	60.7	53.3	57.4	42.2	67.9	60.9	60.6	53.1	51.6	63.1	52.1
14:45	54.2	43.8	56.1	63.5	57.9	52.1	60.0	46.6	65.0	61.7	59.5	52.5	49.4	61.9	48.8
15:00	54.8	44.1	55.8	62.1	58.3	50.5	57.5	49.0	64.2	60.1	59.1	52.7	46.9	61.0	52.0
15:15	52.5	42.5	54.7	62.4	57.6	49.8	54.2	47.5	62.9	55.3	57.5	51.6	49.2	59.5	51.3
15:30	51.2	42.0	53.6	57.5	57.3	47.2	52.0	46.1	61.2	49.3	54.4	51.4	50.8	59.1	49.2
15:45	50.7	41.3	52.4	56.8	56.9	47.8	51.0	46.5	59.8	48.9	53.7	50.5	49.1	54.3	46.1
16:00	49.5	40.4	52.1	53.5	56.2	46.3	51.2	46.0	58.6	58.3	51.8	50.1	47.5	48.8	46.6

Ref. Los Autores

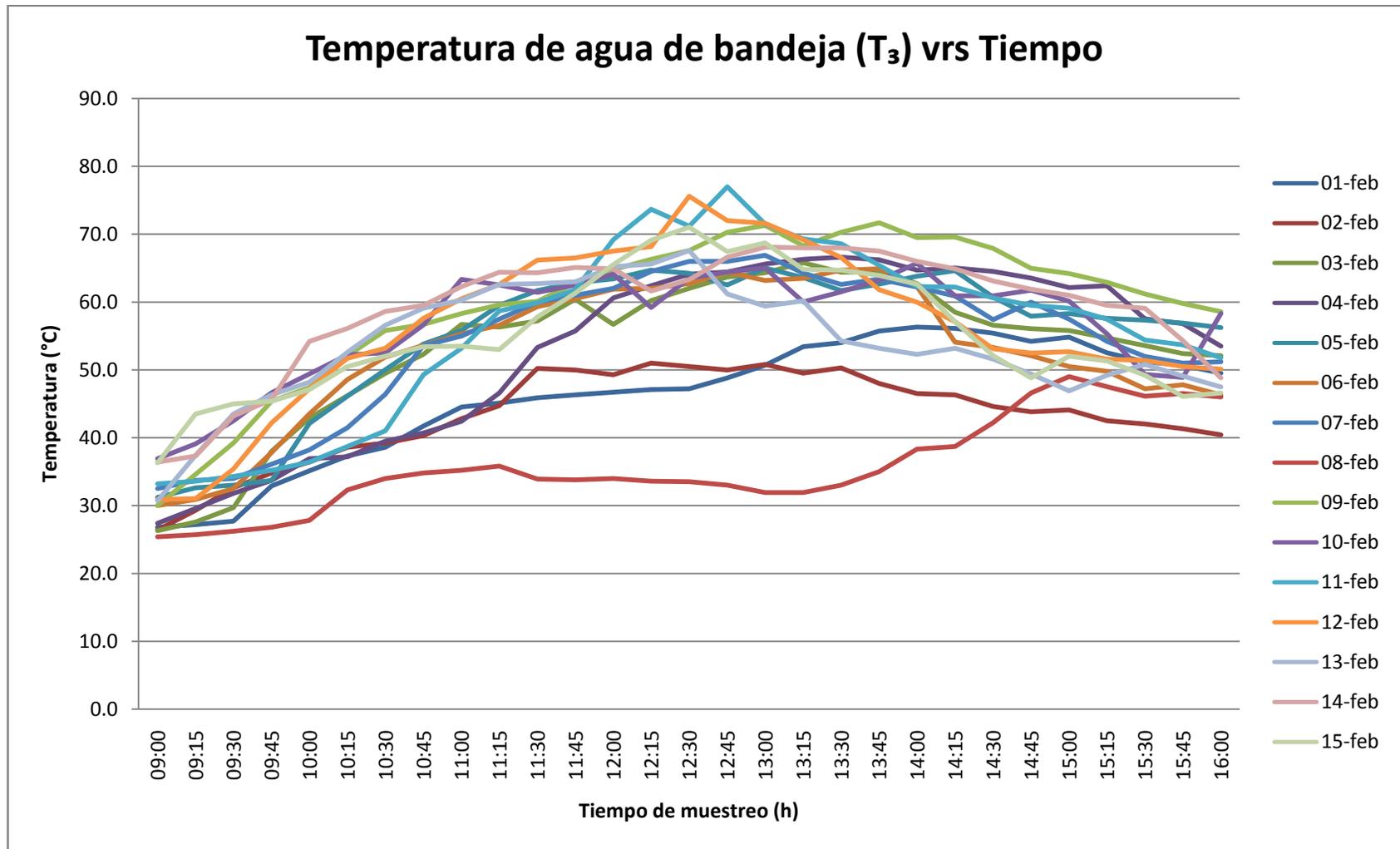


Figura 4. 11 Grafica de Temperaturas de agua en colector (T_3) durante los tiempos de muestreo en el periodo de validación

Ref. Los Autores

Tabla 4. 11 Valores máximos y mínimos de cuerpo de agua (T_3), reflejados durante el periodo de validación

T_3	01-feb	02-feb	03-feb	04-feb	05-feb	06-feb	07-feb	08-feb	09-feb	10-feb	11-feb	12-feb	13-feb	14-feb	15-feb
máx	56.3	51.0	65.8	66.6	65.0	64.9	66.9	49.0	71.7	65.7	77.0	75.6	67.6	68.1	71.0
min	26.8	26.4	26.3	27.4	31.2	30.0	32.5	25.4	30.0	36.9	33.2	30.9	30.7	36.4	36.3

Ref. Los Autores

El punto de ebullición del agua depende de las condiciones circundantes, para nuestro caso, el agua ha alcanzado temperaturas máximas de 77.0 y 75.6°C para los días 11 y 12 de febrero respectivamente, si vemos el movimiento descendente de la temperatura durante todo el periodo nos daremos cuenta que la temperatura mínima alcanzada al final de la toma de datos diaria es de 40.4°C, temperatura aun alta, lo que indica que se retuvo una buena cantidad de calor durante la tarde, lo que favoreció en gran medida la evaporación y posterior condensación del agua desde la bandeja hacia el vidrio, por lo que se desarrollo la destilación de una mejor manera.

Es interesante analizar las diferencias existentes entre las temperaturas del cuerpo de agua y del colector solar. Éstas se muestran en la fig. 4.12

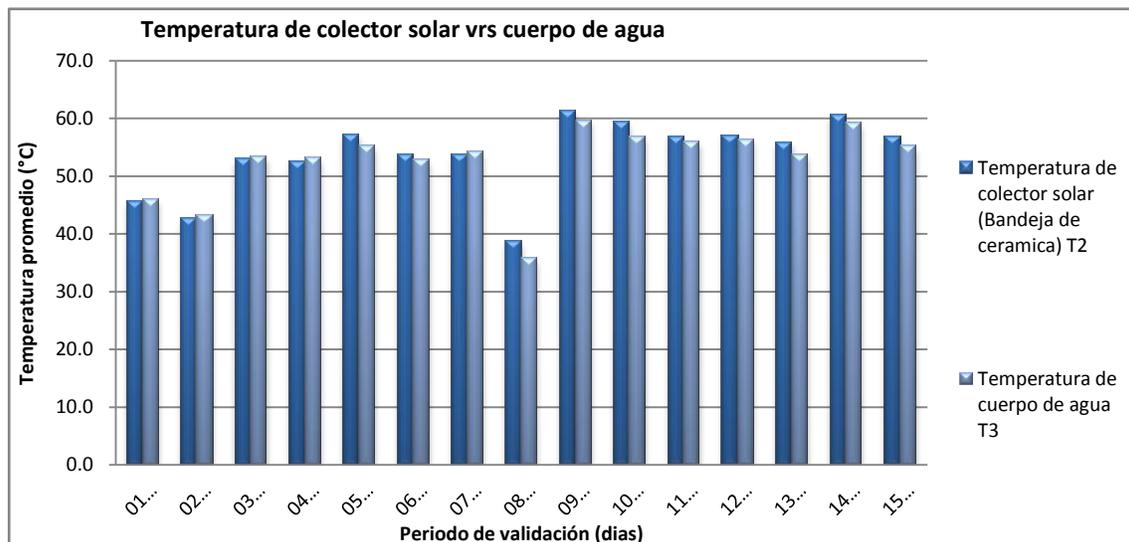


Figura 4. 12 Grafica de comparación de temperatura del colector solar (T_2) y cuerpo de agua en colector (T_3) durante el periodo de validación

Radiación Solar: cualquier proceso que utilice como fuente de energía el sol, la radiación solar representa un parámetro importante, ya que cuantifica la cantidad de energía transferida hacia un cuerpo u objeto por unidad de área y tiempo.

Tabla 4. 12 Registro de Radiación solar (I) durante el periodo de validación

RADIACION SOLAR (Wh/m ²)															
Hora	01 feb	02 feb	03 feb	04 feb	05 feb	06 feb	07 feb	08 feb	09 feb	10 feb	11 feb	12 feb	13 feb	14 feb	15 feb
09:00	32.8	18.2	21.2	119.8	118.1	27.9	21.8	28.1	22.7	28.5	24.7	27.5	31.7	37.0	36.2
09:15	35.3	28.0	20.8	133.9	132.9	14.3	31.0	26.8	19.4	21.7	19.2	24.0	36.3	26.2	27.7
09:30	38.9	39.2	42.4	148.9	147.3	21.1	48.0	17.5	26.8	28.1	32.0	38.0	42.6	45.6	46.2
09:45	49.9	42.0	64.9	162.3	159.0	45.5	56.8	13.7	49.4	79.2	88.7	92.3	45.1	96.6	92.2
10:00	106.8	34.8	120.1	174.3	172.6	110.6	94.7	19.4	74.8	114.7	124.0	126.6	73.4	123.7	110.3
10:15	118.7	41.4	134	185.0	182.4	135.2	130.6	18.2	139.8	129.3	138.3	140.6	135.2	137.5	132.0
10:30	157.7	72.0	147.7	193.7	191.4	149.0	156.3	22.7	150.7	141.1	152.5	154.6	147.3	152.4	148.3
10:45	147.5	109.1	159.5	200.2	199.5	161.0	147.8	26.3	134.9	158.3	166.0	168.4	166.4	165.9	165.5
11:00	180.9	130.8	165.1	206.1	205.5	174.7	155.2	27.3	179.7	175.2	178.1	180.2	180.0	178.5	179.2
11:15	187.6	138.5	177.6	208.9	204.5	184.7	130.9	67.0	188.8	177.0	187.8	190.6	189.5	186.6	189.5
11:30	182.9	130.2	185.7	219.3	213.2	195.2	175.2	79.4	196.9	184.3	197.0	199.1	197.4	194.7	81.0
11:45	153.9	144.0	196.7	223.6	215.0	202.7	200.3	72.4	204.3	197.8	205.3	206.3	205.7	201.0	104.1
12:00	199.4	105.6	205.0	226.4	224.5	201.3	207.1	67.6	207.2	203.6	211.7	213.6	211.8	212.1	148.6
12:15	211.9	102.0	216.7	216.7	207.4	190.1	215.0	44.9	195.2	215.3	218.1	219.5	226.1	221.8	116.1
12:30	214.0	138.4	151.6	224.6	153.5	222.4	208.6	43.6	228.2	213.3	219.7	224.6	237.2	228.4	122.6
12:45	209.3	149.3	226.1	192.6	166.1	221.8	204.9	31.2	227.9	212.1	215.4	228.9	192.0	194.9	214.5
13:00	220.8	105.1	146.3	222.4	158.9	187.0	223.3	27.6	227.9	195.7	217.6	229.7	176.9	190.0	234.0
13:15	186.2	121.6	166.3	220.8	121.9	195.2	226.0	34.8	227.4	181.0	218.2	232.2	248.2	224.4	228.4
13:30	190.7	90.6	233.7	217.3	128.4	179.5	188.2	39.0	215.8	156.4	194.1	186.8	182.8	67.2	196.3
13:45	160.7	74.5	161.7	212.3	160.6	158.4	174.5	35.2	191.8	167.0	195.0	201.3	148.3	205.2	161.6
14:00	176.1	120.0	227.6	202.3	193.5	198.3	202.1	21.6	217.0	191.7	224.9	230.1	52.8	210.4	161.4
14:15	214.0	112.0	224.8	198.3	188.0	164.6	218.3	20.5	220.0	101.6	221.7	218.5	192.1	233.5	174.3
14:30	194.9	106.9	194.2	189.1	110.4	159.1	157.2	31.8	216.1	146.4	216.1	190.4	130.7	225.2	155.7
14:45	157.5	119.7	214	179.3	124.5	172.2	113.7	70.2	209.4	151.6	209.6	142.2	49.6	219.2	208.5
15:00	188.6	51.6	132.6	168.8	142.0	161.0	197.0	79.2	203.5	192.9	206.8	80.9	93.1	213.2	142.0
15:15	169.1	34.1	98.5	166.5	166.5	111.7	169.6	101.9	197.5	205.7	134.7	137.7	68.8	201.8	106.0
15:30	117.0	30.4	39	127.4	157.2	110.3	128.9	67.2	188.2	146.2	165.2	59.6	116.1	191.8	41.2
15:45	99.6	33.1	179.8	118.8	138.1	102.3	133.1	147.9	169.9	129.8	138.3	44.3	62.9	182.7	28.0
16:00	126.8	45.7	129.2	52.0	92.4	62.0	157.5	182.5	163.2	174.6	134.0	101.9	42.5	172.7	103.1

Ref. Los Autores

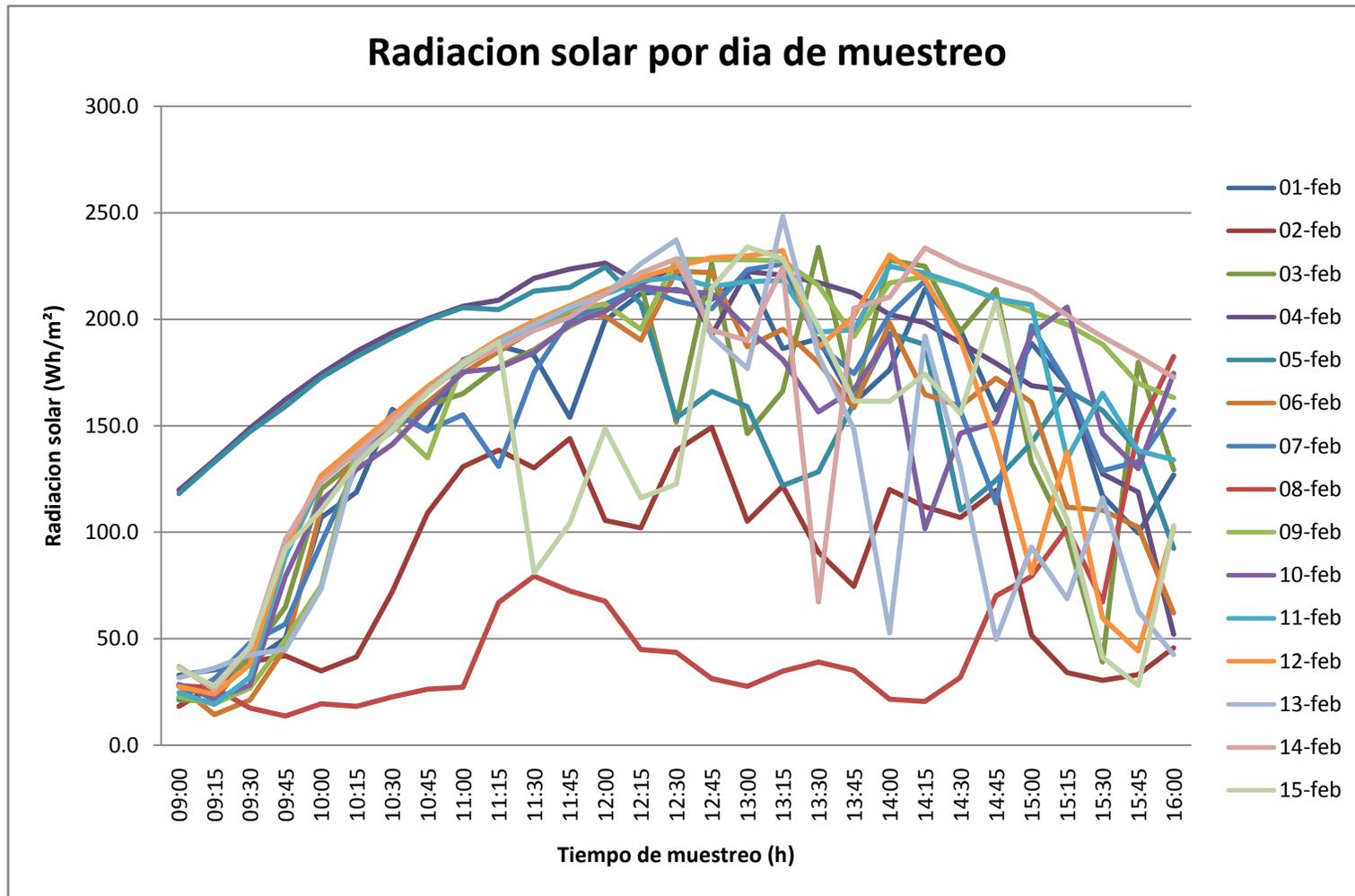


Figura 4. 13 Grafica de Radiación solar (I) durante los tiempos de muestreo en el periodo de validación

Ref. Los Autores

Tabla 4. 13 Valores máximos y mínimos de Radiación solar (I)

I	01-feb	02-feb	03-feb	04-feb	05-feb	06-feb	07-feb	08-feb	09-feb	10-feb	11-feb	12-feb	13-feb	14-feb	15-feb
máx	220.8	149.3	233.7	226.4	224.5	222.4	226.0	182.5	228.2	215.3	224.9	232.2	248.2	233.5	234.0
mín	32.8	18.2	20.8	52.0	92.4	14.3	21.8	13.7	19.4	21.7	19.2	24.0	31.7	26.2	27.7

Ref. Los Autores

Con respecto a la radiación observada durante los días de captura de datos se observa la diferencia existente entre un día y otro, cabe mencionar que esto es debido al constante paso de las nubes y variabilidad de la velocidad del viento, reflejando días desde muy nublados hasta días despejados, durante los días con mayor radiación se tuvieron periodos de alta nubosidad, así también con días nublados se tuvieron valores altos de radiación, lo que se ve reflejado en las temperaturas alcanzadas en distintos puntos del sistema, esto explica la formación de picos y valles durante cada uno de los quince días.

Volumen de agua

De acuerdo a la tabla 4.14 presentada a continuación, se puede apreciar que la contribución del volumen recolectado desde las 16:00 horas hasta las 9:00am el cual no es nada despreciable, lo que nos indica que aun sin recibir radiación directa el sistema continua funcionando, en parte por el sistema de aislamiento que posee.

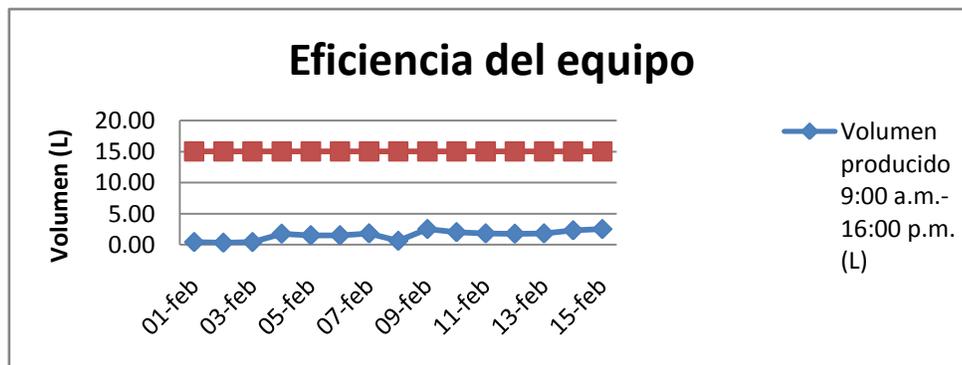


Tabla 4. 14 Eficiencia del equipo

Ref. Los Autores

Tabla 4. 15 Volumen de agua destilada producida

Día	Volumen producido 9:00 a.m.- 16:00 p.m. (L)	Volumen producido 16:00 p.m.- 9:00 a.m. (L)	Volumen total producido (L)	Volumen alimentado (L)/día
01-Feb	0.40	0.10	0.50	7.50
02-Feb	0.30	0.15	0.45	7.50
03-Feb	0.40	0.20	0.60	7.50
04-Feb	1.75	0.40	2.15	7.50
05-Feb	1.50	0.40	1.90	7.50
06-Feb	1.50	0.40	1.90	7.50
07-Feb	1.80	0.25	2.05	7.50
08-Feb	0.60	0.25	0.85	7.50
09-Feb	2.50	0.20	2.70	7.50
10-Feb	2.00	0.30	2.30	7.50
11-Feb	1.80	0.20	2.00	7.50
12-Feb	1.75	0.25	2.00	7.50
13-Feb	1.80	0.20	2.00	7.50
14-Feb	2.30	0.50	3.00	7.50
15-Feb	2.50	0.50	3.00	7.50

Ref. Los Autores

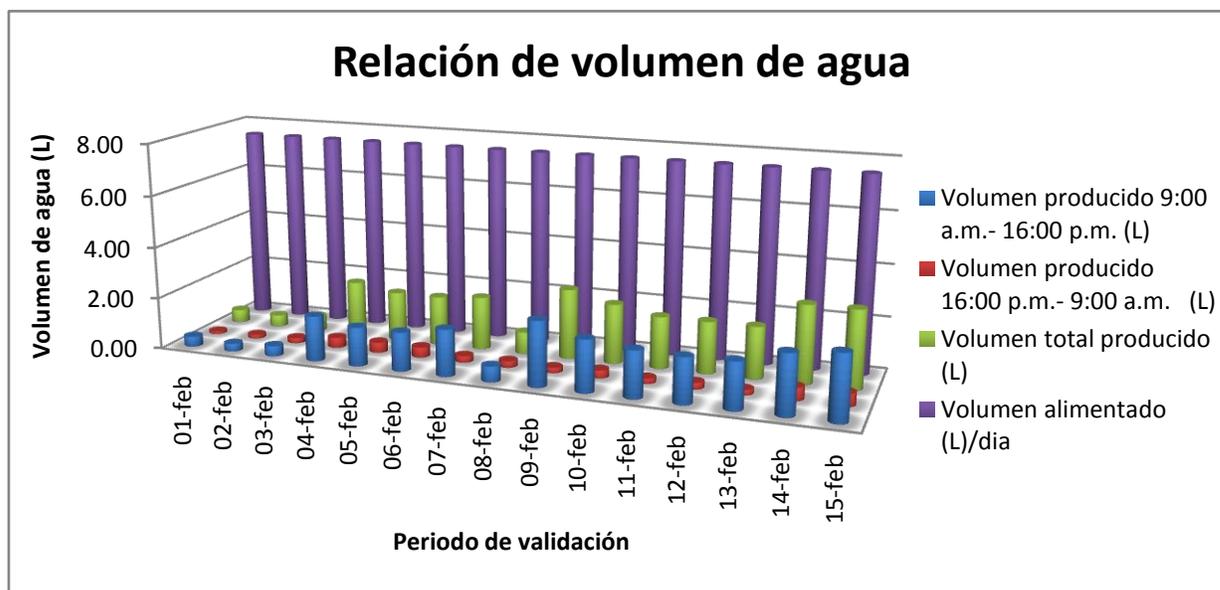


Figura 4. 14 Grafica de Relación de volumen alimentado y producido durante el periodo de muestreo

Ref. Los Autores

Tabla 4. 16 Registro de Porcentaje de Nubosidad observada durante el periodo de validación

Hora	01-feb	02-feb	03-feb	04-feb	05-feb	06-feb	07-feb	08-feb	09-feb	10-feb	11-feb	12-feb	13-feb	14-feb	15-feb
09:00	5	90	1	0	1	1	90	99	5	2	1	1	2	1	40
09:15	5	90	2	0	1	1	90	99	5	1	1	1	2	1	50
09:30	5	85	2	0	1	1	90	99	1	2	1	1	2	1	50
09:45	10	80	2	0	1	1	80	99	1	1	1	1	1	1	30
10:00	5	90	2	0	1	1	80	99	1	1	1	1	1	1	30
10:15	5	90	2	0	1	3	80	99	1	1	1	1	1	1	40
10:30	5	85	9	0	1	5	10	99	50	2	1	1	1	1	60
10:45	20	85	10	0	1	4	20	99	1	2	1	1	1	1	50
11:00	15	90	15	0	2	20	30	99	1	5	1	1	1	1	60
11:15	10	90	20	0	2	25	30	99	1	10	1	1	1	2	40
11:30	5	90	20	0	2	50	1	99	1	40	1	1	5	1	30
11:45	5	95	35	0	4	80	1	99	1	40	1	1	5	1	10
12:00	5	95	30	0	20	90	25	99	1	50	1	5	10	1	10
12:15	10	95	25	0	30	90	40	99	1	80	1	15	50	20	10
12:30	10	94	30	0	40	90	15	99	1	90	5	15	60	20	10
12:45	5	95	20	0	50	90	15	99	1	90	1	40	90	40	20
13:00	5	90	20	3	50	90	15	99	1	95	5	60	40	20	40
13:15	5	85	30	2	65	85	40	99	1	96	5	70	90	30	30
13:30	5	95	30	3	40	85	50	97	1	80	15	95	90	30	40
13:45	5	95	15	4	40	85	30	95	1	70	50	95	70	30	20
14:00	5	95	25	5	80	90	50	94	1	70	70	90	90	10	60
14:15	5	95	30	20	80	95	50	95	1	20	75	90	90	20	90
14:30	5	96	25	25	40	95	40	50	5	10	85	90	80	10	70
14:45	5	96	30	25	40	95	60	40	5	10	90	80	90	10	80
15:00	5	97	35	35	50	95	90	30	10	5	90	90	85	5	50
15:15	5	98	30	35	50	95	95	30	30	5	90	90	70	10	65
15:30	5	98	30	10	45	95	90	40	30	5	95	90	40	10	80
15:45	5	98	30	20	45	95	50	40	40	5	95	90	90	10	70
16:00	5	98	30	25	45	40	30	40	50	5	98	90	90	1	20

Ref. Los Autores

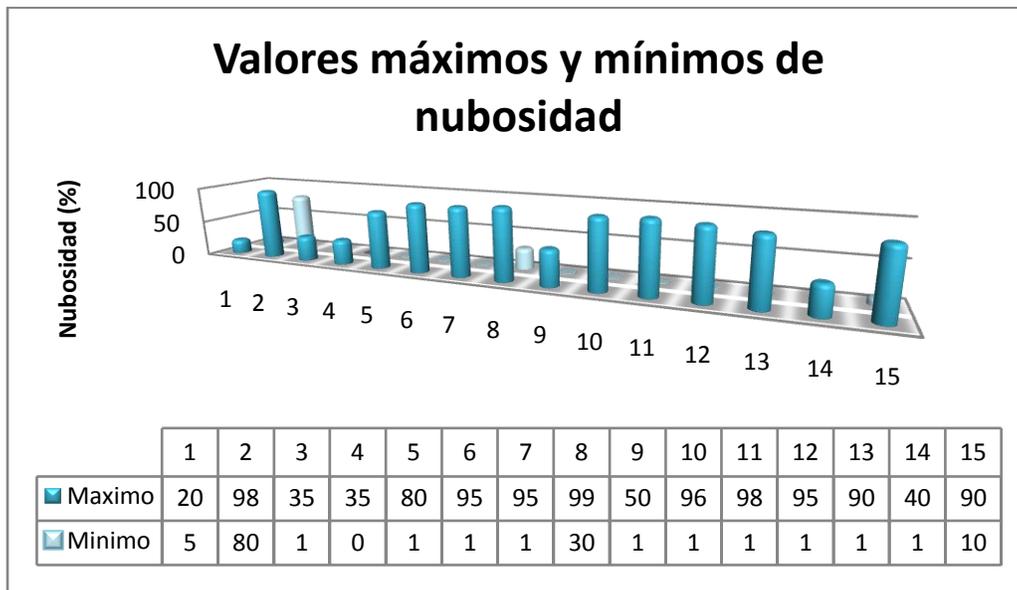


Figura 4. 15 Relación de valores máximos y mínimos de nubosidad, durante el periodo de validación

Ref. Los Autores

Cuando se dan momentos en los que la nubosidad experimenta valores altos no significa que no exista radiación, sino que la radiación difusa es mucho mayor que la directa, lo que disminuye las capacidades del sistema, reflejándose esto en las temperaturas mostradas en el mismo, las cuales son muy bajas, por lo que depende en gran manera el rendimiento del equipo de la cantidad de nubosidad que se cuente en ciertos periodos de tiempo, sin embargo en los días con nubosidad baja, las temperaturas alcanzaron un máximo, traducándose esto en las temperaturas alcanzadas tanto en la bandeja colectora, así como en el vidrio condensador.

La nubosidad es proporcional a la cantidad de radiación recibida en el equipo, ya que a mayor nubosidad, la radiación se ve disminuida, no así cuando la nubosidad es mínima, que es cuando el equipo registra mayor captación de radiación solar traducida en mayor cantidad de calor colectada en el sistema.

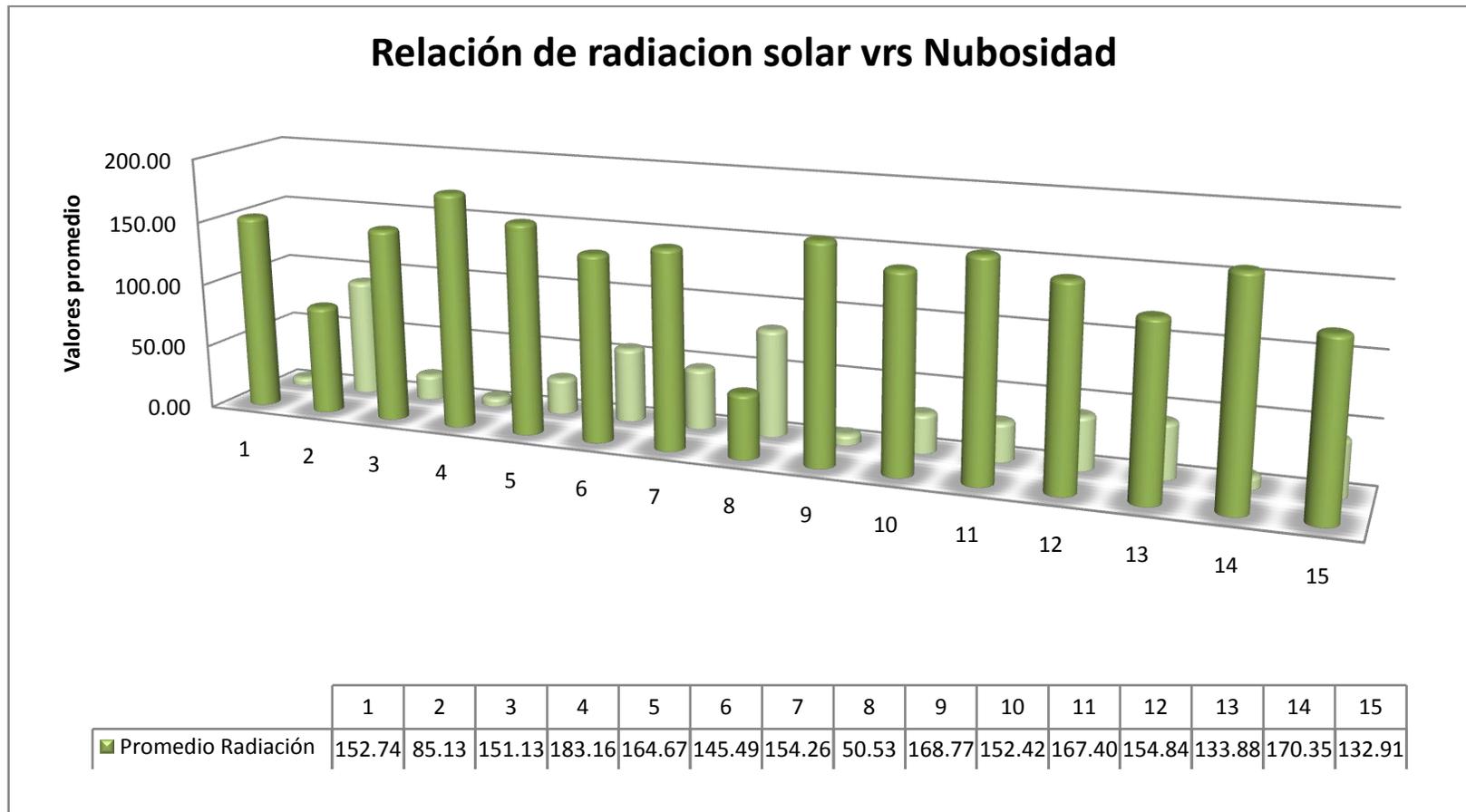


Figura 4. 16 Relación de valores promedio de Radiación solar y Nubosidad, durante el periodo de validación

Ref. Los Autores

Tabla 4. 17 Registro de Velocidad del viento en Nudos

Hora	01-feb	02-feb	03-feb	04-feb	05-feb	06-feb	07-feb	08-feb	09-feb	10-feb	11-feb	12-feb	13-feb	14-feb	15-feb
09:00	0.6	0.4	0	0.7	0.3	0.2	0.5	0.2	0.9	0.1	0.9	0.4	0.4	0.0	0.0
09:15	0.3	0.8	0.1	0.8	0.5	1.3	0.6	0.5	1.0	0.4	1.3	0.9	0.4	0.0	0.0
09:30	0.7	0.5	0.8	1.2	0.3	0.6	0.7	0.4	1.2	0.2	1.5	1.4	1.0	0.1	0.1
09:45	0.8	0.2	0.9	1.3	0.5	0.8	1.1	0.3	1.3	0.4	1.3	1.2	0.5	0.5	0.1
10:00	1.1	0.6	0.6	1.6	0.4	0.9	1.0	0.8	1.4	0.3	1.3	1.0	0.9	0.2	0.1
10:15	0.6	0.3	1	1.1	1.0	0.7	1.0	0.6	1.7	0.8	1.4	0.7	0.7	0.8	0.1
10:30	2.3	0.5	0.9	1.2	0.4	0.9	2.1	0.4	1.1	1.0	1.2	1.5	0.6	1.1	0.6
10:45	1.1	1.0	0.6	1.0	1.0	0.6	1.4	0.5	1.1	0.8	1.4	1.6	0.6	0.6	1.3
11:00	0.7	1.2	0.5	0.6	0.7	0.8	1.1	0.4	1.6	0.6	1.2	1.4	0.6	1.2	1.1
11:15	0.7	1.5	0.7	0.7	0.5	0.9	1.0	0.1	2.3	0.4	1.1	1.3	0.8	1.2	1.0
11:30	1.5	1.1	0.4	0.3	0.6	0.7	1.0	0.4	2.1	1.0	1.7	1.1	0.7	1.2	1.2
11:45	1.3	0.9	0.8	0.4	0.6	1.3	1.4	0.9	2.2	0.7	0.8	0.9	0.8	0.5	1.4
12:00	0.9	0.9	0.8	0.5	1.0	0.9	1.7	1.0	1.6	1.7	0.7	1.0	0.8	0.3	1.5
12:15	1.1	0.3	0.9	0.5	0.5	1.0	1.5	0.9	1.6	1.4	1.1	1.3	1.1	1.4	0.2
12:30	1.2	0.8	0.6	0.9	0.4	1.4	1.2	0.8	1.7	1.5	0.9	1.4	0.6	1.4	0.1
12:45	0.9	1.9	0.7	0.9	0.8	0.9	1.3	0.8	2.2	1.2	0.8	0.6	1.0	1.2	1.7
13:00	1.0	1.0	0.4	0.6	0.4	1.2	1.0	0.4	2.2	0.3	1.1	0.7	2.5	1.8	1.8
13:15	1.0	2.1	1	1.6	0.6	1.4	0.7	0.5	1.5	0.8	1.4	2.4	1.0	1.8	1.9
13:30	1.1	1.6	1.4	1.3	0.1	0.8	1.1	1.3	1.4	1.0	1.5	1.9	1.9	0.4	1.3
13:45	0.8	1.9	0.3	1.2	0.4	1.0	0.7	1.1	1.2	1.1	1.9	1.7	2.3	0.8	1.3
14:00	0.8	0.6	0.5	0.7	1.2	1.6	0.8	0.5	0.9	1.0	1.9	0.9	0.9	1.2	1.0
14:15	1.3	0.8	1.4	0.7	0.5	1.6	0.5	0.5	0.8	1.8	1.0	1.3	0.3	2.5	2.0
14:30	1.4	1.0	1.8	0.7	1.3	1.4	0.7	0.9	0.6	0.5	1.6	1.0	1.3	4.5	2.4
14:45	0.9	1.2	2.0	0.3	0.6	1.1	1.0	1.0	0.6	0.9	0.8	1.9	0.6	3.8	3.3
15:00	1.7	0.9	1.9	0.1	0.2	2.0	1.3	1.4	0.7	1.4	1.7	1.5	0.6	3.9	2.3
15:15	1.2	0.8	0.2	0.6	0.4	2.0	1.1	1.3	0.7	1.3	1.6	1.8	0.9	4.4	2.4
15:30	1.1	0.8	0.1	2.0	1.5	2.0	1.2	1.1	0.6	1.2	0.6	1.1	0.3	2.8	1.1
15:45	1.1	0.4	0.3	0.8	0.7	1.0	1.1	0.9	0.2	0.8	1.5	1.0	1.4	3.1	2.0
16:00	0.5	1.1	1.6	0.5	1.0	1.0	0.8	1.4	0.4	1.9	0.8	1.2	0.6	2.5	1.2

Ref. Los Autores

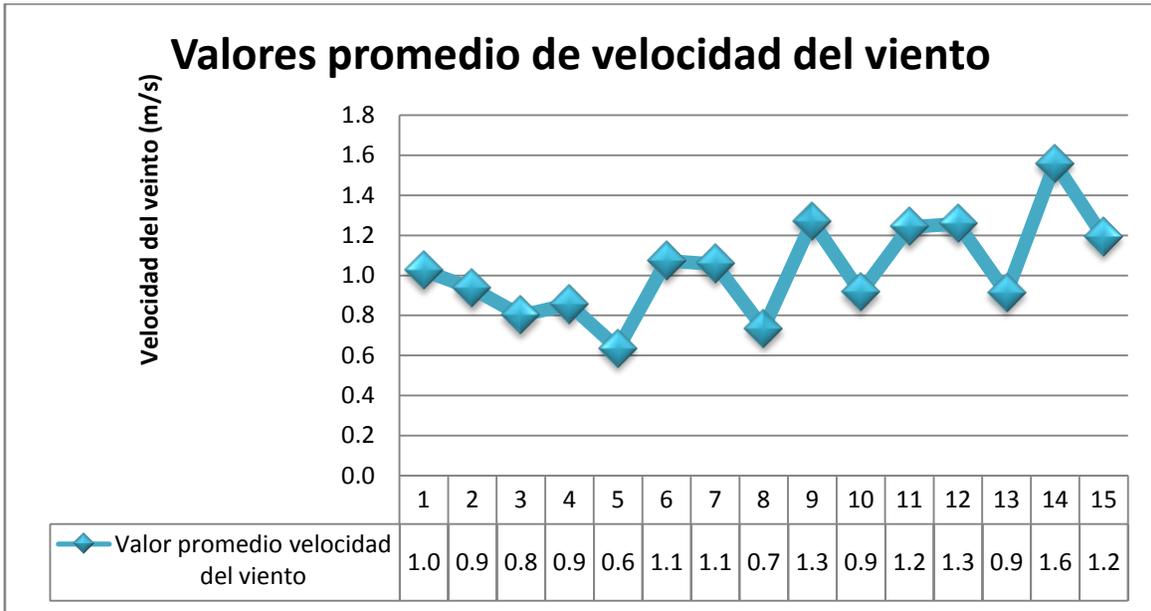


Figura 4. 17 Valores promedio de la velocidad del viento (m/s)

Ref. Los Autores

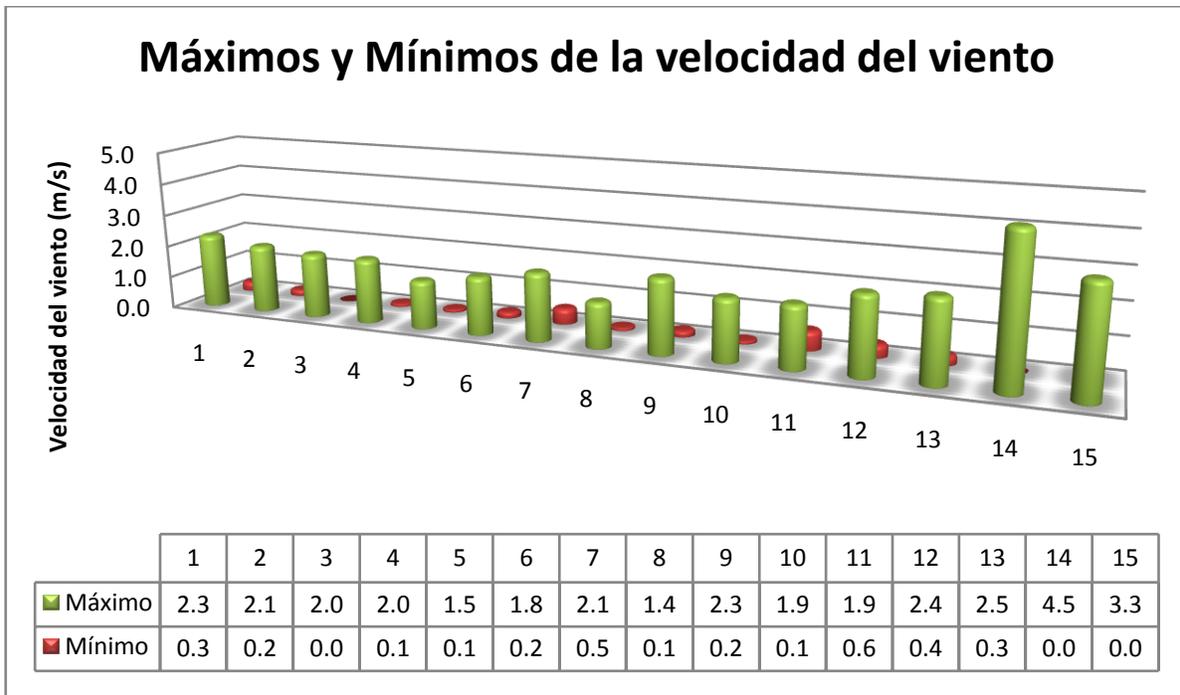


Figura 4. 18 Valores Máximos y Mínimos de la velocidad del viento (m/s)

Ref. Los Autores

La velocidad del viento constituye otro factor a tomar en cuenta cuando se intenta utilizar un sistema al aire libre, ya que las corrientes de viento generadas por la velocidad disminuyen la temperatura del medio circundante, provocando una disminución en la cantidad de calor recibida por el sistema, además es transportador de microorganismos que pueden afectar el agua recolectada, aun estando está en condiciones aisladas.

Parámetros fisicoquímicos

- Agua de grifo

Tabla 4. 18 Resultados de análisis fisicoquímicos para el agua de alimentación al sistema (grifo), para el día quince

Parámetro	Mx 1	Mx 2	Mx 3	Promedio	Valor Norma
pH	6.64	6.60	6.62	6.62	5-8
Conductividad $\left[\frac{\mu S}{cm}\right]$	641.00	617.00	636.00	631.33	10
Resistividad $\left[\frac{M\Omega}{cm}\right]$	0.002	0.002	0.0018	0.0019	0.11
STD $\left[\frac{mg}{L}\right]$	432	411	420	421	---

Ref. Los Autores

Podemos observar en la tabla 4.17 los valores de pH que indican un valor dentro del rango de la norma 1080: Agua de calidad para reactivo de los Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales (Díaz de S., 1992) , utilizada en este estudio, por lo que se esperan valores muy por debajo del mismo en los resultados, con respecto a la conductividad son valores altos, catalogados en el rango de aguas para uso doméstico, así como la resistividad y un valor de TDS muy por arriba de la norma.

- **Agua producto del proceso de destilación**

Tabla 4. 19 Resultados de análisis fisicoquímicos para el agua producto del proceso de destilación, para el día quince

Parámetro	Mx 1	Mx 2	Mx 3	Promedio	Valor Norma
pH	6.34	6.32	6.32	6.33	5-8
Conductividad $\left[\frac{\mu S}{cm}\right]$	16.41	15.06	13.27	14.91	10
Resistividad $\left[\frac{M\Omega}{cm}\right]$	0.067	0.072	0.065	0.068	0.11
STD $\left[\frac{mg}{L}\right]$	10.04	10.06	10.04	10.05	---

Ref. Los Autores

En el análisis realizado al agua producto del día 15 se obtuvieron parámetros mucho más similares a los exigidos por la norma, además se noto una reducción en el pH pasando desde un valor promedio de 6.62 a 6.33, con respecto al valor correspondiente a la conductividad, se paso de un valor promedio del agua de grifo de 631.33 a 14.91 $\left[\frac{\mu S}{cm}\right]$, teniendo una reducción de 616.42 $\left[\frac{\mu S}{cm}\right]$ para el agua producto del sistema, para el caso de la resistividad se paso de un valor promedio de 0.0019 a 0.068 $\left[\frac{M\Omega}{cm}\right]$, con un aumento de 0.0661 $\left[\frac{M\Omega}{cm}\right]$.

Además con los STD, se paso de tener en la materia prima un valor promedio de 421 a 10.05 $\left[\frac{mg}{L}\right]$, único parámetro más cercano hacia el valor exigido por la norma de 10.0 $\left[\frac{mg}{L}\right]$, teniendo una reducción del orden de 410.95 $\left[\frac{mg}{L}\right]$.

Contenido de sílice

Tabla 4. 20 Determinación de contenido de sílice

Contenido de Sílice $(SiO_2 \left[\frac{mg}{L}\right])$		
Agua de grifo	Agua producto	Valor Norma
34.8	0.14	<1

Ref. Los Autores

El contenido de sílice de la materia prima, cuyo valor es acorde a datos de aguas naturales, el resultado refleja un dato que se encuentra de los rangos normales para el agua de grifo, sin embargo al aplicar el proceso de destilación a la misma, se observa una significativa disminución de este factor al orden de $0.14 \left[\frac{mg}{L} \right]$. El resultado indica que se obtiene del equipo un agua con bajo contenido de sílice, que puede ser utilizada en la industria, para lavado de materiales de laboratorio, así como aplicar su uso a gran escala como método de remoción de sílice en tratamiento de aguas para uso industrial.

Carbono Orgánico Total

Tabla 4. 21 Contenido de Carbono Orgánico Total en muestras de agua

COT $\left[\frac{mg}{L} \right]$		
Agua de grifo	Agua producto	Valor Norma
26	23	<1

Ref. Los Autores

Se puede observar una leve disminución en el valor del COT, una de las posibles causas de este valor reportado en el agua producto (destilada) es que el equipo se encuentra expuesto a un ambiente abierto, lo cual favorece la contaminación con partículas presentes en el medio con alto contenido de carbono orgánico, además, las bacterias que se encuentran en los alrededores, humedad, pasto, etc., pueda influir en este valor

Pese a los valores obtenidos, es de rescatar que se obtuvo disminución del contenido de COT y se recomienda para mejorar los resultados, verificar el aislamiento del equipo de manera que no influyan estos factores, además de la impermeabilización del suelo para colocar el equipo que pueda aminorar el contacto del mismo con materia orgánica proveniente del suelo.

Sólidos Totales

Agua de grifo. Volumen adicionado: 10 mL

Tabla 4. 22 Contenido de Sólidos totales en agua de grifo

Muestra	Tara [g]	Peso final [g]	Diferencia [g]	ST $\left[\frac{mg}{L}\right]$	Valor Norma
11	12.8474	12.8522	0.0048	480	5
12	19.9041	19.9085	0.0044	440	
13	23.6763	23.6813	0.005	495	
Promedio				471.67	

Ref. Los Autores

Agua producto del destilador solar. Volumen adicionado: 10 mL

Tabla 4. 23 Contenido de Sólidos totales en agua producto

Muestra	Tara g	Peso final [g]	Diferencia [g]	ST $\left[\frac{mg}{L}\right]$	Valor Norma
21	28.6425	28.6434	0.00086	86	5
22	22.9282	22.929	0.0008	80	
23	45.2472	45.248	0.00075	75	
Promedio				80.33	

Ref. Los Autores

La diferencia representativa entre el contenido de sólidos totales de la muestra de agua de grifo comparada con la cantidad de sólidos totales en la muestra obtenida del proceso de destilación, en aproximadamente $391.33 \left[\frac{mg}{L}\right]$.

4.4.3 Análisis de resultados

Tabla 4.24 Análisis de resultados

PARAMETRO DE CALIDAD	Agua de grifo	Agua destilada obtenida	Norma
Bacterias, $\left[\frac{UFC}{mL}\right]$	---	---	NA
pH	6.62	6.33	5-8
Resistividad, $\left[\frac{M\Omega}{cm}\right]$ a 25°C	0.0019	0.068	0.11
Conductividad, $\left[\frac{\mu S}{cm}\right]$ a 25°C	631.33	14.91	10
SiO₂, $\left[\frac{mg}{L}\right]$	34.8	0.14	<1
Sólidos totales, $\left[\frac{mg}{L}\right]$	471.67	80.33	5
Carbono Orgánico oxidable total, $\left[\frac{mg}{L}\right]$	26	23	<1

Ref. Los Autores

Para la demanda proyectada de agua destilada cuyo valor es $3.0 \frac{L}{dia}$, se obtuvo un valor de $1.84 \frac{L}{dia}$, como podemos observar este valor es menor al proyectado, sin embargo si lo suplen en una gran parte, aproximadamente en un 61%.

Con respecto al valor del pH para el cual la norma 1080 (Díaz de Santos, 1992) establece un intervalo en el que debe encontrarse este valor el cual se define como: $pH > 5$ y $pH < 8$, en este caso el valor obtenido fue $pH = 6.33$, por lo cual afirmamos que el valor obtenido en el agua producto del equipo se encuentra dentro de los parámetros de la Norma establecida (Díaz de Santos 1992).y

El valor de la conductividad establecido por la norma 1080 (Díaz de Santos, 1992) corresponde al valor de $10 \frac{\mu S}{cm}$, obteniendo en el agua producto un valor de $14.91 \frac{\mu S}{cm}$ por lo que no cumple con el criterio establecido para agua calidad reactivo tipo 3, sin embargo se ha logrado reducir este parámetro en $616.42 \frac{\mu S}{cm}$.

El parámetro que se refiere a resistividad reporta en la norma 1080 un valor igual a $0.11 \frac{M\Omega}{ml}$, que al compararlo con el parámetro obtenido en el análisis del agua

producto del sistema corresponde a $0.068 \frac{M\Omega}{mL}$, por lo tanto no cumple con el criterio establecido por la norma 1080 (Díaz de Santos), pero hay que hacer notar el incremento que sufrió este valor de pasar de un promedio de $0.0019 \frac{M\Omega}{mL}$ a $0.068 \frac{M\Omega}{mL}$, que representa un aumento de $0.0661 \frac{M\Omega}{mL}$

La cantidad de sílice que reporta la norma 1080 (Díaz de Santos) correspondiente a $1.0 \frac{mg}{L}$ fue uno de los parámetros más interesantes, debido a su considerable reducción desde el agua de alimentación, obteniendo un valor promedio correspondiente a $0.14 \frac{mg}{L}$, por lo tanto el agua cumple con el criterio relacionado a agua establecida por la norma 1080 (Díaz de Santos, 1992).

El parámetro que corresponde a la cantidad de Sólidos Totales en la muestra de agua de salida requerido por la norma 1080 (Díaz de Santos, 1992) señala el valor de $5 \frac{mg}{L}$, obteniendo del análisis al agua de salida del sistema un valor correspondiente a 80.33, lo que nos lleva a concluir que el agua no cumple con el parámetro establecido, sin embargo hay una reducción en promedio desde $471.67 \frac{mg}{L}$, hasta $80.33 \frac{mg}{L}$ mostrando una considerable reducción de aproximadamente $391.34 \frac{mg}{L}$.

También se puede observar el análisis del parámetro correspondiente al Carbono Organico Total (COT), para el cual la norma 1080 (Díaz de S., 1992), establece un valor correspondiente a $1 \frac{mg}{L}$, que para nuestro análisis en el agua producto corresponde a $23 \frac{mg}{L}$, sin embargo al comparar el agua utilizada con materia prima cuyo valor corresponde a 26, se ha logrado reducir este parámetro en $3 \frac{mg}{L}$. Por lo tanto se concluye del análisis, que el equipo contribuye a que el agua utilizada como materia prima alcance parámetros muy cercanos a la norma 1080 (Díaz de S., 1992) sobre la cual se trabajo e incluso se obtienen parámetros que sobrepasan los establecidos por la norma, tal es el caso del contenido de sílice de la muestra.

CONCLUSIONES

- La concentración de bacterias en la muestra destilada correspondiente al día uno, presentó un número alto de UFC/mL, mayor que el del agua de entrada (agua de grifo), debido a las condiciones e impurezas del equipo, además de las condiciones del ambiente ya que se tiene contacto directo del equipo con el pasto y el agua de riego de la zona .
- La bandeja presenta restos de depósitos minerales, lo cual indica que se le han retirado gran parte del contenido de dureza del agua de la fuente, situación que se ve reflejada en los resultados.
- El mayor valor de temperatura en cada uno de los puntos muestreados no se da en el Medio día solar, sino en horas de la tarde, por lo tanto la máxima radiación solar en el equipo se recibe luego del medio día solar, tal como se muestra en los datos recopilados.
- Gran parte de la radiación solar recibida por el evaporador de cerámica ha logrado transferirse al agua contribuyendo al proceso de evaporación del agua y posterior condensación en el vidrio para ser colectada luego por los canales de desagüe.
- Las temperaturas reflejadas en los sensores, fieles testigos de los datos reportados dentro del sistema muestran valores en el agua tan altos como 77°C, lo que nos indica que hubo un buen aislamiento térmico el cual contribuyó a destilar una mayor cantidad de agua en el equipo.
- Debido a la inercia térmica del material cerámico utilizado, aun a altas horas de la tarde el sistema continuó destilando, luego que terminara el período especificado durante el proceso de validación, muestra de ello es el agua encontrada al siguiente día en horas de la mañana en los recipientes contendedores de producto
- La radiación recibida durante los quince días de validación del equipo nos muestran que ningún día es igual a otro, aunque se reciba la misma radiación todos los días de parte del sol, depende mucho este factor de las

condiciones climáticas circundantes, tales como nubosidad la cual disminuye el rendimiento del equipo y la velocidad del viento, estas condiciones provocan un aumento del gradiente de temperatura entre las caras internas y externas de los vidrios lo que contribuye al proceso de condensación del agua evaporada de la bandeja.

- Con respecto a los parámetros fisicoquímicos se puede apreciar que en muchos casos no se llegó a los valores requeridos por la norma para agua calidad reactivo tipo III, sin embargo es de hacer notar la considerable reducción que sufrieron estos parámetros debido a la naturaleza del proceso.
- Una de las causas por las que parámetros tales como el Carbono Orgánico Total y Sólidos Totales reportaron valores altos, es debido a la ubicación del equipo, ya que el mismo esta en contacto directo y permanente con el material orgánico del medio ambiente, tales como carbono orgánico proveniente del suelo, factor que posee el pasto que conforma la zona experimental, lo cual dificulta la reducción de este parámetro.
- Deben resaltarse los valores obtenidos tanto de la conductividad, resistividad y contenido de sílice de la muestra, los cuales lograron valores muy cercanos a la norma establecida, lo que hace al agua obtenida propia para ser utilizada en lavado de equipos, sin el problema de presentar incrustaciones en su uso, así como muchas aplicaciones industriales tales como químico auxiliar en la industria, al poseer una muy baja dureza y bajo contenido de sílice, así como en el uso de calderas.
- Al evaporarse el agua queda un material en la bandeja, que debido a la reducción de los parámetros, puede tratarse de sílice, y otras sales que pueden ser utilizadas para otras aplicaciones que eviten su disposición final.
- Al aumentar la presión interna del sistema la temperatura de ebullición del sistema disminuye por lo tanto se puede obtener un proceso más eficiente generando agua destilada en menor tiempo.

- El agua obtenida en el destilador solar puede ser utilizada en la Planta Piloto de la Escuela de Ingeniería Química para preparación de soluciones de laboratorios como soluciones de titulación, soluciones buffer en materias como Química General y Química Técnica, así como para lavado de material de vidrio, etc. Previamente debe filtrarse con papel filtro para eliminar cualquier tipo de sólidos suspendidos que puedan llegar al agua durante su recolección.
- Se puede monitorear la calidad del agua obtenida, para ello en el anexo I se muestra la guía de evaluación de parámetros para checar calidad del agua destilada sugerida, para comparar con respecto a la Norma 1080 de Buenaventura para el agua destilada para agua tipo III

OBSERVACIONES

- El rendimiento del equipo mostró aumento a medida se realizaron ajustes en cuanto fugas de agua, tanto en fase líquida como en fase vapor.
- La limpieza diaria de la cubierta de vidrio tanto interna como externa influye de manera positiva en la eficiencia del equipo.
- Al evaporarse el agua contenida en la bandeja, se puede observar un alto contenido de dureza y sílice, la cual se puede visualizar por los restos sólidos blancos depositados en el fondo de la bandeja.
- La parte metálica interna del equipo muestra un ataque corrosivo debido a la evaporación sufrida por el agua y posterior condensación en dichos puntos.
- Una limpieza inadecuada de la superficie interna del vidrio puede provocar estrías en el vidrio lo que disminuye la eficiencia del equipo debido a que dificulta el paso del agua por dichos puntos, retrasando su llegada a los canales de desagüe.
- La cantidad de agua obtenida por el equipo es fundamental para realizarle los análisis correspondientes debido a que con esta misma agua deben realizarse los enjuagues de los recipientes de análisis.
- A medida que transcurre el tiempo, la parte metálica del equipo muestra ataques corrosivos debido a la humedad en el ambiente, tanto interno como externo.

RECOMENDACIONES

- Variar el ángulo de inclinación de la cubierta a 45° para aumentar la velocidad del agua condensada en el vidrio.
- Utilizar ladrillo de cerámica negro mate y comparar la temperatura máxima alcanzada con la que se obtuvo con el ladrillo gris oscuro del sistema estudiado, para visualizar el aporte de este ladrillo al sistema.
- Las ecuaciones utilizadas para el diseño del equipo son de Duffie, por esto se recomienda hacer un diseño con ecuaciones acopladas a las condiciones de El Salvador para tener una mayor aproximación al un diseño.
- Utilizar vidrio templado en el condensador y comparar los valores obtenidos con los del vidrio simple utilizado en el sistema estudiado.
- Sustituir un canal de $\frac{3}{4}$ " en el canal de desagüe para reducir las pérdidas del agua condensada en el vidrio en su trayecto hacia los recipientes contenedores.
- Al momento de limpiar el vidrio, hacerlo de manera vertical para evitar la formación de estrías que puedan disminuir el rendimiento del equipo, y asegurarse de la eliminación de contaminantes tales como grasa, polvo entre otros.
- Limpiar la cara exterior de las planchas de vidrio al inicio del proceso de destilación por la mañana, de manera que no se dificulte el paso de radiación hacia la bandeja, debido a la opacidad generada por el polvo proveniente del ambiente.
- Recubrir con silicón la parte metálica interna para evitar ataques corrosivos.
- Utilizar canaletas en forma de "V" de tal manera que se pueda recuperar una mayor parte de agua destilada en el sistema en menor tiempo.
- Estudiar la posibilidad de recuperar los residuos sólidos que se depositan en la bandeja cuando el agua es evaporada, asimismo buscar una aplicación o uso industrial de estos sedimentos.

- Estudiar el comportamiento de dicho sistema en ambientes diversos, tales como los ubicados en las costas de nuestro país, verificando las temperaturas y volumen de agua destilado y compararlos con los obtenidos en el trabajo realizado para reportar que tan significativo pueda ser el proceso dependiendo de la zona de ubicación del mismo.
- Para la recepción de agua destilada, utilizar depósitos transparentes con medición en el orden de 4 litros para tener un panorama más preciso del agua destilada durante el proceso de destilación.
- Ubicar el equipo en una zona donde este lejos del contacto directo con el suelo para evitar un crecimiento de bacterias en el agua obtenida, así como una interferencia en el valor del Carbono Orgánico Total de las muestras.
- El llenado de la bandeja debe realizarse de manera rápida debido a que el agua comienza a evaporarse produciendo opacidad en el vidrio y a medida que se va agregando más agua, es muy difícil poder visualizar el nivel del agua en la bandeja.

ANEXOS

ANEXO A MARCHA ANALÍTICA PARA DETERMINACIÓN DE TEMPERATURA DE MUESTRA DE AGUA.

TEMPERATURA

La medida de la temperatura puede realizarse con cualquier termómetro Celsius de mercurio que, como mínimo debe tener una escala con marcas cada 0.1 °C sobre el tubo capilar y una capacidad térmica mínima que permita un equilibrio rápido.

Material y aparatos

- Termómetro de Mercurio graduado con escala 0.1 °C entre 1-100 °C

Procedimiento

La lectura de temperatura se realizará sumergiendo el termómetro en el interior de la muestra hasta una profundidad determinada y esperando hasta lectura constante. Esta medida se realizará al tomar la muestra (si la climatología lo permite).

ANEXO B. MARCHA ANALÍTICA PARA LA MEDICIÓN DE PH

pH

Fundamento

El pH del agua pura es de 7 a 25 °C. Como consecuencia de la presencia de ácidos y bases y de la hidrólisis de las sales disueltas, el valor de pH puede disminuir o aumentar.

La presencia de sales de bases fuertes y ácidos débiles como Na_2CO_3 incrementa el pH. Sales de bases débiles y ácidos fuertes como CaCl_2 produce disminución del mismo.

El valor de pH en aguas neutras suele estar entre 6.5 y 7.5, menores valores pueden obtenerse como resultado de CO_2 libre. Descalcificación en aguas superficiales puede provocar aumentos en el pH.

Uno de los métodos más precisos para la medición del pH es el método electrométrico con electrodo de vidrio.

El pH se determina mediante la medida del potencial eléctrico que se crea en la membrana de un electrodo de vidrio, que es función de las actividad de los iones hidrógeno a ambos lados de al membrana.

Material y Reactivos

- Medidor de pH
- Soluciones patrón de pH 4.00 y 7.00

Procedimiento

Si la conductividad eléctrica no supera 100 mS/cm, las muestras no requieren preparación especial para la medida del pH.

1. Calibración del pH-meter con las soluciones tampón de referencia (según instrucciones del aparato). El electrodo deberá estar siempre en disolución 3M KCl.
2. La temperatura de la muestra debe ser la adecuada para efectuar la medida de pH (temperatura ambiente).
3. Se tomará como valor de pH de la muestra, cuando la medida de lectura sea estable por al menos 1 minutos. El valor puede ser leído con una precisión de 0.1 unidades o 0.01 unidades.
4. Entre medida y mediada de pH de muestras diferentes el electrodo debe limpiarse con agua destilada y posteriormente secado.

Los resultados deben expresarse en unidades de pH con precisión de 0.1 a la temperatura que se efectuó la medición.

Observaciones

Se recomienda determinar el pH de las aguas in situ, de modo que no se modifiquen los equilibrios iónicos debido al transporte o a una permanencia más o menos prolongada de las muestras en los recipientes de almacenado.

Si el pH de alguna muestra alcanza un valor superior a 8.3 se deberá calibrar el medidor de pH con la solución de pH 7 y contra de pH 9.

ANEXO C. MARCHA ANALITICA PARA MEDIR CONDUCTIVIDAD

Conductividad

Principio

Se denomina conductividad eléctrica de un agua a la aptitud de esta para transmitir la corriente eléctrica, definida como la conductancia de una columna de agua comprendida entre dos electrodos metálicos de 1 cm^2 de superficie y separados el uno del otro por 1cm.

La conductividad depende de la actividad y tipo de los iones disueltos y de la temperatura a la que se realiza la medida, y se determina mediante la expresión:

$$P=C.K$$

Donde:

P= conductividad especifica en $\text{ohm}^{-1}.\text{cm}^{-1}$

C= conductividad medida en ohm^{-1}

K= constante de la celda en $\text{cm}^{-1} = 1/A$

l= separación de los electrodos

A= área de los electrodos.

Para medir la constante de la celda, se mide la conductividad de una disolución patrón de KCl cuya conductividad específica es conocida y se calcula como $K=P/C$.

Las medidas de conductividad dependen en gran medida de la temperatura, debiéndose referir a la temperatura de 20°C . Si las medidas se realizan a otra temperatura deben corregirse según la expresión: $C_{20^\circ\text{C}} = C_T * F$, siendo C_T la conductividad medida a la temperatura de trabajo y F un factor.

Procedimiento

- Medir la conductividad de la muestra a una temperatura lo más cercana posible a 20°C.

Conductividad eléctrica de soluciones de KCl a 20°C

Concentración	Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$)
0.001	13.44
0.0005	66.46
0.001	132.2
0.005	644.8
0.01	1271.00
0.02	2488.00
0.05	5996.00
0.1	11600.00
0.2	22320.00

Factores de conversión de temperatura °F, para la conversión de los valores de conductividad de C_T °C a 20°C en aguas naturales.

C_T	F									
Grados	Décimas de grado									
	,0	,1	,2	,3	,4	,5	,6	,7	,8	,9
5	1,490	1,488	1,483	1,479	1,477	1,468	1,464	1,459	1,455	1,449
6	1,445	1,440	1,436	1,432	1,428	1,424	1,418	1,414	1,410	1,404
7	1,400	1,396	1,392	1,388	1,385	1,379	1,375	1,371	1,368	1,362
8	1,358	1,353	1,349	1,347	1,342	1,340	1,335	1,331	1,328	1,324
9	1,319	1,316	1,312	1,308	1,305	1,300	1,297	1,293	1,288	1,285
10	1,282	1,279	1,277	1,273	1,269	1,265	1,261	1,257	1,254	1,250
11	1,246	1,244	1,242	1,239	1,234	1,231	1,227	1,224	1,219	1,216
12	1,213	1,210	1,207	1,204	1,202	1,199	1,194	1,191	1,189	1,184
13	1,182	1,180	1,176	1,173	1,169	1,166	1,164	1,160	1,157	1,154
14	1,152	1,149	1,146	1,144	1,141	1,138	1,135	1,132	1,129	1,127
15	1,123	1,121	1,118	1,116	1,112	1,109	1,107	1,103	1,101	1,099
16	1,096	1,094	1,091	1,088	1,086	1,084	1,081	1,078	1,075	1,073
17	1,070	1,069	1,067	1,064	1,061	1,059	1,056	1,053	1,050	1,048
18	1,046	1,044	1,043	1,039	1,037	1,035	1,033	1,029	1,027	1,025
19	1,023	1,022	1,019	1,016	1,014	1,012	1,010	1,008	1,004	1,002
20	1,000	0,999	0,996	0,994	0,992	0,990	0,988	0,985	0,983	0,981
21	0,979	0,977	0,975	0,973	0,970	0,969	0,967	0,965	0,962	0,960
22	0,958	0,956	0,954	0,952	0,950	0,947	0,946	0,943	0,941	0,940
23	0,938	0,937	0,934	0,933	0,931	0,929	0,926	0,926	0,923	0,921
24	0,919	0,918	0,916	0,915	0,912	0,910	0,908	0,907	0,905	0,902
25	0,902	0,899	0,897	0,896	0,893	0,891	0,889	0,888	0,885	0,885

La conductividad se expresa en mS/cm a 20°C

ANEXO D. MARCHA ANALÍTICA PARA MEDICIÓN DE SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS.

a) Sólidos Totales Disueltos

La determinación de los sólidos totales disueltos permite estimar la cantidad de materias disueltas y en suspensión que lleva un agua, pero el resultado está influenciado por la temperatura y la duración de la desecación.

A 100-105°C, una parte o la totalidad tanto del agua intersticial así como del agua de cristalización de ciertas sales se pueden evaporar.

Hacia los 105-110°C, los bicarbonatos se transforman en carbonatos, lo que supone una pérdida de anhídrido carbónico. Entre 105-180°C, además de la pérdida de agua de cristalización puede haber: pérdida de amoníaco a partir de combinaciones amoniacales, de ácido sulfhídrico a partir de sulfuros alcalinos, de materia orgánica a partir de compuestos orgánicos. Por otra parte, el cloruro magnésico se puede hidrolizar y precipitar en forma de hidróxido.

El residuo seco determinado a 180°C es el que más se aproximará a la suma de los diferentes resultados del análisis, pues el agua de cristalización estará prácticamente ausente.

El residuo seco a 525°C permite estimar la cantidad de materias orgánicas.

Principio

Se evapora una determinada cantidad de agua en una cápsula tarada. El residuo se deseca y seguidamente se pesa.

Material

- Cápsula tarada.
- Esta regulable

Procedimiento

Evaporar progresivamente 100 ml de agua en una cápsula tarada en estufa a 105°C hasta sequedad y dejar enfriar $\frac{1}{4}$ de hora en el desecador. Pesar inmediata y rápidamente el residuo que por lo general será higroscópico.

El peso del residuo seco multiplicado por diez da el peso del residuo seco de 1 litro de agua.

ANEXO E. MARCHA ANALÍTICA PARA MEDICIÓN DE SÍLICE

Si SILICE

Toma de muestra y conservación.

Recójense las muestras en frascos de polietileno, otro plástico o goma dura, especialmente si va a transcurrir un tiempo entre su obtención y el análisis. El vidrio de borosilicato representa una elección menos deseable especialmente con aguas de pH superior a 8 o con agua de mar, en cuyo caso puede disolverse una cantidad significativa de sílice del vidrio, la congelación para conservación de las muestras para análisis de otros componentes puede reducir los valores de sílice soluble hasta un 20 o un 40 por 100 en agua con pH inferior a 6. No acidificar las muestras para conservarlas porque en solución acida la sílice precipita.

Método gravimétrico

Principio:

El ácido clorhídrico descompone los silicatos y sílice disuelta, formando ácidos silícicos que precipitan como sílice parcialmente deshidratada durante la evaporación y secado. La ignición completa la deshidratación de sílice, que se pesa y volatiliza después como tetra fluoruro de silicio, dejando todas las impurezas como residuo no volátil. Se pesa el residuo y se determina la sílice como pérdida de volatilización. Para deshidratar la sílice se puede utilizar ácido perclórico (HClO_4) en lugar de HCl.

Un tratamiento sencillo con HClO_4 recuperara mas sílice que uno con HCl, aunque para recuperación completa de sílice se necesitan dos deshidrataciones con cualquiera de esos dos ácidos. La utilización de HClO_4 reduce la tendencia a las salpicaduras produce una precipitación de sílice más fácil de filtrar y acortar el tiempo necesario para la determinación.

Material y Equipo

- Crisoles de platino, con tapa.
- Capsulas de evaporación de platino, 200 ml. En los casos de deshidratación se puede sustituir el platino por capsulas de porcelana vidriada con lixiviado acido sin aguafuerte, pero es preferible el platino para lograr una mayor precisión.

Reactivos

Para mayor exactitud elíjase lotes de productos químicos bajos en sílice para este método. Consérvese todos los reactivos en envases plásticos y realícense pruebas en blanco.

- Acido clorhídrico, HCl 1+1 y 1+50.
- Acido sulfúrico, H₂SO₄ 1+1.
- Acido fluorhídrico, HF, 48 por 100.
- Acido perclórico, HClO₄, 72 por 100.

Procedimiento

- Antes de determinar la sílice, analícese la materia interferente no volátil de H₂SO₄ y HF. Utilice un crisol de platino vacio y limpio. Si se observa algún aumento de peso, hágase una corrección en la determinación de la sílice.
- *Deshidratación de HCl:* Evaporación de la muestra. A una muestra transparente conteniendo al menos, 10 mg de sílice, se añaden 5 ml de HCl 1+1. Evapórese a sequedad en una capsula de 200 ml de platino o porcelana vidriada con lechada acida en varias porciones, si fuera preciso, sobre un baño de agua o suspendida en un anillo de amianto sobre placa caliente. Protéjase de la contaminación de polvo atmosférico. Durante la evaporación, añádase un total de 15 ml de HCl 1+1 en varias proporciones.

Séquese la placa y ponga en un horno a 110 °C o sobre una placa caliente para secar durante 30 minutos.

- Primera filtración. Añádanse 5 ml de HCl 1+1 templado, y 50 ml de agua destilada caliente. Con la mezcla aun caliente, fíltrese mediante papel de filtro de textura media sin cenizas, decantando el máximo posible de líquido. Lávese la placa y el residuo con HCl 1+50 caliente y después con un volumen mínimo de agua destilada, hasta que los lavados estén libres de cloruros. Guárdense todos los lavados. Déjese aparte el papel de filtro con residuo.
- Segunda filtración. Evapórese el filtrado y los lavados de la operación anterior a sequedad en la capsula de platino original. Séquese el residuo en un horno a 110°C o sobre placa caliente por 30 minutos. Repítanse los pasos del apartado 2) anterior. Úsese otro papel de filtro y un pilón de goma para ayudar a transferir el residuo de la capsula al filtro. Téngase especial atención con las capsulas de porcelana porque la sílice se adhiere a ellas.
- Ignición. Transfiérase los dos papeles filtros y los residuos a un crisol de platino con tapa, séquese a 110°C y llévase a ignición a 1200 °C hasta peso constante. Evítense la pérdida mecánica de residuo cuando se carboniza y quema el papel por primera vez, calentando gradualmente a la mínima temperatura. Un calentamiento demasiado rápido podría reducir carburo de silicio negro. Enfríese en desecador, pésese y repítase la ignición y la pesada hasta conseguir un peso constante. Regístrese el peso del crisol y el contenido.
- Volatilización con HF. Humedézcase por completo el residuo pesado con agua destilada. Añádanse 4 gotas de H₂SO₄ 1+1, seguido de 10 ml de HF, midiendo este en una probeta de plástico graduada o vertiendo los 10 ml estimados directamente del frasco de reactivo. Evapórese a sequedad lentamente sobre un baño de aire o placa caliente, en una vitrina, y evítense las perdidas por salpicadura. Llévase a ignición el crisol a 1200 °C hasta peso constante. Regístrese el peso del crisol y contenido.

- *deshidratación de HClO₄*: Sígase el procedimiento descrito anteriormente en el paso 4 hasta que queden 50 ml de muestra son evaporar. Añádanse 5 ml de HClO₄ y evapórese hasta aparición de humos blancos y densos.(PRECAUCION: explosivo. Colóquese una protección entre el analista y la capsula humeante). Continúese la deshidratación durante 10 minutos. Enfríese, añádanse 5 ml de HCl 1+1 y 50 ml de agua destilada caliente. Llévase a ebullición y fíltrese por papel cuantitativo sin cenizas. Lávese completamente diez veces con agua destilada caliente y procédase como se indica en los pasos 4 y 5 anteriores. Para muchos fines, el precipitado de sílice suele ser suficientemente puro y se puede pesar directamente, omitiendo la volatilización de HF. Sin embargo, para asegurarse de que el resultado está dentro de los límites de precisión necesarios, se debe hacer una comprobación inicial frente al método más largo.

Cálculo

Réstese el peso del crisol y su contenido tras el tratamiento con HF del peso correspondiente antes de este tratamiento. La diferencia A, en miligramos, es la “pérdida de volatilización” y representa la sílice:

$$\frac{mg SiO_2}{L} = \frac{A \times 1000}{ml muestra}$$

ANEXO F. MARCHA ANALÍTICA PARA LA DETERMINACIÓN DE CARBONO ORGÁNICO TOTAL

Método de combustión infrarrojo

Este método ha sido utilizado para una gran diversidad de muestras, pero su exactitud depende de la reducción del tamaño de la partícula porque utiliza jeringas de orificio pequeño.

Principio

Se homogeneiza y diluye la muestra según sea necesario, y se inyecta una pequeña cantidad en una cámara de reacción caliente rellena de catalizador oxidante tal como el óxido de cobalto. El agua se vaporiza y el carbono orgánico se oxida hasta CO_2 y H_2O . El CO_2 de la oxidación del carbono orgánico e inorgánico es transportado en corrientes transportadoras de gas y se mide por medio de un normalizador infrarrojo no dispersivo.

Puesto que lo que está determinando es el carbono total, debe medirse el CI por separado y obtener el COT por diferencia.

Mídase el CI inyectando la muestra en una cámara de reacción distinta rellena de cuentas de cuarzo con ácido fosfórico. Bajo condiciones ácidas, todo el CI es convertido a CO_2 , el cual se mide. Bajo estas condiciones, el carbono orgánico no se oxida y solo se mide el CI.

Como alternativa, conviértanse los carbonatos inorgánicos a CO_2 con ácido y elimínese el CO_2 purgando antes de la inyección de la muestra. La muestra contiene solo la fracción CONP del carbono total; para medir el COT verdadero es necesario también determinar el COP.

Interferencia

La eliminación del carbonato y el bicarbonato por acidificación y purga con gas purificado tiene como resultado la pérdida de sustancias orgánicas volátiles. Estas pueden perderse también durante el mezclado de la muestra, en particular si se deja que la temperatura ascienda. Puede ocurrir otra importante pérdida si las grandes partículas que contienen carbono no caben en la aguja utilizada para la inyección. La filtración, aunque necesaria para eliminar la materia orgánica en partículas cuando va a determinarse solo el COD, puede tener como resultado la pérdida o ganancia de COD, dependiendo de las propiedades físicas de los compuestos de carbono y de la adsorción del material carbonado al filtro.

Compruébese la contribución de los filtros al COD analizando un blanco. Téngase en cuenta que cualquier contacto con materia orgánica puede contaminar una muestra. Evítense material de vidrio, envases de plástico, y tubos de caucho contaminados. Analícese el tratamiento, el sistema y los blancos de los reactivos.

Concentración detectable mínima: 1 mg de carbono/ L. Puede conseguirse con la mayoría de los analizadores de combustión en el infrarrojo aunque el rendimiento del instrumento varia. La concentración detectable mínima puede reducirse concentrando la muestra, o incrementando la porción tomada para el análisis.

Toma de muestras y almacenamiento

Recójense y guárdense las muestras en frascos de cristal de ámbar con tapones revestidos de TFE. Antes de usar los frascos lávense con ácido, ciérrense con papel aluminio y manténganse en el horno por 400°C durante al menos una hora. Lávense los tabiques de TFC con detergente, aclárense repetidamente con agua libre de materia orgánica, envuélvanse en papel aluminio y ténganse en el horno a 100°C durante 1 hora. Es preferible utilizar secciones de TFE revestidos de caucho de silicona con tapones de apertura de rosca para obtener un cierre positivo. Debido a que el límite de detección es relativamente alto, es aceptable una limpieza menos rigurosa; utilícense blancos de frascos con cada conjunto de

muestra. Utilícese un aparato de recogido de muestras de tipo Kemmerer o similar para tomar las muestras de una profundidad superior a 2 m. Consérvanse las muestras que no puedan ser examinadas inmediatamente a 4° C con exposición mínima a la luz y al aire atmosférico. Es posible utilizar acidificación con ácido fosfórico o sulfúrico a pH menor o igual a 2 solo si se purga a continuación el carbono orgánico. Bajo cualquier condición redúzcase al mínimo tiempo de almacenamiento.

Material y Equipo

- a) Analizador de carbono orgánico total.
- b) Jeringas: 0 a 50 µL, 0 a 200 µL, y 0 a 1 ml de capacidad.
- c) Mezclador u homogenizador de la muestra.
- d) Agitador magnético y varilla de agitación cubierta de TFE.
- e) Aparato de filtración y filtros de diámetro de poro 0.45 µL.

Reactivos

- *Agua para reactivos:* prepárense los blancos y las soluciones patrón con agua libre de carbono; utilícese preferiblemente agua destilada, filtrada de carbono.
- *Acido fosfórico:* H₃PO₄, concentrado. Como alternativa empléese ácido sulfúrico, H₂SO₄, pero no ácido clorhídrico.
- *Solución reserva de carbono orgánico:* disuélvase 2.1254 g de Biftalato de Potasio Anhidro C₈H₅KO₄ en agua sin Carbonato y dilúyase hasta 1000 ml; 1 ml= 1 mg de carbono. Alternativamente utilícese cualquier otro carbono orgánico de pureza, estabilidad y solubilidad en agua adecuadas. Consérvase acidificando con H₃PO₄ o H₂SO₄ a pH menor o igual que 2.

- *Solución de reserva de carbono inorgánico:* Disuélvase 4.4122 g de Carbonato Anhidro, Na_2CO_3 , en agua añadiendo 3.497 g de bicarbonato de sodio anhidro NaHCO_3 , y dilúyase hasta 1000 ml; 1 ml = 1 mg de carbono. Alternativamente utilícese cualquier otro carbonato inorgánico de pureza, estabilidad y solubilidad en agua adecuadas. Manténgase perfectamente taponado. No acidificar.
- *Gas portador:* Oxígeno purificado o aire, libre de CO_2 y que contenga menos de 1 ppm de hidrocarburo (como metano).
- *Gas de purga:* Cualquier gas libre de CO_2 e hidrocarburos.

Procedimiento

- *Funcionamiento del instrumental:* síganse las instrucciones del fabricante para la instalación del analizador, el ensayo, la calibración y su funcionamiento. Ajustese la temperatura de combustión óptima (900°C) antes de usar el instrumento; monitorizar la temperatura para asegurar la estabilidad.
- *Tratamiento de la muestra:* Si una muestra contiene material insoluble o sólidos macroscópicos, homogeneícese hasta obtener respuesta satisfactoria. Analícese un blanco de homogenización consistente en agua para reactivo sometido al tratamiento de homogenización.

Si debe eliminarse carbono inorgánico antes del análisis, pase una porción representativa de 10 a 15 ml a una cubeta de 30 ml, añadir H_3PO_4 concentrado. Para reducir el pH a 2 o menos, y púrguese con gas durante 10 minutos. No se debe usar material de plástico. El carbono inorgánico puede ser extraído también agitando la muestra acidificada en una cubeta mientras se dirige una corriente de gas purificada al interior de la cubeta. Debido a que se perderá el carbono orgánico volátil durante la purga de la solución acidificada, exprese el carbono orgánico como carbono orgánico no purgable.

Si se dispone de un instrumento que proporcione una determinación por separado del carbono inorgánico (carbonato, bicarbonato, CO₂ libre) y del carbono total, omítase la des carbonación y procédase según las directrices del fabricante para determinar el COT por diferencia entre el CT y el CI.

Si se va a determinar el carbono orgánico disuelto, fíltrese la muestra a través de filtros de diámetro de poro de 0.45µm, al vacío, analícese un blanco de filtración.

Inyección de la muestra: Retírese una porción de la muestra preparada utilizando una jeringa equipada con una aguja de punta roma. Selecciónese el volumen de la muestra según las directrices del fabricante. Agítense las muestras que contengan partículas con un agitador magnético. Selecciónese el tamaño de la aguja de acuerdo con el tamaño de partículas de la muestra. Inyéctense las muestras y los patrones en el analizador según las directrices del fabricante y anótese la respuesta repítase la inyección hasta obtener picos consecutivos reproducibles en el intervalo ± 10 por 100.

Preparación de la curva estándar: Prepárense series de carbono orgánico e inorgánico patrón, diluyendo las soluciones de reserva (stock), que abarquen el intervalo esperado en las muestras. Inyéctese y anótese la altura del pico de estos patrones y de un banco de agua de dilución. Representese la concentración de carbono en mg/L frente a la altura del pico corregido en milímetros en papel milimetrado. Esto no es necesario en los instrumentos provistos de un lector digital de la concentración. Si es conveniente, prepárese una curva estándar con concentraciones de 1 a 10 mg/L mediante diluciones adecuadas de los patrones.

Con la mayoría de los analizadores COT, no es posible determinar por separado blancos del agua para reactivos, de los reactivos y del sistema completo.

Además, algunos analizadores COT producen un blanco variable y errático que no puede ser corregido con seguridad. En muchos laboratorios, el agua para reactivo es el principal contribuyente del valor del blanco. El corregir solo la altura del pico de los patrones (que contienen agua para reactivo + reactivos + blanco del

sistema) crea un error positivo, mientras que corregir también las muestras (que contienen solo las contribuciones de los reactivos y del blanco del sistema) para el agua para reactivos blanco crea un error negativo. Háganse mínimos los errores usando agua para reactivos y reactivos con bajo contenido de carbono.

Inyéctense las muestras y los blancos del procedimiento (que consisten en agua para reactivos llevada a través de cualquiera de las etapas pre análisis y cuyos valores son típicamente más altos que los del agua para reactivo) y determínense las concentraciones de carbono orgánico de la muestra comparando con las alturas del pico corregido con la curva de calibración.

Cálculos

Cuando el agua para reactivos constituye una parte importante del blanco total:

- Calcúlese la altura del pico corregida de los patrones restando la altura del pico del blanco menos el agua para reactivos de las alturas de los picos del patrón,
- Prepárese una curva estándar de altura del pico corregido frente a la concentración de COT.
- Réstese el blanco del procedimiento de la altura del pico de cada muestra y compárese con la curva estándar para determinar el contenido del carbono. NOTA: Habrá un error positivo si el COT del agua para reactivos es significativo en comparación con el COT de la muestra. Hágase todo lo posible para obtener agua para reactivos libre de carbono.
- Aplíquese el factor de dilución apropiado cuando sea necesario.
- Réstese el carbono orgánico del carbono total cuando se determine el COT por diferencia.

Cuando el agua para reactivos constituye una parte mínima del blanco total:

- Calcúlese la altura del pico corregida de patrones y las muestras restando la altura del pico del blanco del agua para reactivos de las alturas del pico del estándar y de la muestra.
- Prepárese una curva estándar de la altura del pico corregida frente a la concentración del COT.
- Réstese el blanco del procedimiento de la altura del pico de cada muestra y compárese con la curva estándar para determinar el contenido de carbono. Los valores tendrán un error negativo igual a la contribución del blanco del agua para reactivos.
- Aplíquese el factor de dilución adecuado cuando sea necesario.
- Réstese el carbono inorgánico del carbono total cuando el COT se determine por diferencia. NOTA: Si el diseño del analizador de COT permite aislar cada una de las contribuciones del blanco total, aplíquense las correcciones del blanco apropiado a las alturas del pico de los patrones (blanco reactivo, blanco agua, blanco del sistema) y de la muestra (blanco reactivo y blanco del sistema).

Precisión

La dificultad de recoger muestras de materia en partículas en muestras no filtradas limita la precisión del método en aproximadamente el 5 al 10 por 100. En muestras limpias o en muestras que han sido filtradas antes del análisis, la precisión se aproxima a 1-2 por 100 o ± 1 a 2 mg carbono/L, dependiendo de cuál sea mayor.

ANEXO G. RESULTADOS DE LA DETERMINACIÓN DE CONTENIDO DE SÍLICE EN AGUA DE GRIFO



F - 09

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE QUÍMICA Y FARMACIA
LABORATORIO FÍSICOQUÍMICO DE AGUAS**

CODIGO Nº 05-12		INFORME DE RESULTADOS		
Nombre y dirección del cliente: RENE HUEZO. COLONIA LA ESPERANZA, PASAJE MOLINA 2, CASA Nº 4B. SAN RAMON. SAN SALVADOR.				Pág. 1 de 3
Descripción de muestra: AGUA DESTILADA (EQUIPO).			Nº DE MUESTRAS: 3	
Lugar de toma de muestra: CENTRO METEOROLOGICO. SNET. UES.				
Fecha de elaboración del informe: JUEVES 23 DE FEBRERO DE 2012.				
Fecha de recepción de muestra: 16 DE FEBRERO DE 2012.			Fecha de Análisis: DEL 16 AL 22 DE FEBRERO DE 2012.	
Método de Análisis: FOTOMETRICO.				
Parámetros	Identificación de la Muestra		Resultados	ASTM D1193-99 Standard Specification For Reagent Water
	CODIGO LABORATORIO	CODIGO CLIENTE		
SÍLICE	05-12-01	E - 1	34.8 mg/L	0.5 mg/L
Observaciones: 1. La toma de muestra estuvo a cargo del interesado.				

Advertencia: Los Resultados del Informe solo se refieren a las muestras analizadas.

NOTA: El informe de análisis sólo puede ser reproducido parcial o totalmente con la autorización escrita del laboratorio.
Se especificara en observaciones, si la muestra fue tomada por el cliente o el laboratorio.

FECHA DE ENTREGA: _____

24 FEB 2012

Licda. Odette Rauda Acevedo
Jefe del Laboratorio Físicoquímico de Aguas
y Analista

Lic. Henry Alberto Hernández
Analista

LABORATORIO FÍSICOQUÍMICO DE AGUAS
FACULTAD DE QUÍMICA Y FARMACIA
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

Final Avenida "Mártires Estudiantes del 30 de julio", Ciudad Universitaria, San Salvador, El Salvador, C.A.
Teléfono Directo: 2531-2948. Correo electrónico: labfqa_ues@yahoo.com

ANEXO G. RESULTADOS DE LA DETERMINACIÓN DE CONTENIDO DE SÍLICE EN AGUA DESTILADA OBTENIDA



F - 09

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE QUÍMICA Y FARMACIA
LABORATORIO FÍSICOQUÍMICO DE AGUAS

CODIGO N° 05-12	INFORME DE RESULTADOS			
Nombre y dirección del cliente: RENE HUEZO. COLONIA LA ESPERANZA, PASAJE MOLINA 2, CASA N° 4B. SAN RAMON. SAN SALVADOR.			Pág. 3 de 3	
Descripción de muestra: AGUA DESTILADA (EQUIPO).			N° DE MUESTRAS: 3	
Lugar de toma de muestra: CENTRO METEOROLOGICO. SNET. UES.				
Fecha de elaboración del informe: JUEVES 23 DE FEBRERO DE 2012.				
Fecha de recepción de muestra: 16 DE FEBRERO DE 2012.			Fecha de Análisis: DEL 16 AL 22 DE FEBRERO DE 2012.	
Método de Análisis: FOTOMETRICO.				
Parámetros	Identificación de la Muestra		Resultados	ASTM D1193-99 Standard Specification For Reagent Water
	CODIGO LABORATORIO	CODIGO CLIENTE		
SÍLICE	05-12-03	D - 15	0.14 mg/L	0.5 mg/l
Observaciones: 1. La toma de muestra estuvo a cargo del interesado.				

Advertencia: Los Resultados del informe solo se refieren a las muestras analizadas.
NOTA: El informe de análisis sólo puede ser reproducido parcial o totalmente con la autorización escrita del laboratorio. Se especificara en observaciones, si la muestra fue tomada por el cliente o el laboratorio.

FECHA DE ENTREGA: 24 FEB 2012

Licda. Odette Raudá Acevedo
Jefe del Laboratorio Físicoquímico de Aguas
y Analista

Lic. Henry Alfredo Hernández
Analista

LABORATORIO FÍSICOQUÍMICO DE AGUAS
FACULTAD DE QUÍMICA Y FARMACIA
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

Final Avenida "Mártires Estudiantes del 30 de julio", Ciudad Universitaria, San Salvador, El Salvador, C.A.
Teléfono Directo: 2531-2948. Correo electrónico: labfqa_ues@yahoo.com

ANEXO H. RESULTADOS DE LA DETERMINACIÓN DE CONTENIDO DE CARBONO ORGÁNICO TOTAL



CENTRO DE CONTROL DE CALIDAD INDUSTRIAL, S.A. DE C.V.
Calle San Antonio Abad, Urb. Lisboa # 35, San Salvador. Tel.: 2284-0223 Telefax: 2284-5933
ccci@navegante.com.sv • www.ccci.com.sv

San Salvador, 22 de Febrero de 2012

N° de Solicitud: SA0154	N° de Reporte: RA0552 Fco-Qco
----------------------------	----------------------------------

Datos del cliente	
Empresa:	René Huezco
Responsable:	René Huezco
Dirección:	Colonia la Esperanza PJE Molina II Casa # 4B, San Ramón
Teléfono y Fax:	2281-1071/7317-9084
E-mail:	rene.huezoig@hotmail.com

Datos de la Muestra	
Naturaleza	Agua de Grifo Universidad de El Salvador
Fecha de ingreso:	16/02/2012
Fecha de análisis:	16/02/2012 a 18/02/2012
Muestreado por:	Cliente

RESULTADOS DE ANALISIS

PARAMETRO ANALIZADO	RESULTADO	METODOS DE ANALISIS*
Carbono Orgánico Total mg/L	26	Standard Methods 5310C, Metodo fotometrico

*Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater – 21 th Edition – 2005.
mg/L: miligramos por Litro

CARACTERISTICAS DE LA MUESTRA: Agua incolora, inodora de aspecto limpio. Recibida en un frasco de vidrio color ambar.

OBSERVACIONES: No hay norma de referencia para comparar los resultados.

Los resultados del presente reporte corresponden en procedencia y código a la muestra indicada.

Por políticas de confidencialidad y derechos de autor, la reproducción total o parcial de este reporte debe ser autorizada por el laboratorio.

Atentamente,

CENTRO DE CONTROL DE CALIDAD INDUSTRIAL S.A DE C.V – CCCI

Sulma Yanira Reyes de Serpás
Dra. Sulma Yanira Reyes de Serpás.
Directora Ejecutiva

República de El Salvador C. C. C. I. LABORATORIO DE ANALISIS DE ALIMENTOS AGUAS Y AGUAS RESIDUALES N° LEA-15:07 Prop. SOCIEDAD CENTRO DE CONTROL DE CALIDAD INDUSTRIAL, S.A. DE C.V. San Salvador, Dpto. San Salvador.

El CCCI trabaja con un sistema de Calidad Implementado bajo la Norma NSR ISO /IEC 17025:2005 como parte de la garantía de calidad de nuestros análisis.

ANALIZANDO Y ASESORANDO PARA UNA COMPETITIVIDAD SOSTENIBLE

ANEXO H. RESULTADOS DE LA DETERMINACIÓN DE CONTENIDO DE CARBONO ORGÁNICO TOTAL



CENTRO DE CONTROL DE CALIDAD INDUSTRIAL, S.A. DE C.V.
Calle San Antonio Abad, Urb. Lisboa # 35, San Salvador. Tel.: 2284-0223 Telefax: 2284-5933
ccci@navegante.com.sv • www.ccci.com.sv

San Salvador, 22 de Febrero de 2012

N° de Solicitud: SA0154	N° de Reporte: RA0553 Fco-Qco
----------------------------	----------------------------------

Datos del cliente	
Empresa:	René Huevo
Responsable:	René Huevo
Dirección:	Colonia la Esperanza PJE Molina II Casa # 4B, San Ramón
Teléfono y Fax:	2281-1071/7317-9084
E-mail:	rene.huezoig@hotmail.com

Datos de la Muestra	
Naturaleza	Agua Producto de Destilador Solar Construido
Fecha de ingreso:	16/02/2012
Fecha de análisis:	16/02/2012 a 18/02/2012
Muestreado por:	Cliente

RESULTADOS DE ANALISIS

PARAMETRO ANALIZADO	RESULTADO	METODOS DE ANALISIS*
Carbono Orgánico Total mg/L	23	Standard Methods 5310C, Metodo fotometrico

*Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater –21 th Edition – 2005.
mg/L: miligramos por Litro

CARACTERISTICAS DE LA MUESTRA: Agua incolora, inodora de aspecto limpio. Recibida en un frasco de vidrio color ambar.

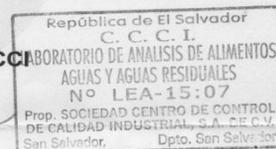
OBSERVACIONES: No hay norma de referencia para comparar los resultados.

Los resultados del presente reporte corresponden en procedencia y código a la muestra indicada.
Por políticas de confidencialidad y derechos de autor, la reproducción total o parcial de este reporte debe ser autorizada por el laboratorio.
Atentamente,

CENTRO DE CONTROL DE CALIDAD INDUSTRIAL S.A DE C.V – CCCI

Sulma Yanira Reyes de Serpas
Dra. Sulma Yanira Reyes de Serpas.
Directora Ejecutiva

El CCCI trabaja con un sistema de Calidad Implementado bajo la Norma NSR ISO /IEC 17025:2005 como parte de la garantía de calidad de nuestros análisis.



ANALIZANDO Y ASESORANDO PARA UNA COMPETITIVIDAD SOSTENIBLE

ANEXO I. GUIA DE EVALUACIÓN DE PARAMETROS PARA CHECAR CALIDAD DEL AGUA DESTILADA

GUIA DE EVALUACIÓN DE PARAMETROS PARA CHECAR CALIDAD DEL AGUA DESTILADA

Fecha: _____

PARAMETROS DE CALIDAD		Agua de Entrada			Agua destilada obtenida		
		Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
Color							
Olor							
Apariencia							
Parámetros Fisicoquímicos	Norma Tipo III						
Bacterias, $\left[\frac{UFC}{mL}\right]$	NA	-	-	-	-	-	-
pH	5-8						
Resistividad, $\left[\frac{M\Omega}{cm}\right]$ a 25°C	0.11						
Conductividad, $\left[\frac{\mu S}{cm}\right]$ a 25°C	10						
SiO ₂ , $\left[\frac{mg}{L}\right]$	<1						
Sólidos Totales, $\left[\frac{mg}{L}\right]$	5						
Carbono Orgánico Oxidable total, $\left[\frac{mg}{L}\right]$	<1						

CATALOGO

DESTILADOR SOLAR



Modelo: DS-JRB-TGIQFIAUES01-2011

Contenido

Introducción.....	2
Características generales.....	3
Datos técnicos.....	4
Volumen adicionado.....	4
Reglas básicas de Operación.....	5
Requisitos de espacio para instalación de captadores solares	6
Puesta en marcha y mantenimiento de la instalacion	6

Introducción

En el diseño e instalación de un equipo solar se deben tener en cuenta tanto los factores externos como los internos del equipo o instalación.

Factores externos son, por ejemplo, la trayectoria relativa del Sol, la cual varía con la latitud local y la época del año; la intensidad de la radiación solar; el régimen de lluvias y nubosidad; la temperatura y humedad del medio ambiente; el régimen de vientos; la contaminación ambiental, principalmente por el polvo y los agentes corrosivos; las sombras específicas del lugar (montañas, edificios, árboles, etc.), e inclusive las características ornamentales del contorno (si es un centro turístico, una vivienda, una industria, etc.). Pudiera afectar también si el diseño de la edificación previó la instalación solar o no. Uno de los factores que más influye en el diseño es el consumo energético, así como el régimen de trabajo que debe tener la instalación.

Estos factores externos influyen principalmente en dos aspectos fundamentales de la instalación solar: en la cantidad total de área de captación o absorción necesaria, así como en la localización y orientación de los equipos. El área de captación determina la potencia y capacidad de la instalación, pero a igual área no necesariamente corresponde igual potencia, ya que ésta depende también de las características del lugar, principalmente de las posibles sombras que pudieran ocurrir a lo largo del día.

Un sistema solar puede estar correctamente calculado y bien instalado, pero esto no basta para garantizar su buen funcionamiento, ya que son también imprescindibles una adecuada operación y un estricto mantenimiento.

Características generales

- Diseñado para la producción de agua destilada a partir del suministro. Fácil limpieza y sistemas de seguridad.
- Elaboración de parte interna de alma de hierro dulce lijado y tratado con pintura anticorrosiva negra y cerámica gris oscura reforzada con silicón negro para proveer una estructura impermeable.
- Carcasa de vidrio simple reforzada con tubo de hierro cubierta con pintura anticorrosiva.
- Sellado de juntas de vidrio mediante silicona transparente
- Facilidad para toma de temperaturas en distintos puntos del equipo por medio de termopares.
- Sujetadores externos para facilitar de estructura de vidrio y soporte para mantener inerte el vidrio encima del equipo que permite la fijación de plancha superior de vidrio para su respectiva limpieza.
- Alimentador de agua paralelo a bandeja de cerámica accionado por efecto rebalse en la red de alimentación, instalada en la parte inferior hacia bandeja contenedora de agua a evaporar.
- El destilador es fácil de limpiar con sólo levantar la cubierta superior del destilador (condensador) y limpiar la bandeja para retirar las sales depositadas, con posibilidad de recuperación de dichas sales.
- Recomendado para una primera destilación de agua, retirando sales disueltas así como Sílice en forma de Oxido de Silicio.

Para una producción diaria de de 1.8 litros de agua destilada, se requiere agregar 15 litros de agua al día, el sistema está diseñado de tal manera que requiera la mínima intervención del ser humano, para así prestar atención a otras actividades que forman parte del quehacer diario.

El equipo posee la facilidad de traslado por medio del desmontaje de sus partes, tanto la bandeja de cerámica como la cubierta de vidrio se pueden desinstalar del sistema.

Datos técnicos

Fabricado con:

- Vidrio simple de 5 mm de espesor, 2 placas de 2.17m X 0.31 m
- Hierro dulce cubierto con esmalte anticorrosivo
- Area de bandeja (evaporador) 1.80 m²

Parámetros	Especificaciones
Altura de Equipo	1 m de altura
Altura de cubierta de vidrio	0.30 m
Área de placa de vidrio	2.17 m X 0.31 m
Área de triangulo de vidrio	0.98m X 0.31 m
Largo del equipo	2.17 m
Peso de cubierta de vidrio	20.615 Kg
Peso de estructura base	11.08 Kg
Peso de bandeja	15.60 Kg
Peso total de equipo	47.295 Kg

Parámetros de funcionamiento

- Temperaturas máximas de condensador mayores a los 70 °C
- Temperatura de evaporador de agua arriba de los 75°C
- La temperatura de cuerpo de agua puede oscilar entre los 50°C a 78°C , incluso mayores

Volumen adicionado

- 15 L de agua de grifo adicionados diariamente para obtener en promedio 1.84 L diarios

Calidad de agua obtenida

PARAMETRO DE CALIDAD	Agua de grifo	Agua destilada obtenida	Norma* Tipo III
Bacterias, $\left[\frac{UFC}{mL}\right]$	---	---	NA
pH	6.62	6.33	5-8
Resistividad, $\left[\frac{M\Omega}{cm}\right]$ a 25°C	0.0019	0.068	0.11
Conductividad, $\left[\frac{\mu S}{cm}\right]$ a 25°C	631.33	14.91	10
SiO ₂ , $\left[\frac{mg}{L}\right]$	34.8	0.14	<1
Sólidos totales, $\left[\frac{mg}{L}\right]$	471.67	80.33	5
Carbono Orgánico oxidable total, $\left[\frac{mg}{L}\right]$	26	23	<1

*Norma 1080: Agua de calidad para reactivo de los Métodos normalizados para el análisis de aguas potables, y residuales (Díaz de S., 1992)

Ref. Los Autores

Reglas básicas de Operación

En el diseño del equipo se tomo en cuenta la sencillez en la operación y mantenimiento, lo que permitiría que cualquier persona estuviera en capacidad de encargarse de estos aspectos.

Algunos detalles prácticos en la operación de los destiladores solares son los siguientes:

1. Nunca debe secarse la charola que funge como colector-evaporador. Cuando se seca se depositan algunas sales sobre la superficie, se calienta excesivamente el destilador y se alteran algunas de las condiciones de su superficie, que hacen que no vuelva a funcionar igual.
2. El destilador debe purgarse periódicamente. La excesiva acumulación de sales en el evaporador, aun disueltas, disminuye la tendencia del destilando a evaporarse. Esto se evita purgando el evaporador, con una frecuencia que depende de la concentración de sales en el destilando. Esta actividad puede realizarse con ayuda de la válvula inferior en la tubería de alimentación.

Requisitos de espacio para instalación de captadores solares

1. Antes de proceder a la instalación de los captadores solares se debe tomar en cuenta el espacio del que se dispone.
2. Es necesario prestar atención a la presencia de obstáculos sobre la cubierta, que puedan proyectar sombras sobre el equipo; para ello será necesario situarlo a una distancia suficiente del obstáculo.
3. También influye en el rendimiento del destilador, la inclinación de montaje del mismo, siendo la posición de montaje óptima aquella en la que los rayos del sol inciden perpendicularmente sobre la superficie del captador.
Dado que la posición del sol depende de la época del año y de la altitud del lugar donde se encuentra la instalación.

Puesta en marcha y mantenimiento de la instalación

Para que la instalación funcione correctamente y para alargar la vida de todos los elementos que la componen es conveniente seguir las pautas de puesta en marcha y mantenimiento del equipo.

1. Abrir la válvula de llenado de la instalación, para llenarla con agua de la red de agua potable, para limpiar el sistema de posibles impurezas y proceder a comprobar las posibles fugas que pudiera presentar.
2. Una vez realizadas las comprobaciones pertinentes, se procederá a llenar el circuito. Ésta operación se realizará en horas de baja radiación solar.

Hay que tener en cuenta que cada uno de los componentes del destilador solar operan bajo condiciones climáticas muy duras caracterizadas por altos niveles de radiación solar, fluctuaciones de temperaturas considerables (del día a la noche) y a la acción corrosiva del entorno.

Las operaciones de mantenimiento preventivo tienen como objetivo comprobar que los componentes de la instalación se mantienen en buen estado y continúan funcionando correctamente.

- Purgar el circuito.
- Comprobar la presión de la instalación y reponer si es necesario.
- Comprobar el estado y funcionamiento de las válvulas.
- Verificar que no hay fugas o defectos de aislamiento.
- Limpiar superficies.

Las labores cotidianas a ser efectuadas se remiten principalmente:

Diariamente:

- a) Inspección visual, verificando que su nivel de agua sea el correcto para lo cual debe asegurarse que estén abiertas las válvulas de agua.
Verificar la presencia de fugas del destilado, ya sea por obstrucción de canaletas o por desprendimiento de materiales internos.
- b) Evítese que los destiladores queden secos o con muy bajo nivel de agua. Esto produce problemas como el aumento en las incrustaciones de sal (difíciles de remover) y el sobrecalentamiento del vidrio, que reduce la condensación de vapor y además lo hace quebradizo y peligroso de manipular

Mensual

- a) Limpieza completa del destilador, para la limpieza de los vidrios se recomienda el uso de agua destilada, en una cantidad muy pequeña, suficiente para humedecer un paño suave. No se recomienda el uso de agua salobre puesto que tendería a empañarlo. Generalmente solo se requiere limpiar superficie externa.
- b) Evitar contaminación del depósito de recolección, por restos de jabón, agua no destilada que puedan fluir al recipiente de recolección.

- c) Verificar el estado de las gomas de sellado de los destiladores. En caso de rotura se producen fugas de vapor, por lo cual debe repararse rápidamente. Para solventar fuga aplíquese silicón a la zona dañada de la goma con pistola de aplicación.
- d) Verificar el estado en que se encuentra en el depósito de recolección. Inspeccionar el estado en que se encuentra el depósito, si presenta algún tipo de suciedad que indique un mal cerramiento de la tapa.
- e) De hallarse corrosión, lijar la zona afectada y aplicar esmalte en base aceite.

GLOSARIO DE TERMINOS

A

Albedo: Relación entre la luz reflejada por un objeto y la luz recibida por éste.

Altura Solar: Es el ángulo que forman los rayos solares sobre la superficie horizontal.

Azimut Solar: Es el ángulo de giro del sol medio sobre el plano horizontal mediante la proyección del rayo sobre dicho plano y tomando como origen el sur.

Ángulo de incidencia: el ángulo de la radiación directa sobre la superficie y la normal a la superficie

Ángulo horario: el desplazamiento angular del sol hacia el este o el oeste del meridiano local, debido al movimiento de rotación de la tierra alrededor del eje

C

Conducción: Es la forma que transmite el calor en cuerpos sólidos, se calienta un cuerpo, las moléculas que reciben directamente el calor

aumenta su vibración y chocan con las que rodean; estas a su vez hacen lo mismo con sus vecinas hasta que todas las moléculas del cuerpo se agitan

Constante solar (Gsc): Es el flujo de energía proveniente del Sol, que incide sobre una superficie perpendicular a la dirección de propagación de la radiación solar, ubicada a la distancia media de la Tierra al Sol, fuera de toda atmósfera.

Convección: Es el flujo de calor mediante corrientes dentro de un fluido (líquido o gaseoso). La convección es el desplazamiento de masas de algún líquido o gas.

D

Declinación: al ángulo que forma el astro con el ecuador celeste (proyección del ecuador terrestre en el espacio).

Destilador Solar: Un destilador solar es un dispositivo, que usa la energía del sol para purificar el agua.

Eliminando microorganismos, sales, bacterias, e impurezas del agua, etc.

Emitancia es la densidad de flujo radiante emitido por una superficie

Energía solar Fotovoltaica: Es la energía solar aprovechada por medio de celdas fotoeléctricas, capaces de convertir la luz en un potencial eléctrico, sin pasar por un efecto térmico.

Energía solar térmica: la energía solar cuyo aprovechamiento se logra por medio del calentamiento de algún medio.

H

Humedad relativa: Relación entre el vapor de agua que contiene el aire y la cantidad máxima que puede tener el aire saturado a la misma temperatura.

I

Inclinación: Ángulo que forma el panel fotovoltaico con una superficie perfectamente horizontal o a nivel.

Irradiancia difusa: componente del flujo radiactivo solar que incide sobre una superficie unidad, cuya dirección

de propagación ha sido modificada por dispersión en la atmósfera.

Irradiancia directa: componente del flujo radiactivo solar que incide sobre una superficie unidad y que no ha sido dispersada por la atmósfera.

L

Latitud es la distancia que hay desde un punto de la superficie terrestre al ecuador, contada por los grados de su meridiano.

N

Nubosidad: Presencia de nubes en la atmosfera.

O

Orografía: Parte de la geografía física que describe el relieve.

P

Piranómetro:(también llamado **solarímetro** y **actinómetro**) es un instrumento meteorológico utilizado para medir de manera muy precisa la radiación solar incidente sobre la superficie de la tierra. Se trata de un sensor diseñado para medir la

densidad del flujo de radiación solar (vatios por metro cuadrado) en un campo de 180 grados.

R

Radiación: Es la transferencia de calor por medio de ondas electromagnéticas. No se requiere de un medio para su propagación.

Radiación Solar: Cantidad de energía procedente del sol que se recibe en una superficie y tiempo determinados.

Radiación solar extraterrestre: La radiación solar extraterrestre se define como la cantidad de energía recibida en la parte exterior de la atmósfera, por unidad de superficie.

Resistencia Térmica: Inverso de la conductancia térmica, es decir, diferencia de temperaturas necesaria para que se produzca un traspaso de calor por unidad de tiempo a través de un material.

T

Transmitancia: es una magnitud que expresa la cantidad de energía que atraviesa un cuerpo en la unidad de tiempo (potencia).

Temperatura de Rocío: Temperatura a la cual el vapor de agua comienza a condensarse en el ambiente. También llamada punto de rocío.

S

Sol: fuente de vida y calor, es además un excelente proveedor de energía y está en la base de todas las energías renovables, ya que el calor que genera es el responsable de las diferencias de presión que originan los vientos y el desencadenante del ciclo del agua por evaporación, al mismo tiempo que su luz es el factor principal del proceso de fotosíntesis originando los procesos de generación de biomasa.

Solsticio: Época en que el sol se halla en uno de los dos trópicos, lo cual sucede del 21 al 22 de junio para el de Cáncer, y del 21 al 22 de diciembre para el de Capricornio

REFERENCIAS

- **Libros**

- 1 Baños Serrano, "Diseño, construcción y pruebas de un sistema experimental de generación de vapor a baja presión utilizando energía solar" Tesis UES, ES 1994.
- 2 Buenaventura Mejía, Daniel "Diseño y construcción de un sistema de desmineralización de Agua par los de los laboratorios de la Escuela de Ingeniería Química de la UES". Tesis UES, ES 1994
- 3 Chavarría Sosa, julio Francisco "Colección y destilación de agua por medios solares" Tesis UCA, ES 1994.
- 4 Czysz, W, American Society for Testing and Materials, Manual de Aguas para usos industriales, LIMUSA S.A, 1976.
- 5 Díaz de Santos., (1992), "Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales", 17° edición, Madrid, España.
- 6 Ferreiro Rusconi, Carlos Eduardo Salvador. "Diseño de construcción de un destilador solar" Tesis UCA, ES 1997.
- 7 Gutiérrez Pulido, Humberto., (2008), "Análisis y diseño de experimentos", 2° edición, México DF, México Hermosillo Villalobos, Juan Jorge, Notas sobre el curso de Energía Solar, Primera Edición, Febrero de 1995
- 8 J. Duffie, W. Beckman; "Solar Energy Thermal Processes", editorial Wiley, 1974.
- 9 Jenkins, David, Química del Agua, Primera Edición, LIMUSA S.A, México, 1997
- 10 Krick, Edward V, Introducción a la Ingeniería y al Diseño en la Ingeniería, Segunda Edición, LIMUSA S.A, México, 1985
- 11 Lorenzana Cáceres, José Javier "Diseño y construcción de un pasteurizador solar a escala Planta Piloto para desinfección de agua" Tesis UES, ES 2006.
- 12 McCORMAC, Jack C. Diseño de Estructuras Metálicas. México: RSI, 1975. 789p.

- 13 Pereira de Ruiz Ana Isabel, CUADERNO DE CATEDRA DE MICROBIOLOGIA GENERAL Universidad de El salvador, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela de Ingeniería Química, Depto. De Ciencia y Tecnología de Alimentos
- 14 Puppo, Ernesto, Sol y diseño Índice térmico relativo. Editorial alfa omega Mexico,1999
- 15 Rico, José; Cruz de Andrés García, María, Energía Solar, Edit. EUDEMA S.A., Primera Edición, 1988.
- 16 Rodríguez Leiva, Roberto Rafael, Diseño y construcción de un destilador solar de aguas residuales para el laboratorio de energías renovables- DECEM, Ecuador, 2008
- 17 Seminario -Taller Aplicaciones de celdas fotovoltaicas Universidad de El Salvador , Abril 1985

- **Sitios web consultados**

- 1 INFOAGRO (2010)

www.infoagro.com/instrumentos_medida/doc_conductividad_electrica.asp?k=53 “Conductividad Eléctrica CE”, Fecha de consulta: 16 de Noviembre de 2010

- 2 Cumbre de Johannesburgo (2002).

www.un.org/spanish/conferences/wssd/desarrollo.htm

“¿Qué es el desarrollo sostenible?”. Fecha de consulta: 5 de Noviembre de 2010.

- 3 SITIOSOLAR,

<http://www.sitiosolar.com/los%20destiladores%20solares.htm#destiladores%20solares>, “Los Destiladores solares”, Fecha de consulta: 17 de noviembre de 2010.

- 4 Escuela de Ingenierías Industriales UVA

<http://www.eis.uva.es/~macromol/curso0405/pmma/documentacion/propiedades.htm>, Propiedades de macromoléculas, Fecha de consulta: 8 de Noviembre de 2010

- 5 LENNTECH

<http://www.lenntech.es/periodica/elementos/cu.htm#ixzz15qFT81eb> “Cobre”. Fecha de consulta: 12 de Noviembre de 2010.

- 6 LENNTECH

<http://www.lenntech.es/periodica/elementos/al.htm#ixzz15qIPIMAG> “Aluminio”. Fecha de consulta: 12 de Noviembre de 2010.

- 7 NUÑEZ, 2007

<http://www.cenunez.com.ar/.../Las%20aguas%20usadas%20en%20el%20laboratorio.pdf> “Las aguas utilizadas en el laboratorio” fecha de consulta 3 abril 2011

- 8 Plasticbages Industrial, S.L.

<http://www.plasticbages.com/caracteristicaspvc.html> “Características técnicas del PVC”. Fecha de consulta: 10 de Noviembre de 2010.

9 Infoagro Systems

http://www.infoagro.com/instrumentos_medida/doc_conductividad_electrica.asp?k=53

“Conductividad eléctrica”. Fecha de consulta: 04 Marzo 2011

10 .WIKIPEDIA, 2010

http://es.wikipedia.org/wiki/Agua_destilada “agua destilada”. Fecha de consulta 3 abril 2011.

11. Glosario de términos de energía solar

http://www.bp.com/liveassets/bp_internet/solar/bp_solar_spain/STAGING/local_assets/downloads_pdfs/g/Glosario_Terminos_es.pdf

12. Blog del Petróleo. Glosario de la energía solar. 31 Agosto 2009

<http://www.blogdelpetroleo.es/energia-y-desarrollo-sostenible/glosario-de-la-energia-solar>

13. Energía solar: Definiciones y conceptos (2009)

<http://www.articuloz.com/ciencia-articulos/energia-solar-definiciones-y-conceptos-i-661922.html>