

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

**CARRERA DE
INGENIERÍA MECÁNICA**

**TESIS PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO
MECÁNICO**

TEMA:

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN DESTILADOR SOLAR PARA AGUA
DE UNA CAPACIDAD DE 200 ML/DIA PARA LOS LABORATORIOS DEL
CIVABI**

AUTOR:

BAYRON ROBERTO TABUADA MIRANDA

**DIRECTOR:
ING. SALVATORE REINA**

Quito, Marzo del 2015

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo, previo a la obtención del título de Ingeniero Mecánico ha sido realizado en su totalidad por el señor: Bayron Roberto Tabuada Miranda

Los conceptos desarrollados, cálculos, análisis, realizados y las conclusiones del presente trabajo son de exclusiva responsabilidad del autor.

Atentamente:

Ingeniero Salvatore Reina

DIRECTOR DE TESIS

DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD Y AUTORIZACIÓN

Yo, Bayron Roberto Tabuada Miranda autorizo a la Universidad Politécnica Salesiana la publicación total o parcial de este trabajo de titulación y su reproducción sin fines de lucro.

Además, declaro que los conceptos y análisis desarrollados y las conclusiones del presente trabajo son de exclusiva responsabilidad del autor.

Quito, marzo 2015

Bayron Roberto Tabuada Miranda

1720078706

DEDICATORIA

Esta tesis se la dedico a Dios quien supo guiarme por el buen camino, darme fuerzas para seguir adelante y no desmayar en los problemas que se presentaban, enseñándome a encarar las adversidades si per der nunca la fe ni desfallecer en el intento.

A mi familia quienes por ellos soy lo que soy. Para mis padres por su apoyo, consejos, comprensión, amor, ayuda en los momentos difíciles, y por colaborarme con los recursos necesarios para estudiar.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a la Universidad Politécnica Salesiana, a los docentes que impartieron sus enseñanzas a lo largo de la vida universitaria, y supieron guiarme para entender de una mejor manera los distintos temas que se trataron.

Al Ing. William Quitiaquez por su inmejorable colaboración y paciencia en el desarrollo de la investigación.

Al Ing. Salvatore Reina por su guía en la investigación y ejecución de la tesis, ya que sin su conocimiento y experiencia se hubiera podido finalizar el proyecto.

RESUMEN DOCUMENTAL

Este proyecto se lo realiza por la necesidad de implementar un nuevo proceso para la obtención de agua destilada, con la finalidad de utilizar energía solar y obtener datos útiles para el desarrollo de la este tipo de energía en el país.

Iniciaremos con el estudio de generalidades referentes a la obtención de agua destilada, tipos de agua destilada y los diferentes tipos de destilador haciendo mayor énfasis en el destilador tipo caseta, conforme se avanza en el desarrollo de la tesis se explicará detalladamente el funcionamiento de cada uno de los elementos constituyentes del destilador.

Para el diseño del destilador solar se utilizar el libro SOLAR ENGINEERING OF THERMAL PROCESSES de los autores John A. Duffie y William A. Beckman en el cual se encuentra un estudio completo y detallado de los distintos parámetros que intervienen en la construcción del destilador solar, además en el proceso de diseño se aplicara los conocimientos termodinámicos y de transferencia de calor obtenidos en los años de estudio en la universidad.

De acuerdo con los cálculos obtenidos se realizará la selección de materiales más óptimos para la construcción del destilador haciendo especial énfasis en los espesores de los aislantes para mantener el calor en el interior del destilador.

Una vez construida la máquina se procederá a realizar pruebas de funcionamiento en la ciudad de Quito para comprobar los niveles de eficiencia y la cantidad de agua destilada que proporciona el destilador

ABSTRACT

This project is done from the need to implement a new process for producing distilled water, in order to use solar energy and get useful data for the development of this type of energy in the country.

It will begin with the study of generalities concerning the production of distilled water, types of distilled water and different types of distiller placing greater emphasis on the type booth distiller, as described progress in the development of the thesis will explain in detail the operation of each of the constituent elements of the distiller.

To design the solar still is using the SOLAR THERMAL PROCESSES OF ENGINEERING book authors John A. Duffie and William A. Beckman in which there is a comprehensive study of the various parameters involved in the construction of solar still, also in the process designed thermodynamic and heat transfer obtained in the years of study at university knowledge is applied.

According to the estimates obtained selecting optimum materials for the construction of the distiller with special emphasis on the thicknesses of insulation to keep heat inside the distiller was made.

Once the machine shall be constructed to test the functioning in the city of Quito to check the levels of efficiency and amount of distilled water provided by the distiller.

ÍNDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN	1
Título de tesis	2
CAPÍTULO I	2
1.1 Problema.....	2
1.2 Justificación del problema.....	2
1.3 Objetivos	3
1.3.1 General	3
1.3.2 Específicos	3
1.4 Hipótesis.....	3
CAPÍTULO II	4
2 Marco teórico	4
2.1 El agua	4
2.1.2 Clasificación de los tipos de agua según ASTM 1193: 2001.....	5
2.1.3 Tratamiento de agua para obtener agua de tipo III	5
2.2 Destilación solar	6
2.2.1 Tipos de destiladores solares.....	6
2.2.2 Destilador solar de dos vertientes (tipo caseta).....	6
2.2.3 Funcionamiento de un destilador solar tipo caseta	7
2.3 El sol.....	8
2.3.1 Constante solar G_{sc}	9
2.3.2 Distribución espectral de la radiación extraterrestre	9
2.4 Definición de parámetros	10
2.4.1 Ángulo cenital solar (θ_s)	10
2.4.2 Ángulo acimutal del sol (β_s)	10
2.4.3 Declinación solar (δ).....	11
2.4.4 Ángulo horario (τ).....	12
2.4.5 La latitud (λ)	12
2.4.6 La longitud del lugar (L).....	12
2.4.7 Radiación.....	13
2.4.8 Irradiación directa	13
2.4.9 Irradiación difusa	13
2.4.10 Heliofanía.....	14

2.5	Declinación.....	14
2.6	Ángulo horario	15
2.7	Horas teóricas de sol.....	15
2.8	Radiación extraterrestre sobre una superficie horizontal	16
2.9	Número de horas de luz solar real	16
2.10	Radiación diaria promedio mensual	17
2.11	Índice de claridad	17
2.12	Transferencia de calor y masa	18
2.12.1	Calor perdido por conducción (q_c)	18
2.12.2	Coefficiente de transferencia de calor convectivo (h_{ct})	19
2.12.3	Calor perdido por radiación del vidrio (q_{rv})	20
2.13	Temperatura del cielo	21
2.13.1	Calor perdido por convección del vidrio (q_{cv})	21
2.13.2	Calor perdido por radiación del agua (q_{rw}).....	22
2.13.3	Calor perdido por convección natural (q_{cw}).....	23
2.13.4	Calor perdido por evaporación.....	24
2.14	Balance global y eficiencia.....	25
2.14.1	Balance de calor sobre el agua.....	26
2.14.2	Cálculo de calor absorbido por el sistema.....	27
2.14.3	Cantidad de calor necesario para calentar y evaporar	28
2.15	Eficiencia de un destilador solar	29
2.15.1	Eficiencia del destilador solar teórica:	29
2.16	Flujos de energía, exergia e irreversibilidades	30
2.17	Características de los materiales utilizados	32
2.18	Espesor del vidrio	33
2.19	Conclusiones del capítulo.....	33
CAPÍTULO III		34
3	Diseño y construcción de un destilador solar.....	34
3.1	Cálculo de la declinación	35
3.2	Ángulo del ocaso	35
3.3	Número de horas teóricas de sol N.....	36
3.4	Irradiación diaria solar promedio extraterrestre sobre una superficie horizontal.....	36
3.5	Irradiación diaria solar promedio terrestre sobre una superficie horizontal.....	37

3.6	Irradiación diaria solar difusa promedio (Hd).....	37
3.7	Diseño térmico	40
3.7.1	Cálculo de calor perdido por conducción.....	40
3.7.2	Cálculo del calor perdido por radiación del vidrio.....	43
3.7.3	Calor perdido por convección del vidrio:.....	44
3.7.4	Calor perdido por radiación del agua	45
3.7.5	Cálculo del calor perdido por convección natural.....	45
3.7.6	Cálculo del calor perdido por evaporación	47
3.7.7	Cálculo de calor almacenado por la cubierta	48
3.7.8	Cálculo del calor absorbido por el agua.....	49
3.7.9	Cálculo de calor absorbido por el sistema.....	50
3.7.10	Cantidad de calor necesaria para calentar y evaporar Q	50
3.7.11	Calor necesario para calentar el agua.....	51
3.7.12	Calor necesario para evaporar x porcentaje de agua	52
3.8	Cálculo de la capacidad volumétrica.....	54
3.9	Cálculo de la eficiencia termica de un destilador solar.....	55
3.10	Cálculo de la estructura.....	56
3.11	Conclusiones del capitulo	57
CAPÍTULO IV		58
4	Proceso de construcción	58
4.1	Corte y soldadura de la estructura inferior	58
4.2	Corte y soldadura del marco inferior	58
4.3	Ensamble de la estructura inferior del destilador solar	59
4.4	Construcción de bandeja exterior.....	59
4.5	Construcción de bandeja colectora.....	60
4.6	Estructura superior para alojamiento del vidrio.....	60
4.7	Montaje de la lana de vidrio.....	60
4.8	Ensamble del destilador solar tipo caseta.....	61
4.10	Construcción del destilador solar tipo caseta.....	62
4.11	Funcionamiento del destilador solar.....	64
4.12	Instrucciones de funcionamiento.....	68
4.13	Mantenimiento del equipo.....	69
4.14	Análisis económico	70

4.14.1	Métodos financieros de valoración de inversiones	70
4.14.2	V.A.N (Valor Neto Contable).....	70
4.14.3	T.I.R. (Tasa Interna de Rentabilidad).....	70
4.15	Conclusiones del capítulo.....	71
CAPÍTULO V		72
5	Protocolo de pruebas	71
5.1	Pruebas de funcionamiento	71
5.2	Conclusiones	74
5.3	Recomendaciones	75
5.4	Lista de Referencias	76

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. El agua	4
Figura 2.2. Destilador solar tipo caseta	7
Figura 2.3. Funcionamiento del destilador	8
Figura 2.4. Constante solar	8
Figura 2.5. Curva standard de la radiación solar extraterrestre	10
Figura 2.6. Ángulos de inclinación solar	11
Figura 2.7. Declinación solar	12
Figura 2.8. Ángulos solares de elevación	13
Figura 2.9. Materiales y transferencia de calor	19
Figura 2.10. Coeficiente convectivo de transferencia de calor	20
Figura 2.11. Temperatura de la superficie	23
Figura 2.12. Balance de energía entre el vidrio y el ambiente	25
Figura 2.13. Balance de energía en el interior del destilador	26
Figura 4.1. Estructura inferior	57
Figura 4.2. Marco inferior	57
Figura 4.3. Ensamble del marco inferior	58
Figura 4.4. Bandeja exterior de tool	58
Figura 4.5. Bandeja colectora	59
Figura 4.6. Estructura para el vidrio	59
Figura 4.7. Montaje de la lana de vidrio	59
Figura 4.8. Montaje de la lana de vidrio vista frontal	60
Figura 4.9. Ensamble del destilador solar tipo caseta	60
Figura 4.10. Ensamble del destilador parte inferior	61
Figura 4.11. Ensamble de la bandeja con los canales	61
Figura 4.12. Ensamble de la lana de vidrio	62
Figura 4.13. Ensamble entre la estructura inferior y la superior	62
Figura 4.14. Destilador tipo caseta	63
Figura 4.15. Destilador tipo caseta en funcionamiento	63
Figura 4.16. Destilador tipo caseta en funcionamiento con agua	64
Figura 4.17. Termómetros instalados en el destilador	64

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Declinación solar mensual	15
Tabla 2.2. Heliofania promedio mensual de los últimos 5 años	16
Tabla 2.3. Constantes climáticas	17
Tabla 2.4. Selección de materiales	31
Tabla 2.5. Espesor del vidrio	32
Tabla 3.1. Parámetros iniciales de diseño	33
Tabla 3.2. Día representativo de cada mes	34
Tabla 3.3. Heliofania mensual y promedio diario	36
Tabla 3.4. Radiación mensual	37
Tabla 3.5. Radiación directa y difusa mensual	38
Tabla 3.6. Parámetros para el balance térmico	39
Tabla 3.7. Espesor del aislamiento en función de la conductividad térmica	43

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1 Velocidad del viento	77
ANEXO 2 Temperatura media anual	78
ANEXO 3 Humedad relativa anual	79
ANEXO 4 Heliofania anual	80
ANEXO 5 Constantes climaticas	81
ANEXO 6 Coeficientes de conductividad termica	82
ANEXO 7 Espesores de materiales.....	83
ANEXO 8 Tabla termodinamica.....	84

INTRODUCCIÓN

El uso de la energía solar en la actualidad no está muy difundido debido a la poca o nula información que existe en el país por la falta de equipos apropiados para la recolección de datos exactos a nivel nacional.

En la presente investigación se conocerá y desarrollará los diferentes términos inherentes al estudio y desarrollo de la energía solar y como aplicarla para la obtención de agua destilada para uso en laboratorios reemplazando así la energía eléctrica y colaborando con el cuidado del medio ambiente.

Al aplicar los conocimientos termodinámicos y de transferencia de calor los cuales ayudarán a comprender de una mejor manera los fenómenos y problemas que ocurrirán en el desarrollo de la investigación, se realizará el diseño y su posterior construcción del destilador

Título de tesis

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN DESTILADOR SOLAR PARA AGUA DE UNA CAPACIDAD DE 200 $\frac{ml}{día}$ PARA LOS LABORATORIOS DEL CIVABI

CAPÍTULO I

En la búsqueda de mejorar el medio ambiente utilizando energías alternativas como la solar se realizará el estudio de los diferentes factores que intervienen en la incidencia de la energía solar el planeta y de qué manera se la puede obtener mejores rendimientos.

1.1 Problema

Actualmente la Carrera de Biotecnología de la Universidad Politécnica Salesiana obtiene agua destilada por medio de procesos de ósmosis el cual utiliza energía eléctrica esto ocasiona un gran impacto financiero a más de utilizar una fuente de energía no renovable.

1.2 Justificación del problema

Los laboratorios del Centro de Investigación y Valoración de la Biodiversidad (CIVABI) en su afán por mejorar y su directiva consiente de esto ha tomado la acertada decisión de cambiar el uso de una energía no renovable como lo es la energía eléctrica por una energía renovable como la energía solar en su proceso para la obtención de agua destilada.

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

1.3 Objetivos

1.3.1 General

Diseñar y construir un destilador de agua de $200 \frac{ml}{dia}$ utilizando energía solar para la realización de prácticas de laboratorio.

1.3.2 Específicos

- Indagar y analizar las condiciones óptimas para el funcionamiento de un destilador solar de 2 vertientes.
- Determinar el porcentaje de la radiación solar que captaría el destilador.
- Evaluar la eficiencia del destilador solar y la calidad del agua destilada que produce.
- Diseñar el destilador solar considerando las características del lugar de funcionamiento.

1.4 Hipótesis

Con el diseño y construcción de un destilador solar de dos vertientes se reducirá en el consumo de energía eléctrica que actualmente utilizan los laboratorios del CIVABI para la obtención de agua destilada por una energía más limpia, este destilador tendrá una capacidad de $200 \frac{ml}{dia}$, utilizando un 50% de la energía proveniente del sol con un promedio de producción de cuatro horas diarias con lo cual se podrá cumplir con la demanda de agua destilada para la realización de prácticas de laboratorio en esta entidad.

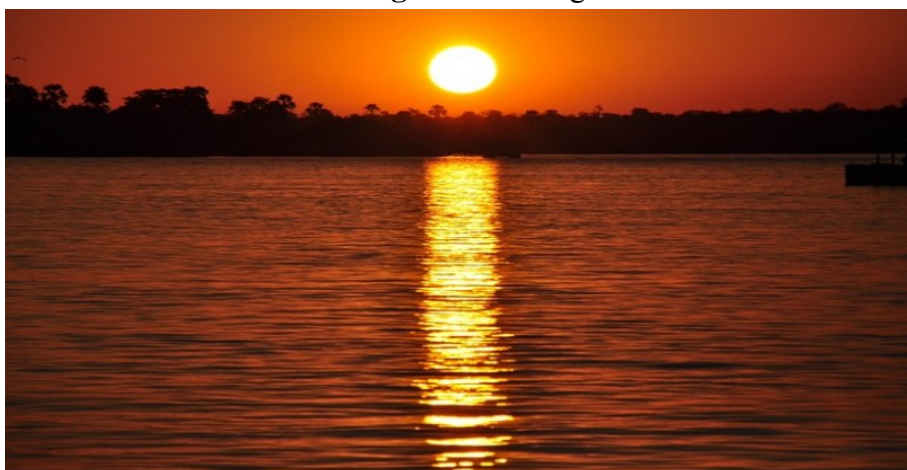
CAPÍTULO II

El agua es uno de los elementos más abundantes en el planeta pero solo un pequeño porcentaje de esta es para consumo humano, se utiliza para todas las actividades que se desarrollan en el mundo es por esta razón que es también de los elementos de la naturaleza más contaminados. Una de las formas de recuperar el agua es por medio de la destilación este proceso ocurre de manera natural por medio del ciclo del agua, en esta investigación se busca reproducir este ciclo tomando en cuenta las distintas variables que intervienen en el mismo como la cantidad de radiación que se puede aprovechar en las distintas épocas del año, incentivando así el uso de la energía solar.

2 Marco teórico

2.1 El agua

Figura 2.1. El agua



Fuente: (Vera, 2005)

El agua es un elemento indispensable para el desarrollo de la vida en el planeta se utiliza en casi todas las actividades humanas, también es uno de los recursos que más se contamina y debemos tener en cuenta que el porcentaje de agua dulce consumible en el planeta es pequeño y por eso la importancia de cuidarla.

A menudo los seres humanos no tomamos conciencia de la importancia del agua en nuestras vidas, el agua se regenera continuamente gracias al ciclo que esta cumple y es precisamente este principio el que se toma como modelo para el diseño y posterior construcción del destilador de agua para uso en laboratorios.

2.1.1 Agua para uso en laboratorios

En los laboratorios se requiere usar agua con mínimo de impurezas. Los requisitos de calidad o pureza se encuentran establecidos en base a diferentes normas o criterios, dependiendo de las instituciones u organismos internacionales que establecen las referencias.

Actualmente están definidos los diferentes niveles de pureza del agua en función de los parámetros físicos químicos, tales como conductividad eléctrica, resistividad, contenido de carbono, oxígeno o sílice.

2.1.2 Clasificación de los tipos de agua según ASTM 1193: 2001

- Tipo I
- Tipo II
- Tipo III
- Tipo IV

Tipo I Usada para procedimiento que requieren de máxima exactitud y precisión.

Tipo II Recomendada para la mayoría de las pruebas analíticas y generales de laboratorio

Tipo III Satisfactoria para algunas pruebas generales de laboratorio, para la mayoría de los análisis cualitativos.

Tipo IV Sirve para la preparación de soluciones y para el lavado o enjuague de cristalería.

2.1.3 Tratamiento de agua para obtener agua de tipo III

“La destilación es el método más antiguo para la purificación de agua. En la destilación, el agua se calienta hasta ebullición y el vapor se separa, se condensa y se recolecta. A pesar de que algún tipo de contaminación del agua de alimentación permanece, la destilación es popular porque la ebullición asegura la muerte de los microorganismos en estado vegetativo.” (Rodes Yanet Valdivia-Medina, 2013)

2.2 Destilación solar

El empleo de los destiladores solares supone en esencia reproducir en pequeñas escala el ciclo natural del agua. Existen muchas configuraciones de destiladores solares aunque en todos ellos operan por el mismo principio.

Los principios de la destilación solar pueden ser aplicados en distintas escalas; desde destiladores pequeños domésticos para obtener unos cuantos litros de agua al día hasta grandes instalaciones con los que obtener varios metros cúbicos diarios.

2.2.1 Tipos de destiladores solares

- Destilador solar de una vertiente
- Destilador solar de dos vertientes
- Destilador solar de invernadero
- Destilador solar de cascada
- Destilador solar esférico de barredera

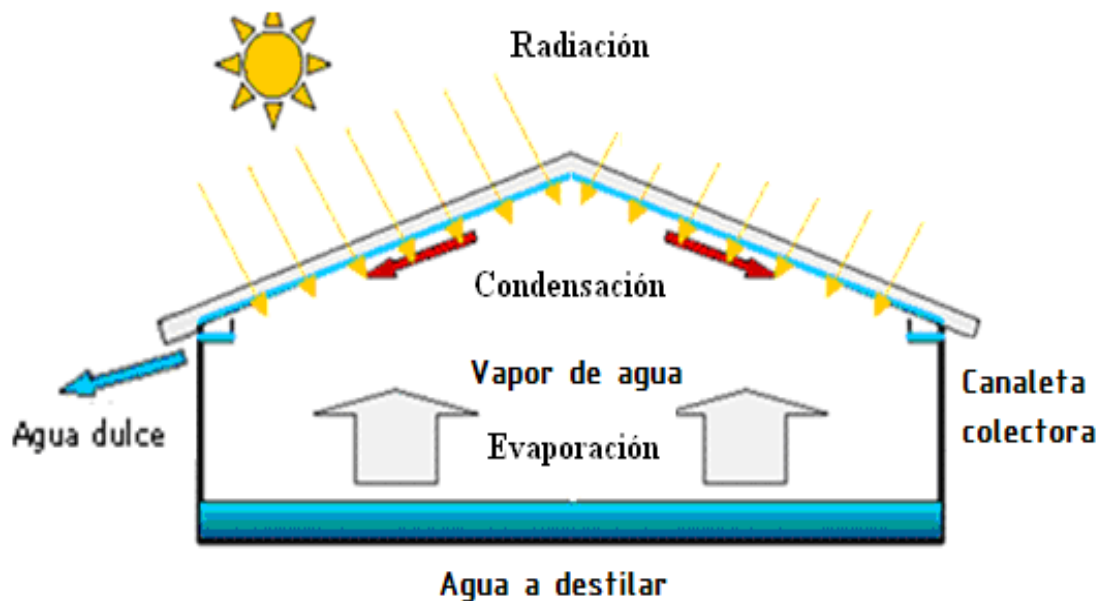
2.2.2 Destilador solar de dos vertientes (tipo caseta)

“Es el más conocido y difundido en el mundo y consiste en una caseta de material semitransparente, generalmente vidrio de 5 mm de espesor, que se coloca sobre una bandeja que contiene la mezcla de la cual se quiere obtener un destilado. Dicha bandeja es de muy poca profundidad, contiene una delgada lámina de la mezcla, y está herméticamente cerrada con vidrio transparente” (Unizar, 2003).

La destilación solar es una manera simple de destilar agua, usando el calor del Sol para generar evaporación del suelo húmedo o del aire ambiental para condensarlo en alguna superficie. Los dos tipos más básicos de destiladores solares son las cajas y las zanjas de destilación. En un destilador solar, el agua impura es contenida fuera del colector, donde es evaporada por la luz solar que brilla a través del plástico transparente. El vapor de agua pura condensa en la película de plástico y corre por su propio peso hacia el punto más bajo, donde es recogida y almacenada. El tipo caja se basa en el mismo principio, solo que usa una sección de cajón.

En la figura 2.2 se indica el proceso de destilación solar en un destilador tipo caseta, como por medio de este destilador se puede reproducir el ciclo del agua a menos escala.

Figura 2.2. Esquema de un destilador tipo caseta.



Fuente: (IDAE, 2007)

2.2.3 Funcionamiento de un destilador solar tipo caseta

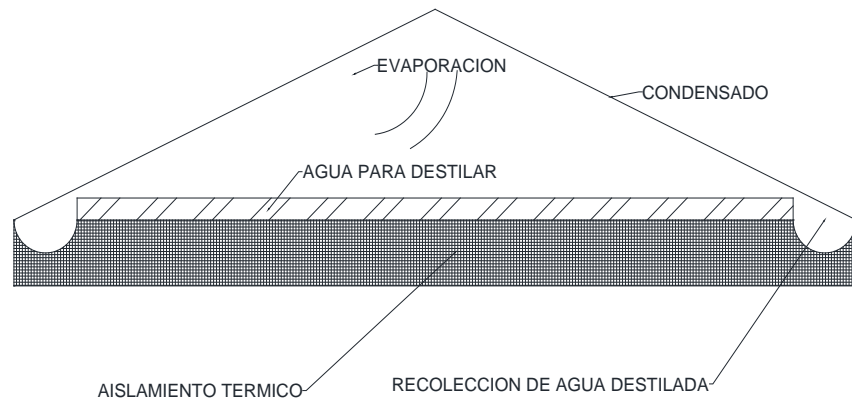
La radiación solar incide en el interior del destilador y provoca que el agua sucia eleve su temperatura, las altas temperaturas provocan la evaporación y la atmósfera en el interior del destilador se vuelve muy húmeda.

El ambiente se satura de humedad provocando que el agua evaporada se condense en contacto con el vidrio, las gotas de condensación se acumulan y empiezan a deslizarse por gravedad hacia la parte inferior del vidrio.

El depósito en la parte inferior recoge el agua limpia destilada que se ha deslizado por los vidrios desde donde será tomada para su uso.

En la figura 2.3, se puede observar el funcionamiento de un destilador solar tipo caseta y algunas de sus partes.

Figura 2.3. Funcionamiento de un destilador solar tipo caseta

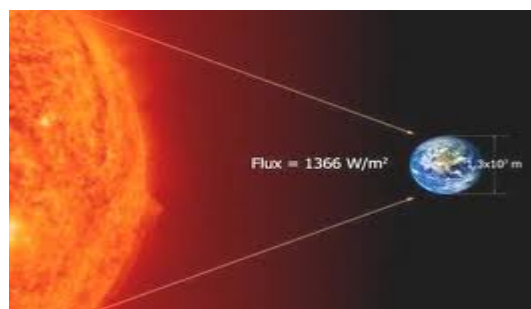


2.3 El sol

El sol es un gran reactor de difusión nuclear, constituido por diferentes gases que se encuentran retenidos en el mismo por fuerzas gravitatorias.

La radiación emitida por el sol y las relaciones espaciales con la tierra conducen el concepto de intensidad de radiación en el límite exterior de la atmosfera, su valor es prácticamente constante y se conoce como constante solar en la cual se profundizará más adelante

Figura 2. 4. El sol Constante Solar



Fuente: (IDAE, 2007)

Así, se puede considerar al Sol como un cuerpo negro que irradia energía a la temperatura de 5 762 K, ya que la distribución de energía para cada longitud de onda aprovechable por los procesos térmicos y foto térmicos, es básicamente la misma que la de dicho cuerpo negro. Para otros procesos que dependen de la longitud de onda y

en los que, la distribución espectral es un factor importante, por ejemplo en los procesos fotovoltaicos o fotoquímicos, pueden resultar necesarias consideraciones más detalladas.

2.3.1 Constante solar G_{sc}

La constante solar G_{sc} es la energía del sol por unidad de tiempo recibida en una unidad de área de superficie perpendicular a la dirección de propagación de la radiación a distancia media tierra-Sol fuera de la atmósfera.

A continuación se indicará el valor de la constante solar en distintos sistemas de medida.

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

$$G_{sc} = 433 \frac{BTU}{ft^2h}$$

$$G_{sc} = 4.92 \frac{MJ}{m^2h}$$

El valor de la constante solar que se utilizará en la presente investigación será el de

$$G_{sc} = 1367 \frac{W}{m^2} \text{ (Beckman, 2013)}$$

2.3.2 Distribución espectral de la radiación extraterrestre

La energía en forma de radiación electromagnética, resultado de las reacciones de fusión que tienen lugar en él, fundamentalmente en el núcleo, debe ser transferida a la superficie exterior para, desde allí, ser radiada al espacio; en este proceso de transferencia aparecen fenómenos convectivos y radiativos, así como sucesivas capas de gases, dando lugar a un espectro de emisión continuo

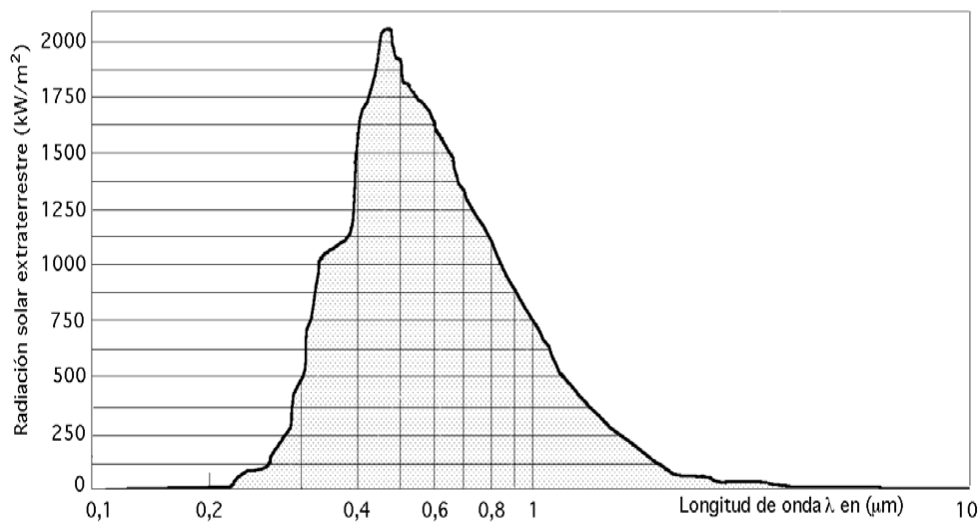
La Tierra, en su movimiento alrededor del sol, describe una órbita elíptica, de escasa excentricidad, de forma que la distancia entre el sol y la tierra varía aproximadamente un $\pm 3 \%$.

Además de la energía total en el espectro solar, es útil conocer la distribución espectral de la radiación extraterrestre, es decir, la radiación que se recibiría en ausencia de la atmósfera.

Resulta importante conocer la distribución espectral de la radiación solar, ya que la interacción de la misma con los distintos medios materiales va a ser función de la longitud de onda de la radiación incidente.

En la Figura 2.5, se puede observar el espectro de la radiación extraterrestre correspondiente a la distribución de energía que llegaría a la tierra en ausencia de atmósfera.

Figura 2.5. Curva standard de la radiación solar extraterrestre



Fuente: (Hermosillo, 1995)

2.4 Definición de parámetros

Para calcular la radiación solar incidente sobre una superficie que posee una determinada inclinación y orientación, es necesario definir algunos términos

2.4.1 Ángulo cenital solar (θ_s)

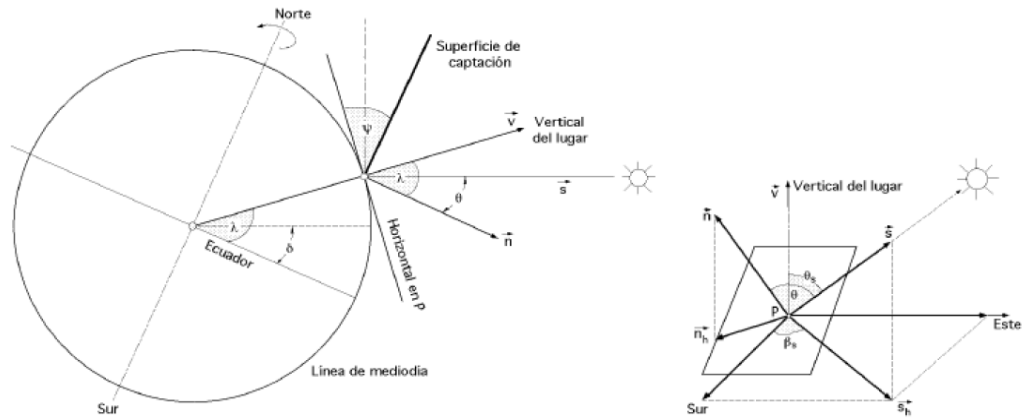
Es el que forma la radiación directa del Sol y la vertical del lugar, en un punto cualquiera de la tierra. Este ángulo varía continuamente a lo largo del día y depende también de la latitud del lugar y de la declinación.

2.4.2 Ángulo acimutal del sol (β_s)

Es el que forma la componente horizontal de la radiación solar directa, con la dirección Norte-Sur, en el hemisferio norte. Se mide sobre el plano horizontal que pase por el lugar.

En la figura 2.6, se indican los ángulos que forma el sol con respecto a una superficie inclinada que en este caso es el vidrio.

Figura 2.6. Ángulos de inclinación solar

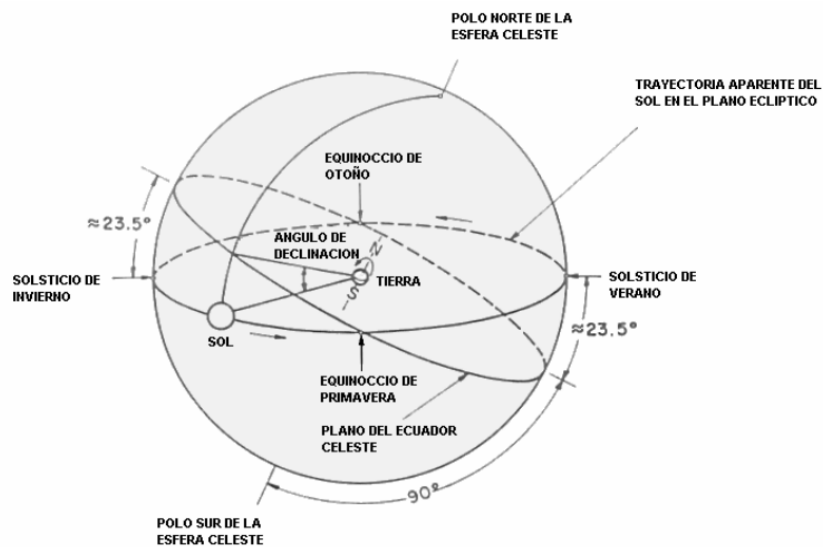


Fuente: (Beckman, 2013)

2.4.3 Declinación solar (δ)

Es la posición angular del sol al mediodía solar, respecto al plano del Ecuador terrestre, el valor de este ángulo se suele tomar cada día al mediodía. Esto es debido a que el eje de rotación de la tierra está inclinado un ángulo de $23^{\circ}45'$ respecto al eje del plano que contiene la órbita que describe alrededor del sol y de ahí que el valor de la declinación varíe entre $\pm 23^{\circ}45'$ a lo largo del año. La declinación al norte del Ecuador se considera positiva.

Figura 2.7. Declinación solar de la tierra



Fuente: (Beckman, 2013)

2.4.4 Ángulo horario (τ)

Es el desplazamiento angular del Sol, respecto al mediodía, que es el instante en que el Sol se encuentra más alto en el cielo y se corresponde con un ángulo cenital solar mínimo, es decir, con un ángulo horario igual a 0. Cada hora es igual a 15° de longitud, tomando un valor (+) por las mañanas y (-) por las tardes.

2.4.5 La latitud (λ)

La latitud de un lugar cualquiera sobre la superficie de la Tierra, es su desplazamiento angular por encima o por debajo del Ecuador, medido desde el centro de la Tierra. Se considera positiva al Norte del Ecuador.

2.4.6 La longitud del lugar (L)

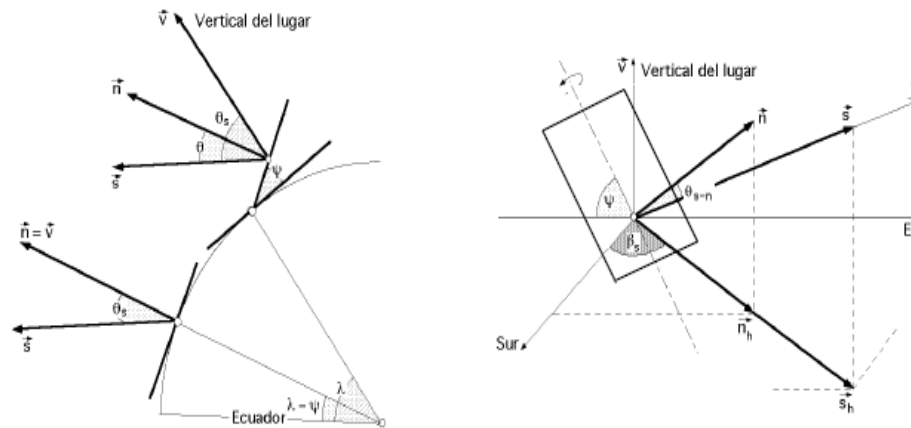
Es el ángulo que forma el semiplano que pasa por los polos en un lugar de la superficie de la Tierra y el semiplano que pasa por Greenwich. Este semiplano es un cero arbitrario y la línea que corta sobre la superficie terrestre se denomina meridiano de Greenwich. La longitud y la latitud son coordenadas que localizan un punto cualquiera sobre la superficie de la Tierra.

Otro ángulo que se debe tener en cuenta es el que forma el terreno, (o la superficie que se considere), con la horizontal del lugar y que se llamara ψ ; éste es el ángulo cenital de la superficie y, por lo tanto, el ángulo que forma la normal a la superficie con la vertical del lugar.

La altura solar o ángulo de elevación del Sol por encima del horizonte es importante por dos razones. A mayores alturas solares, la radiación recorre una distancia más corta al atravesar la atmósfera, mientras que para alturas solares más bajas, la radiación procedente del Sol es forzada a recorrer una masa de aire mucho mayor, masa de aire > 1 . Los efectos atenuantes de la masa de aire implicados reducen la radiación solar y las mayores alturas solares proporcionan más horas de luz, lo que permite mejores insolaciones.

En la figura 2.8, Se indica los ángulos solares de elevación que se utilizaran para el estudio de la incidencia de la radiación solar.

Figura 2. 8. Ángulos solares de elevación



Fuente: (Beckman, 2013)

2.4.7 Radiación

A mayor parte de la energía que llega a nuestro planeta procede del Sol. El Sol emite energía en forma de radiación electromagnética. Estas radiaciones se distinguen por sus diferentes longitudes de onda. Algunas, como las ondas de radio, llegan a tener longitudes de onda de kilómetros, mientras que las más energéticas, como los rayos X o las radiaciones gamma, tienen longitudes de onda de milésimas de nanómetro.

La radiación en el Sol es de $63.450.720 \frac{W}{m^2}$. La energía que llega al exterior de la atmósfera terrestre sobre una superficie perpendicular a los rayos solares lo hace en una cantidad fija, llamada constante solar ($1353 \frac{W}{m^2}$ según la NASA) variable durante el año un $\pm 3\%$ a causa de la elipticidad de la órbita terrestre.

2.4.8 Irradiación directa

“Es la componente del flujo radiactivo solar que incide sobre una superficie 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. ” (Vera, 2005)

2.4.9 Irradiación difusa

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

2.4.10 Heliofanía

Es el tiempo, en horas, durante el cual el sol tiene un brillo solar efectivo en el que la energía solar directa alcanza o excede un valor umbral variable entre 120 y $210 \frac{W}{m^2}$, que depende de su localización geográfica.

2.5 Declinación

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).

La declinación se calcula por medio de la ecuación 2.1

$$\delta = 23,45 \cdot \text{sen}\left(360 \frac{284+n}{365}\right) \quad (\text{Ec. 2.1})$$

Donde:

δ = Declinación solar.(°)

n = Número de día del año, desde el 1 de Enero, $1 < n < 365$

La declinación está variando continuamente en función del tiempo del año, como se muestra en la tabla 2.1, donde n es número promedio de cada mes y la declinación se obtiene con la ecuación 2.1 definida anteriormente.

Tabla 2.1. Declinación solar mensual

Mes	Día del mes	Fecha	n	Declinación
Enero	i	17	17	-20,9
Febrero	31 + i	16	47	-13
Marzo	59 + i	16	75	-2,4
Abril	90 + i	15	105	9,4
Mayo	120 + i	15	135	18,8
Junio	151 + i	11	162	23,1
Julio	181 + i	17	198	21,2
Agosto	212 + i	16	228	13,5
Septiembre	243 + i	15	258	2,2
Octubre	273 + i	15	288	-9,6
Noviembre	304 + i	14	318	-18,9
Diciembre	334 + i	10	344	-23

Fuente: (Beckman, 2013)

2.6 Ángulo horario

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.

$$\omega_s = \text{acos}[-\tan(\delta) \cdot \tan(\phi)] \quad (\text{Ec. 2.2})$$

Dónde:

$$\omega_s = \text{Ángulo horario } (^\circ)$$

$$\phi = \text{Latitud de Quito } 0^\circ 10' 0'' \text{ s (Beckman, 2013)}$$

2.7 Horas teóricas de sol

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

$$N = \frac{2}{15} \cdot \omega_s \quad (\text{Ec. 2.3})$$

Donde:

$$N = \text{Número de horas de sol teóricas}$$

$$\omega_s = \text{Ángulo horario (Beckman, 2013)}$$

2.8 Radiación extraterrestre sobre una superficie horizontal

La radiación solar extraterrestre es la radiación solar diaria que se recibe sobre una superficie horizontal situada en el límite superior de la atmósfera.

$$H_o = \frac{24 \cdot G_{SC}}{\pi} \left(1 + 0.033 \cdot \cos \frac{360 n}{365} \right) \cdot \left(\cos \phi \cdot \cos \delta \cdot \sin \omega_s + \frac{\pi \omega_s}{180} \sin \phi \cdot \sin \delta \right)$$

(Ec. 2.4)

Donde:

$$H_o = \text{Radiación extraterrestre sobre una superficie horizontal} \frac{W h}{m^2 \text{ día}}$$

$$\omega_s = \text{Ángulo horario}$$

$$G_{SC} = \text{Constante solar} = 1367 \frac{W}{m^2} \text{ (Beckman, 2013)}$$

2.9 Número de horas de luz solar real

Es el número de horas reales de sol es decir la heliofania este valor se puede obtener por medio de la tabla 2.2

Tabla 2.2 Heliofania promedio mensual de los últimos 5 años

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

Fuente: INAMHI

Las letras a y b representan las constantes empíricas de regresión cuyos valores podemos observar en la tabla 2.3

Tabla 2.3 Constantes climáticas

	a	b
SIERRA	0.23	0.56
COSTA	0.28	0.54

Fuente: INAMHI

2.10 Radiación diaria promedio mensual

Radiación diaria promedio mensual sobre superficie horizontal (H)

$$H = H_0 \cdot \left[a + b \cdot \frac{n_r}{N} \right] \quad (\text{Ec. 2.5})$$

Donde:

H = Irradiación diaria solar promedio sobre una superficie horizontal $\left(\frac{W.h}{m^2 \text{ día}} \right)$

N = Número de horas de sol teóricas

n_r = Número real de horas de sol

a y b = Constantes Angstrom de la tabla 2.3

2.11 Índice de claridad

También podemos definir un índice de claridad diaria K_T como la relación de la radiación de un día en particular a la radiación extraterrestre para ese día. Como se indica a continuación.

$$K_T = \frac{H}{H_0} \quad (\text{Ec. 2.6})$$

Irradiación diaria solar difusa promedio (H_d)

$$H_d = H \cdot (1,39 - 4,03 \cdot K_T + 5,53 \cdot K_T^2 - 3,11 \cdot K_T^3) \quad (\text{Ec. 2.7})$$

Irradiación diaria solar directa promedio (H_b)

$$H_b = H - H_d \quad (\text{Ec.2.8})$$

2.12 Transferencia de calor y masa

En el diseño de los destiladores solares se debe tomar en cuenta el análisis de los procesos de transferencia de calor y masa que son muy complejos y a continuación se explicara los procesos que intervienen.

2.12.1 Calor perdido por conducción (q_c)

Para el destilador se debió calcular el calor perdido por conducción en las paredes del destilador para esto es importante conocer qué tipo de material se utilizará en la fabricación del mismo.

$$q_c = K_b \cdot (T_w - T_a) \quad (\text{Ec. 2.9})$$

Donde:

$$q_c = \text{Calor perdido por conducción} \left(\frac{W}{m^2} \right)$$

K_b = 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 para lo cual se utilizará la ecuación 2.10

$$R_{eq} = \frac{X_1}{K_1} + \frac{X_2}{K_2} + \frac{X_3}{K_3} \quad (\text{Ec. 2.10})$$

Donde:

R_{eq} : Resistencia equivalente de los materiales $\left(\frac{m^2 K}{W} \right)$

X_1 : Espesor de acero inoxidable (m)

X_2 : Espesor de lana de vidrio (m)

X_3 : Espesor de hierro (m)

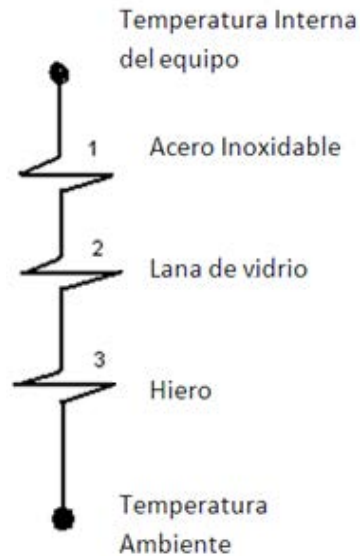
K_1 : Coeficientes de conductividad calorífica del acero inoxidable $\left(\frac{W}{m^2 K} \right)$

K_2 : Coeficientes de conductividad calorífica de la lana de vidrio $\left(\frac{W}{m^2 K} \right)$

K_3 : Coeficientes de conductividad calorífica del hierro $\left(\frac{W}{m^2K}\right)$

En la figura 2.9 se indica la distribución que tienen los materiales en el destilador así como la temperatura exterior e interior del mismo.

Figura 2.9. Materiales y transferencia de calor



Fuente: (Hermosillo, 1995)

2.12.2 Coeficiente de transferencia de calor convectivo (h_{ct})

Es el transporte de calor por medio del movimiento del fluido entre la superficie y el medio que lo rodea.

$$h_{ct} = h \cdot A(T_s - T_\infty) \quad (\text{Ec.2.11})$$

Donde:

$$h_{ct} = \text{Calor transferido de la superficie al fluido} \left(\frac{W}{m^2K}\right)$$

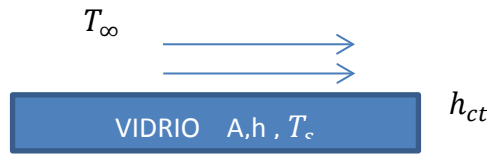
$$A = \text{Área de la superficie}(m^2)$$

$$T_s = \text{Temperatura de superficie}(K)$$

$$T_\infty = \text{Temperatura circundante}(K)$$

En la figura 2.10 se indica cómo actúa el vidrio con los alrededores.

Figura 2.10. Coeficiente convectivo de transferencia de calor



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

$$K_b = \frac{1}{R_{eq} + \frac{1}{h_{ct}}} \quad (\text{Ec.2.12})$$

Donde:

$$K_b = \text{Coeficiente de transferencia de calor.} \left(\frac{W}{m^2K} \right)$$

$$R_{eq} = \text{Resistencia equivalente.} \left(\frac{m^2K}{W} \right)$$

$$h_{ct} = \text{Coeficiente de transferencia de calor convectivo.} \left(\frac{W}{m^2K} \right)$$

2.12.3 Calor perdido por radiación del vidrio (q_{rv})

De la superficie del vidrio se pierde calor por radiación y esta se puede calcular mediante la siguiente ecuación en la cual interviene la constante de Stefan Boltzman:

$$q_{rv} = \varepsilon v \cdot \sigma \cdot (T_v^4 - T_s^4) \quad (\text{Ec.2.13})$$

Donde:

$$q_{rv} = \text{Calor perdido por radiación del vidrio} \left(\frac{W}{m^2} \right)$$

εv = Emitancia del vidrio.

$$\sigma = \text{Constante de Stefan Boltzman} \left(5,6697 \cdot 10^{-8} \frac{W}{m^2K^4} \right)$$

T_v = Temperatura del vidrio (K)

T_s = Temperatura del cielo (K)

2.13 Temperatura del cielo

Los efectos de la atmósfera en la dispersión y absorción de la radiación son variables con el tiempo ya que las condiciones atmosféricas y el cambio de masa de aire. Es útil para definir un estándar "claro cielo" y calcular la radiación por hora y día que se recibió en una superficie horizontal en estas condiciones estándar.

La temperatura del cielo puede calcularse mediante la siguiente ecuación.

$$T_s = T_a \left[0,8 + \frac{T_{dp} - 273}{250} \right]^{0,25} \quad (\text{Ec.2.14})$$

Donde:

$$T_{dp} = \text{Temperatura de rocío. (K)}$$

$$T_a = \text{Temperatura ambiente. (K) (Beckman, 2013)}$$

Para determinar la temperatura de rocío se utiliza la siguiente ecuación.

$$T_{dp} = \sqrt[8]{\frac{H}{100}} \cdot (110 + T_a) - 100 \quad (\text{Ec.2.15})$$

Donde:

$$H = \text{Humedad relativa del ambiente (Beckman, 2013)}$$

$$T_{dp} = \text{Temperatura de rocío. (K)}$$

2.13.1 Calor perdido por convección del vidrio (q_{cv})

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 está dado por la ecuación 2.16

$$q_{cv} = h_{cv} \cdot (T_v - T_a) \quad (\text{Ec.2.16})$$

Donde:

$$q_{cv} = \text{Calor perdido por convección del vidrio } \left(\frac{W}{m^2} \right)$$

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

$$T_v = \text{Temperatura del vidrio (K)}$$

$$T_a = \text{Temperatura ambiente (K)}$$

Con lo que puede determinarse la igualdad:

$$h_{cv} = h_{ct} \quad (\text{Ec.2.17})$$

Y así poder calcular el calor perdido por convección del vidrio. (Beckman, 2013)

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

La radiación es un fenómeno volumétrico que 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. (Beckman, 2013)

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:

$$q_{rw} = \frac{\sigma}{\frac{1}{\epsilon_w} + \frac{1}{\epsilon_v} - 1} (T_w^4 - T_v^4) \quad (\text{Ec. 2.18})$$

Donde:

$$q_{rw} = \text{Calor perdido por radiación del agua} \left(\frac{W}{m^2} \right)$$

$$\epsilon_w = \text{Emitancia del agua}$$

$$\epsilon_v = \text{Emitancia del vidrio}$$

$$T_w = \text{Temperatura del agua (K)}$$

$$T_v = \text{Temperatura del vidrio (K)}$$

$$\sigma = \text{Constante de Stefan Boltzman} \left(5,6697 \cdot 10^{-8} \frac{W}{m^2 K^4} \right)$$

2.13.3 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

$$h_c = 0,884 \left[T_w - T_v + \frac{P_w - P_{wv}}{268,4 \times 10^3 - P_w} (T_w + 273) \right]^{\frac{1}{3}} \quad (\text{Ec. 2.19})$$

Donde:

$$h_c = \text{Calor perdido por convección natural} \left(\frac{W}{m^2 K} \right)$$

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

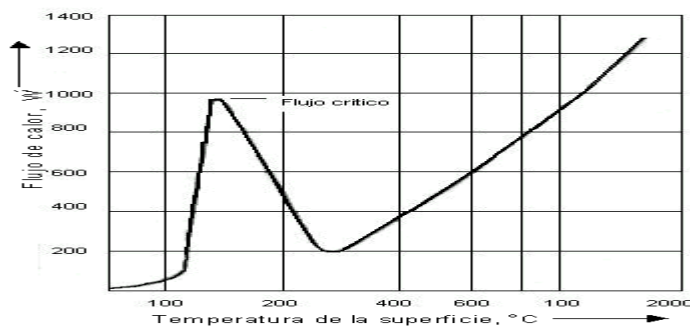
P_{wv} = Presión de vapor del agua a la temperatura del vidrio (Pa)

T_w = Temperatura del agua (K)

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, se 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, debido a 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 2.11. Temperatura de la superficie es directamente proporcional al flujo de calor



Fuente: (Beckman, 2013)

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

$$h_r = \frac{\varepsilon a \cdot \sigma \cdot (T_{sc}^4 - T_w^4)}{T_{sc} - T_w} \quad (\text{Ec. 2.20})$$

Dónde:

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

εa : Emisividad del acero inoxidable

T_{sc} : Temperatura de superficie del vidrio (K)

Si $h_r < h_c$ Se puede considerar que:

$$h_t = h_c + \frac{3}{4} h_r \quad (\text{Ec. 2.21})$$

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

$$q_{cw} = h_t \cdot (T_w - T_v) \quad (\text{Ec. 2.22})$$

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 $\left(\frac{W}{m^2K}\right)$

T_w = Temperatura media del agua (K)

T_v = Temperatura media del vidrio (K)

2.13.4 Calor perdido por evaporación

Para el cálculo del calor perdido por evaporación es necesario conocer que el calor sensible del aire dentro del destilador y se calcula mediante la ecuación 2.23.

$$q_e = h_e \cdot (P_w - P_v) \quad (\text{Ec. 2.23})$$

De acuerdo con el esquema encerrado en el círculo mostrado en la figura anterior y tomando en consideración el principio de la conservación de la energía se tiene que:

$$q'_c = q_{rw} + q_{cw} + q_e + \alpha g \times G_s - (q_{rv} + q_{cv}) \quad (\text{Ec. 2.25})$$

Donde

$$q'_c = \text{Calor almacenado por la cubierta} \left(\frac{W}{m^2} \right)$$

$$q_{rw} = \text{Calor perdido por radiación} \left(\frac{W}{m^2} \right)$$

$$q_{cw} = \text{Calor perdido por convección del agua} \left(\frac{W}{m^2} \right)$$

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

$$\alpha g = \text{Factor de reflexión de la radiación} \left(\frac{W \cdot h}{m^2 \cdot \text{día}} \right)$$

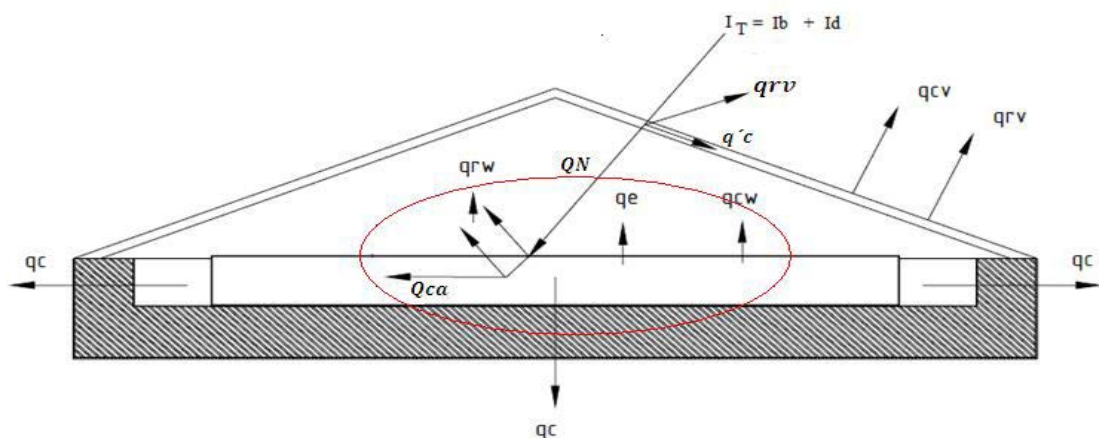
$$G_s = \text{Radiación directa sobre una superficie inclinada} \left(\frac{W \cdot h}{m^2 \cdot \text{día}} \right)$$

$$q_{rv} = \text{Calor perdido por radiación del vidrio} \left(\frac{W}{m^2} \right)$$

$$q_{cv} = \text{Coeficiente de transferencia de calor convectivo del vidrio} \left(\frac{W}{m^2} \right)$$

2.14.1 Balance de calor sobre el agua

Figura 2.13. Balance de energía en el interior del destilador



Fuente: (Beckman, 2013)

De acuerdo con el esquema mostrado en la figura anterior y tomando en consideración el principio de la conservación de la energía se tiene:

$$q'_a = Gs.(1 - \alpha_g)(1 - \alpha_a) - (q_{rw} + q_{cw} + q_e + q_c) \quad (\text{Ec. 2.26})$$

Donde:

$$q'_a = \text{Calor absorbido por el agua} \left(\frac{W}{m^2} \right)$$

$$q_{rw} = \text{Calor perdido por radiación} \left(\frac{W}{m^2} \right)$$

$$q_{cw} = \text{Calor perdido por convección del agua} \left(\frac{W}{m^2} \right)$$

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

$$\alpha_g = \text{Factor de reflexión de la radiación} \left(\frac{W.h}{m^2 \text{ día}} \right)$$

$$Gs = \text{Radiación directa sobre una superficie inclinada} \left(\frac{W.h}{m^2 \text{ día}} \right)$$

2.14.2 Cálculo de calor absorbido por el sistema

El calor que absorbe o cede un sistema termodinámico depende normalmente del tipo de transformación que ha experimentado dicho sistema.

$$q_t = q'_c + q'_a \quad (\text{Ec. 2.27})$$

Donde:

$$q_t = \text{Calor absorbido por el sistema} \left(\frac{W}{m^2} \right)$$

$$q'_a = \text{Calor absorbido por el agua} \left(\frac{W}{m^2} \right)$$

$$q'_c = \text{Calor almacenado por la cubierta} \left(\frac{W}{m^2} \right)$$

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

$$QT = q_t \cdot A \quad (\text{Ec. 2.28})$$

Donde:

QT = Calor absorbido por el sistema

A = Área de captación de la energía solar

2.14.3 Cantidad de calor necesario para calentar y evaporar

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 se calcula por la siguiente ecuación:

$$Q_v = m_v \cdot C_{pv} \cdot (T_v - T_a) \quad (\text{Ec. 2.29})$$

Donde:

Q_v = Calor necesario para calentar el vidrio

C_{pv} = Capacidad calorífica del vidrio

La masa del vidrio viene dada por:

$$m_v = \rho_v \cdot A_v \cdot E_v \quad (\text{Ec. 2.30})$$

Donde:

ρ_v = Densidad del vidrio $\left(\frac{kg}{m^3}\right)$

E_v = Espesor del vidrio (m)

m_v = Masa del vidrio (kg)

A_v = Área del vidrio (m)

Con el valor de la masa de agua del colector (m_s) se puede determinar el calor sensible necesario para calentar el agua:

$$Q_{ca} = m_s \cdot C_p \cdot (T_w - T_a) \quad (\text{Ec. 2.31})$$

Donde:

Q_{ca} = Cantidad de calor necesario para calentar el agua $\left(\frac{W \cdot hr}{dia}\right)$

m_s = Masa de agua en el colector (kg)

C_p = Calor específico del agua $\left(\frac{J}{Kg.K}\right)$

T_w = Temperatura de equilibrio del agua (K)

T_a = Temperatura ambiente(K)

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:

$$Q_{ev} = x' \cdot m_s \cdot \lambda \quad (\text{Ec. 2.32})$$

Donde:

Q_{ev} = Calor necesario para evaporar el agua

x' = Fracción de agua a evaporar = 1

λ = Calor latente de evaporación del agua

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

$$Q_N = Q_{CV} + Q_{CA} + Q_{EV} \quad (\text{Ec. 2.33})$$

Donde:

Q_N = Calor total necesario

$$Q_{CV} = q_{cv} * A_{vidrio} \quad (\text{Ec. 2.34})$$

2.15 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 se puede definir como la cantidad de energía utilizada en la vaporización de agua en el destilador sobre la cantidad de incidencia de energía solar en el destilador.

2.15.1 Eficiencia del destilador solar teórica:

Mediante la ecuación 2.35 se desarrollara la eficiencia teórica

$$Eficiencia_{teorica} = \frac{Q}{I_T} \cdot 100 \quad (Ec. 2.35)$$

Donde:

Q = Energía total almacenada por el sistema

I_T = Irradiancia total

La energía total almacenada por el sistema es la suma de

$$Q = Q_T + Q_N \quad (Ec. 2.36)$$

Donde:

Q = Energía total almacenada por el sistema

Q_T = Calor absorbido por el sistema

Q_N = Calor necesario para calentar y evaporar

2.16 Flujos de energía, exergía e irreversibilidades en destiladores solares

2.16.1 Exergía

Es el trabajo útil máximo que puede obtenerse del sistema en un estado y un ambiente especificados

En un análisis de exergía se especifica el estado inicial, por lo tanto no es una variable. La salida de trabajo se maximiza cuando el proceso entre dos estados especificados se ejecuta de una manera reversible. Por consiguiente, determinando el trabajo potencial todas las irreversibilidades se desprecian. Por último, el sistema debe estar en el estado muerto al final del proceso para maximizar la salida de trabajo.

La exergía, como la energía, puede transferirse hacia o desde un sistema en tres formas: calor, trabajo y flujo másico. Esta transferencia es reconocida en la frontera del sistema cuando la exergía la cruza, por lo que representa la exergía ganada o perdida por un sistema durante un proceso. Las únicas dos formas de interacción de exergía asociadas con una masa fija o sistema cerrado son las transferencias de calor

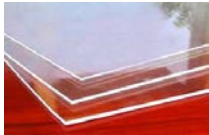








y de trabajo. Mediante la ecuación 2.37 se calculara la eficiencia térmica del destilador

$$\eta_{termica} = 1 - \frac{T_o}{T_f} \quad (\text{Ec.2.37.})$$

2.17 Características de los materiales utilizados para la elaboración de un destilador solar

En la tabla 2.4 se indica la selección de los materiales que serán utilizados en la fabricación del destilador.

Tabla 2.4 Selección de materiales

SELECCIÓN DEL MATERIAL A UTILIZAR EN LA ELABORACION DEL DESTILADOR SOLAR			
Uso en el destilador solar	Tipo de material	Características	Material seleccionado
Material para la cubierta	Plástico Polimetilmetacrilato		VIDRIO
		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	
	Vidrio		
		Resistente a los agentes químicos No contamina el agua destilada	
Material para la tubería de recolección	Cobre		PVC
		Conductividad térmica elevada Elevado costo	
	Aluminio		
		Alta conductividad Baja densidad Estable al aire y resistente a la corrosión por el agua	
	PVC		
		Resistente y ligero Alto aislamiento térmico No presenta corrosión	
Material para estructura de soporte	Acero Inoxidable		ACERO INOXIDABLE
		No presenta corrosión Resistente a la intemperie	
	Hierro		
		Bajo costo Fácilmente oxidable.	
Material para aislamiento Térmica	Lana de vidrio		LANA DE VIDRIO
		Soporta altas temperaturas Buen aislante térmico Bajo costo	
	Durapax		
		Alto aislamiento térmico Baja densidad Bajo costo	

2.18 Espesor del vidrio

El principal material utilizado para realizar la cubierta es el vidrio en la tabla 2.5 se indica el coeficiente de transmisión energética % en función del ángulo de incidencia del haz de rayos con la normal de la superficie del vidrio.

Tabla 2.5 Espesor del vidrio

Espesor (mm)	Transmitancia (%)					
	0°	15°	30°	45°	60°	75°
3	86	86	86	84	77	54
4	85	84.5	84	82	75	54
5	83	83	82.5	80	73.5	51
6	81.5	81	81	78.5	72	50

Fuente: (Beckman, 2013)

Los coeficientes de transmisión energética solar cambian poco para un determinado vidrio sea cual sea el tratamiento de su superficie, que puede ser pulida esmerilada etc. Pero ciertos tratamientos retienen la suciedad, que se elimina difícilmente.

2.19 Conclusiones del capítulo

En este capítulo se logró conocer los distintos términos que serán de uso común en el desarrollo de la tesis así como como el uso de ecuaciones y el significado de cada uno de ellas.

Se seleccionó las ecuaciones adecuadas para cada tema así como también los materiales a utilizar en el proceso de construcción.

CAPÍTULO III

En este capítulo se aplicaran las ecuaciones estudiadas en el capítulo anterior para la ejecución del diseño tomando en consideración las distintas variables que intervienen en el mismo.

3 Diseño y construcción de un destilador solar

Los parámetros fijados para el diseño se presentan en la tabla 3.1 Uno de los objetivos de esta investigación es suplir la demanda de agua destilada del CIVABI, el consumo promedio diario se estima en 1 litro de agua, por lo que se pretende que el equipo logre abastecer esta cantidad de agua demandada.

Para realizar el diseño de este destilador se tomara como referencia el manual de (Beckman, 2013)

Tabla 3.1. Parámetros iniciales de diseño

Parámetro	Valor	Referencia
Cantidad de agua destilada	1 lt-día	Requerimiento
Temperatura ambiente	14,7°C	INAMHI
Temperatura del agua	15°C	INAMHI
Velocidad del viento	3.1 $\frac{m}{s}$	INAMHI

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 esta información se encuentra en el anexo 1.

La radiación se calcula de acuerdo al día representativo de cada mes, como se presenta en la tabla 3.2 para luego tomar como referencia el valor más desfavorable de energía solar en un determinado mes según los cálculos realizados una vez obtenido este valor procedemos a realizar el diseño para condiciones de poca radiación.

Tabla 3.2 Día representativo de cada mes.

Mes	Dias	Promedio	día n de cada mes
Enero	31	16	16
Febrero	28	14	45
Marzo	31	16	75
Abril	30	15	105
Mayo	31	16	136
Junio	30	15	166
Julio	31	16	197
Agosto	31	16	228
Septiembre	30	15	258
Octubre	31	16	289
Noviembre	30	15	319
Diciembre	31	16	350

Fuente: (Beckman, 2013)

$n \rightarrow$ día representativo de cada mes = 16

El valor de n sería de 16 en el mes de enero

Con el valor de n se puede calcular la declinación utilizando la Ec.2.1

3.1 Cálculo de la declinación

$$\delta = 23,45 \cdot \text{sen} \left(360 \frac{284+n}{365} \right) \quad (\text{Ec.2.1})$$

$$\delta = 23,45 \cdot \text{sen} \left(360 \frac{284 + 16}{365} \right)$$

$$\delta = -21,096$$

Una vez obtenido el valor de la declinación se procede a realizar el cálculo del ángulo del ocaso

3.2 Ángulo del ocaso

En este caso se utilizara la Ec 2.2

$$\omega_s = \text{acos}[-\tan(\delta) \cdot \tan(\varnothing)] \quad (\text{Ec. 2.2})$$

Donde \emptyset se obtiene de la siguiente manera

Latitud de Quito ANEXO 2

$$0^{\circ} 10' 0''$$

$$\emptyset = -\frac{10}{60}$$

$$\emptyset = -0.1666$$

Reemplazando en la ecuación

$$\omega_s = \cos^{-1}[-\tan(-21.096) \cdot \tan(-0.1666)]$$

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

3.3 Número de horas teóricas de sol N

A partir de la ec. 2.3

$$N = \frac{2}{15} \cdot \omega_s \quad (\text{Ec. 2.3})$$

$$N = \frac{2}{15} \cdot 90,06$$

$$N = 12 \text{ Horas}$$

3.4 Irradiación diaria solar promedio extraterrestre sobre una superficie horizontal

En esta ecuación se utilizara el valor de constante solar $G_{sc} \ 1367 \frac{W}{m^2}$

$$H_o = \frac{24 \cdot G_{sc}}{\pi} \left(1 + 0,033 \cos \frac{360 n}{365}\right) \left(\cos \emptyset \cdot \cos \delta \cdot \sin \omega_s + \frac{\pi \omega_s}{180} \sin \emptyset \cdot \sin \delta\right) \quad (\text{Ec.2.4})$$

$$H_o = \frac{24 \cdot 1367 \frac{W}{m^2}}{\pi} \left(1 + 0,033 \cos \frac{360(16)}{365}\right) (\cos(-0,16666) \cos(-21,096) \sin(90,06))$$

$$+ \frac{\pi(90,06)}{180} \sin(0,16666) \sin(-21,096)$$

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

3.5 Irradiación diaria solar promedio terrestre sobre una superficie horizontal

Para determinar este parámetro necesitamos el número de horas real de sol para esto se utiliza la siguiente tabla.

Tabla 3.3 Heliofania mensual y promedio diario

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

De esta tabla obtenemos el número real de horas (n_r) para el mes de enero es de 4,8

$$n_r = 4,8$$

$$a = 0,23$$

$$b = 0,56$$

$$H = H_0 \cdot \left[a + b \cdot \frac{n_r}{N} \right] \quad (\text{Ec.2.5})$$

$$H = 10149,68 \cdot \left[0,23 + 0,56 \cdot \frac{4,8}{12} \right]$$

$$H = 4607,95 \frac{W h}{m^2 día}$$

3.6 Irradiación diaria solar difusa promedio (H_d)

$$K_T = \frac{H}{H_0} \quad (\text{Ec. 2.6})$$

$$K_T = \frac{4607.45 \left(\frac{W h}{m^2 \text{ día}} \right)}{10149.68 \left(\frac{W h}{m^2 \text{ día}} \right)}$$

$$K_T = 0,454$$

$$H_d = H * (1,39 - 4,03 * KT + 5,53 * KT^2 - 3,11 * KT^3) \quad (\text{Ec. 2.7})$$

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

Tabla 3.4. Radiación mensual

Mes	n	Declinacion	Ws	N	$H_o \left(\frac{W \cdot h}{m^2 \cdot \text{día}} \right)$
Enero	16	-20,9	90,06	12,008	10081,79
Febrero	45	-13	90,04	12,005	10418,14
Marzo	75	-2,4	90	12,000	10530,99
Abril	105	9,4	89,97	11,996	10215,38
Mayo	136	18,8	89,94	11,992	9647,78
Junio	166	23,1	89,93	11,991	9290,17
Julio	197	21,2	89,94	11,992	9409,69
Agosto	228	13,5	89,96	11,995	9906,19
Septiembre	258	2,2	89,99	11,999	10341,33
Octubre	289	-9,6	90,03	12,004	10387,36
Noviembre	319	-18,9	90,06	12,008	10120,87
Diciembre	350	-23	90,07	12,009	9928,84

Tabla 3.5 Radiación directa y difusa mensual

Mes	nr	$H \left(\frac{W.h}{m^2.dia} \right)$	kt	$H_d \left(\frac{W.h}{m^2.dia} \right)$	$H_b \left(\frac{W.h}{m^2.dia} \right)$
Enero	4,80	4577,45	0,45	1872,856982	2704,59
Febrero	3,88	4281,37	0,41	1934,90619	2346,46
Marzo	4,20	4484,30	0,43	1957,552271	2526,75
Abril	3,91	4213,49	0,41	1897,488388	2316,00
Mayo	5,04	4491,69	0,47	1790,242352	2701,45
Junio	5,64	4582,95	0,49	1715,661608	2867,28
Julio	6,11	4850,03	0,52	1727,093919	3122,93
Agosto	6,44	5255,99	0,53	1808,138646	3447,85
Septiembre	6,52	5525,38	0,53	1884,634157	3640,74
Octubre	4,95	4789,81	0,46	1928,420496	2861,39
Noviembre	4,48	4442,33	0,44	1881,448758	2560,88
Diciembre	4,70	4461,46	0,45	1845,017111	2616,44

Como se puede observar en la tabla 3.5 el mes de abril es el mes con menos radiación más adelante se tomará en cuenta este valor

3.7 Diseño térmico

Los valores detallados en la siguiente tabla serán utilizados en proceso de diseño del destilador solar tipo caseta

Tabla 3.6 Parámetros para el balance térmico

Constante	Valor	Descripcion	Referencia
T_w	328 K	Temperatura media del agua	INAMHI
T_a	287,7 K	Temperatura ambiente	INAMHI
X_1	0,003 m	Espesor del Acero inoxidable	(IDAE, 2007)
X_2	0,05 m	Espesor de lana de vidrio	(IDAE, 2007)
X_3	0,002 m	Espesor de hierro	(IDAE, 2007)
K_1	$14,9 \frac{W}{mK}$	Coefficiente de Conductividad térmica para el Acero	INCROPERA,1999
K_2	$0,043 \frac{W}{mK}$	Coefficiente de Conductividad térmica de la lana de vidrio	INCROPERA,1999
K_3	$60,5 \frac{W}{mK}$	Coefficiente de Conductividad térmica del hierro	INCROPERA,1999
v	$3,1 \frac{m}{s}$	Velocidad del viento promedio en Quito	INAMHI
ε_v	0,8	Emitancia del vidrio	(Beckman, 2013)
T_v	308,5 K	Temperatura del vidrio	(Beckman, 2013)
T_{sc}	363 K	Temperatura de la superficie colectora	(Beckman, 2013)
ε_w	0,96	Emitancia del agua	(Beckman, 2013)
ε_a	0,19	Emitancia acero inoxidable	(Beckman, 2013)

3.7.1 Cálculo de calor perdido por conducción

Calculo del calor perdido por conducción a través de las paredes del equipo se calcula por medio de la ecuación 2.9

$$q_c = K_b \cdot (T_w - T_a) = \left(\frac{W}{m^2K} \right) \quad (\text{Ec. 2.9})$$

Donde:

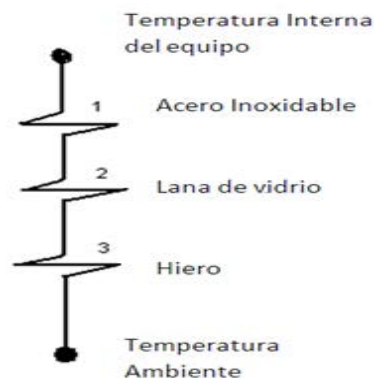
$$q_c = \text{Calor perdido por conducción} \left(\frac{W}{m^2} \right)$$

$$K_b = \text{Resistencia térmica equivalente del aislante} \left(\frac{W}{m^2K} \right)$$

$$T_w = \text{Temperatura media del agua} (K)$$

$$T_a = \text{Temperatura ambiente} (K)$$

Para realizar el cálculo del calor perdido por conducción es necesario encontrar primero la resistencia equivalente del aislante por medio de la Ec. 2.10



$$R_{eq} = \frac{X_1}{K_1} + \frac{X_2}{K_2} + \frac{X_3}{K_3} \quad (\text{Ec. 2.10})$$

Donde:

R_{eq} = Resistencia equivalente de los materiales $\left(\frac{m^2 K}{W}\right)$

X_1 = Espesor de acero inoxidable (m)

X_2 = Espesor de lana de vidrio (m)

X_3 = Espesor de hierro (m)

K_1 = Coeficientes de conductividad calorífica del acero inoxidable $\left(\frac{W}{m^2 K}\right)$

K_2 = Coeficientes de conductividad calorífica de la lana de vidrio $\left(\frac{W}{m^2 K}\right)$

K_3 = Coeficientes de conductividad calorífica del hierro $\left(\frac{W}{m^2 K}\right)$

El espesor de aislamiento a utilizar en la construcción del destilador solar se tomara de la siguiente tabla obtenida de la guía técnica “Diseño y cálculo del aislamiento térmico de conductores aparatos y equipos” (IDAE, 2007)

Tabla 3.7 Espesor del aislamiento en función de la conductividad térmica

Nombre	Espesor (mm)	Resistencia termica	Ts
Acero	3,2	40000	89,99
Lana de vidrio	43,9	0,04	29,02

Fuente: (IDAE, 2007)

De la tabla anterior se obtiene los valores y se reemplaza en la ecuación 2.10

$$R_{eq} = \frac{0.003 \text{ m}}{14.9 \frac{W}{m K}} + \frac{0.050 \text{ m}}{0.043 \frac{W}{m K}} + \frac{0.002 \text{ m}}{60.5 \frac{W}{m K}}$$

$$R_{eq} = 1.186 \frac{m^2 K}{W}$$

El coeficiente de calor convectivo se calcula a partir de la siguiente ecuación.

$$h_{ct} = 2.8 + 3v \quad (\text{Ec. 2.11})$$

Donde:

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

$$v = \text{Velocidad del viento } 3.1 \frac{m}{s}$$

$$h_{ct} = 2.8 + 3(3.1)$$

$$h_{ct} = 2.8 + 9.3$$

$$h_{ct} = 12.1 \frac{W}{m^2 K}$$

Con ayuda del coeficiente de transferencia de calor convectivo se determina la resistencia térmica equivalente del aislante K_b con la ecuación. 2.12

$$K_b = \frac{1}{R_{eq} + \frac{1}{h_{ct}}} \quad (\text{Ec. 2.12})$$

$$K_b = \frac{1}{1.186 \frac{m^2 K}{W} + \frac{1}{12.1 \frac{W}{m^2 K}}}$$

$$K_b = 0.788 \frac{W}{m^2 K}$$

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

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

$$T_w = \text{Temperatura media del agua} = 55^\circ\text{C} + 273 = 328 \text{ K}$$

$$T_a = \text{Temperatura ambiente} = 14.7^\circ\text{C} + 273 = 287.7 \text{ K}$$

$$q_c = 0.788 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}} (328 - 287.7) \text{K}$$

$$q_c = 31,75 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

3.7.2 Cálculo del calor perdido por radiación del vidrio

El calor perdido por la radiación del vidrio se calculará por medio de la siguiente ecuación.

$$q_{rv} = \varepsilon v * \sigma * (T_V^4 - T_S^4) \quad (\text{Ec.2.13})$$

Donde:

εv = Emitancia del vidrio.

σ = Constante de Stefan Boltzman

T_V = Temperatura del vidrio $35.5 + 273 = (308,5 \text{ K})$

T_S = Temperatura del cielo (K)

q_{rv} = Calor perdido por radiación del vidrio $\left(\frac{\text{W}}{\text{m}^2}\right)$

La temperatura del cielo T_s se calcula mediante la Ec. 2.14

$$T_s = T_a \left[0,8 + \frac{T_{dp} - 273}{250} \right]^{0,25} \quad (\text{Ec.2.14})$$

Donde:

T_{dp} = Temperatura de rocío. (K)

T_a = Temperatura ambiente. (287,7 K)

Cálculo de la temperatura de rocío T_{dp} (Ec.2.15)

$$T_{dp} = \sqrt[8]{\frac{H}{100}} \cdot (110 + T_a) - 100 \quad (\text{Ec.2.15})$$

Donde:

$$H = \text{Humedad relativa del ambiente} = 71\%$$

$$T_{dp} = \sqrt[8]{\frac{71}{100}} \cdot (110 + 287,7) - 110$$

$$T_{dp} = 271,03 \text{ K}$$

Sustituyendo en la ecuación 2.14

$$T_s = 287,7 \left[0,8 + \frac{271,03 - 273}{250} \right]^{0,25}$$

$$T_s = 271,42 \text{ K}$$

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

$$q_{rv} = (0,8) \cdot \left(5,6697 \times 10^{-8} \frac{W}{m^2 K^4} \right) \cdot (308,5^4 - 271,42^4) K^4$$

$$q_{rv} = 164,099 \frac{W}{m^2}$$

3.7.3 Calor perdido por convección del vidrio:

$$q_{cv} = h_{cv} \cdot (T_v - T_a) \quad (\text{Ec.2.16})$$

Donde:

h_{cv} : Coeficiente de transferencia de calor convectivo del vidrio

$$\text{De donde } h_{cv} = h_{ct} = 12,1 \frac{W}{m^2 K} \quad (\text{Ec.2.17})$$

$$q_{cv} = 12,1 \frac{W}{m^2 K} \cdot (308,5 - 287,7) K$$

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

3.7.4 Calor perdido por radiación del agua

$$q_{rw} = \frac{\sigma}{\frac{1}{\varepsilon_w} + \frac{1}{\varepsilon_v} - 1} (T_w^4 - T_v^4) \quad (\text{Ec. 2.18})$$

Donde:

$$q_{rw} = \text{Calor perdido por radiación del agua} \left(\frac{W}{m^2} \right)$$

ε_w = Emitancia del agua

ε_v = Emitancia del vidrio

T_w = Temperatura del agua (K)

T_v = Temperatura del vidrio (K)

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

Sustituyendo en la ecuación 2.18 se tiene

$$q_{rw} = \frac{5,6697 \cdot 10^{-8}}{\frac{1}{0,96} + \frac{1}{0,8} - 1} (328^4 - 308,5^4)$$

$$q_{rw} = 113,194 \frac{W}{m^2}$$

3.7.5 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.

$$q_{cw} = h_t \cdot (T_w - T_v) \quad (\text{Ec.2.22})$$

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

$$h_c = 0.884 \left[T_w - T_v + \frac{P_w - P_{wv}}{268.4 \times 10^3 - P_w} (T_w + 273) \right]^{\frac{1}{3}} \quad (\text{Ec.2.19})$$

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 K y 308,5 K respectivamente

$$P_w = 15758 \text{ Pa} \quad (\text{Cengel, 2004})$$

$$P_{wv} = 5628 \text{ Pa} \quad (\text{Cengel, 2004})$$

$$h_c = 0.88 \left[328 - 308,5 + \frac{15758 - 5628}{268.4 \times 10^3 - 15758} (328) \right]^{\frac{1}{3}}$$

$$h_c = 2,852 \frac{W}{m^2 K}$$

Por medio de la siguiente ecuación se calcula el coeficiente de radiación efectivo:

$$h_r = \frac{\epsilon a \cdot \sigma \cdot (T_{sc}^4 - T_w^4)}{T_{sc} - T_w} \quad (\text{Ec. 2.20})$$

Donde:

h_r = Coeficiente de radiación efectivo

ϵa = Emisividad del acero inoxidable

T_{sc} = Temperatura de superficie colectora

Sustituyendo valores:

$$h_r = \frac{(0,19 \cdot 5,6697 \times 10^{-8}) \times (363^4 - 328^4)}{363 - 328}$$

$$h_r = 1,783 \frac{W}{m^2 k}$$

Como $hr < hc$ Se puede considerar

$$h_t = h_c + \frac{3}{4}h_r \quad (\text{Ec. 2.21})$$

$$h_t = 2,852 \frac{W}{m^2 K} + \frac{3}{4} \left(1,783 \frac{W}{m^2 K} \right)$$

$$h_t = 4,189 \frac{W}{m^2 K}$$

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

$$q_{cw} = h_t \cdot (T_w - T_v) \quad (\text{Ec. 2.22})$$

$$q_{cw} = 4,189 \frac{W}{m^2 K} (328 - 308,5) K$$

$$q_{cw} = 81,685 \frac{W}{m^2}$$

3.7.6 Cálculo del calor perdido por evaporación

Partiendo de la ecuación

$$q_e = h_e \cdot (P_w - P_v) \quad (\text{Ec.2.23})$$

Donde:

$$q_e = \text{Calor perdido por evaporación } \frac{W}{m^2}$$

$$h_e = \text{Coeficiente de transferencia de calor evaporativo } \frac{W}{m^2 K}$$

$$P_w = \text{Presión de vapor del agua a la temperatura del agua (Pa)}$$

$$P_v = \text{Presión de vapor del agua a la temperatura del vidrio (Pa)}$$

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:

$$h_e = 0,013h_t \quad (\text{Ec 2.24})$$

$$h_e = 0,013(4,189)$$

$$h_e = 0,0545$$

Sustituyendo

$$q_e = 0,0545 \cdot (15758 - 5628)$$

$$q_e = 551,65 \frac{W}{m^2}$$

3.7.7 Cálculo de calor almacenado por la cubierta

De la Tabla 3.5 estudiada anteriormente tomamos el valor de la radiación correspondiente al mes más bajo, para nuestro caso es abril.

Tabla 3.5 Radiación mensual

Mes	nr	$H \left(\frac{W \cdot hr}{m^2 \cdot dia} \right)$	kt	$H_d \left(\frac{W \cdot hr}{m^2 \cdot dia} \right)$	$H_b \left(\frac{W \cdot hr}{m^2 \cdot dia} \right)$
Enero	4,80	4577,45	0,45	1872,856982	2704,59
Febrero	3,88	4281,37	0,41	1934,90619	2346,46
Marzo	4,20	4484,30	0,43	1957,552271	2526,75
Abril	3,91	4213,49	0,41	1897,488388	2316,00
Mayo	5,04	4491,69	0,47	1790,242352	2701,45
Junio	5,64	4582,95	0,49	1715,661608	2867,28
Julio	6,11	4850,03	0,52	1727,093919	3122,93
Agosto	6,44	5255,99	0,53	1808,138646	3447,85
Septiembre	6,52	5525,38	0,53	1884,634157	3640,74
Octubre	4,95	4789,81	0,46	1928,420496	2861,39
Noviembre	4,48	4442,33	0,44	1881,448758	2560,88
Diciembre	4,70	4461,46	0,45	1845,017111	2616,44

$$G_s = 4213,49 \frac{W \cdot h}{m^2 \cdot dia}$$

Esta radiación es la que llega al vidrio, la cual sufre reflexión, absorción y transmitancia con el factor αg

$$\alpha g \times G_s = 0.1 \times 4213,49$$

Por lo tanto la radiación que llega al vidrio es:

$$\alpha g \times G_s = 421,35 \frac{W \cdot h}{m^2 \cdot dia}$$

De la siguiente ecuación obtenemos

$$q'_c = q_{rw} + q_{cw} + q_e + \alpha_g \times G_s - (q_{rv} + q_{cv}) \quad (\text{Ec. 2.25})$$

En esta ecuación remplazamos los valores obtenidos anteriormente

$$q'_c = 113,194 + 81,685 + 551,65 + 421,35 - (164,099 + 249,86)$$

$$q'_c = 753,91 \frac{W h}{m^2 dia} \times \frac{1 dia}{5 h}$$

$$q'_c = 150,78 \frac{W}{m^2}$$

3.7.8 Cálculo del calor absorbido por el agua

De la siguiente ecuación del balance de calor sobre el agua se tiene que:

$$q'_a = G_s * (1 - \alpha_g)(1 - \alpha_a) - (q_{rw} + q_{cw} + q_e + q_c) \quad (\text{Ec. 2.26})$$

Tomando el factor de 5 horas al día para hacer las unidades consistentes se tiene

$$q_{rw} = 113,194 \frac{W h}{m^2 dia} \cdot \frac{1 dia}{5 h} = 22,64 \frac{W}{m^2}$$

$$q_{cw} = 81,685 \frac{W h}{m^2 dia} \cdot \frac{1 dia}{5 h} = 16,34 \frac{W}{m^2}$$

$$q_e = 551,65 \frac{W h}{m^2 dia} \cdot \frac{1 dia}{5 h} = 110,33 \frac{W}{m^2}$$

$$G_s = 4213,49 \frac{W h}{m^2 dia} \cdot \frac{1 dia}{5 h} = 842,69 \frac{W}{m^2}$$

Sustituyendo valores:

$$q'_a = 842,69 \cdot (1 - 0.1)(1 - 0.3) - (22,64 + 16,34 + 110,33 + 31,52)$$

$$q'_a = 350,06 \frac{W}{m^2}$$

3.7.9 Cálculo de calor absorbido por el sistema

$$q_t = q'_c + q'_a \quad (\text{Ec. 2.27})$$

Donde:

q_t = Calor absorbido por el sistema

q'_a = Calor absorbido por el agua

q'_c = Calor almacenado por la cubierta

Sustituyendo

$$q_t = 150,78 + 350,06$$

$$q_t = 500,84 \frac{W}{m^2}$$

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

$$QT = q_t \cdot A \quad (\text{Ec. 2.28})$$

$$QT = q_t \cdot Abandeja$$

$$QT = 500,84 \frac{W}{m^2} \cdot Abandeja$$

3.7.10 Cantidad de calor necesaria para calentar y evaporar Q

$$mv = \rho v \cdot Av \cdot Ev \quad (\text{Ec. 2.30})$$

Donde:

ρv = Densidad del vidrio

Ev = Espesor del vidrio

mv = Masa del vidrio

Av = Área del vidrio

De la tabla 2.5 capítulo dos se tomara el ángulo de 30° para realizar el cálculo y tomando como referencia este valor se obtiene el espesor del vidrio de 4 mm.

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

$$\cos(30) = \frac{0.45}{x}$$

$$X = \frac{0.45}{\cos 30} = 0.52 \text{ m}$$

Sustituyendo para encontrar la masa del vidrio:

$$mv = 2500 \frac{kg}{m^3} \cdot (0.52m \cdot L) \cdot 0,004 \text{ m}$$

$$mv = 5,2 \cdot L \frac{Kg}{m}$$

Con ayuda de este dato y haciendo uso de la siguiente ecuación se determina el calor necesario para calentar el vidrio:

$$Qv = mv \cdot Cpv(T_v - T_a) \quad (\text{Ec. 2.29})$$

Donde:

Qv = Calor necesario para calentar el vidrio

Cpv = Capacidad calorífica del vidrio

$$Qv = 5,2 \cdot L \frac{kg}{m} \cdot 750 \frac{J}{Kg^{\circ}k} (308,65 - 288,15)$$

$$Qv = 79950 \frac{J}{M} \cdot L$$

$$Qv = 22.21 L \frac{Wh}{m^2 \text{ dia}}$$

3.7.11 Calor necesario para calentar el agua

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

$$Qca = ms \cdot Cp \cdot (T_w - T_a) \quad (\text{Ec. 2.31})$$

$$Qca = 2.97 \cdot 4186 \frac{j}{Kg^{\circ}k} \cdot (328.15 - 288,15)$$

$$Q_{ca} = 497296,8 J$$

$$Q_{ca} = 138.138 \frac{W h}{dia}$$

3.7.12 Calor necesario para evaporar x porcentaje de agua

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

$$Q_{ev} = x'.ms.\lambda \quad (\text{Ec. 2.32})$$

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:

$$Q_{ev} = 1.2,97 \cdot 2257 \cdot 10^3 \frac{J}{Kg}$$

$$Q_{ev} = 1862,025 \frac{Wh}{dia}$$

Tomando en cuenta el número de horas de operación del destilador de 5 horas al día:

$$Q_{CA} = 138.138 \frac{W h}{dia} * \frac{1 dia}{5 h} = 27.62 W$$

$$Q_{ev} = 1862,025 \frac{Wh}{dia} * \frac{1 dia}{5 h} = 372.4 W$$

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

$$Q_N = Q_{CV} + Q_{Ca} + Q_{ev} \quad (\text{Ec. 2.33})$$

$$Q_{cv} = q_{cv} + A_{vidrio} + Q_V \quad (\text{Ec.2.34})$$

$$Q_{CV} = q_{cv} + \frac{1 dia}{5 h} * A_{vidrio} + 22.21 * L \frac{W h}{m dia}$$

$$Q_{CV} = 249.86 \frac{w}{m^2} (0,52m \cdot L) \cdot 2 + 22,21 \cdot L \cdot \frac{w h}{m \text{ dia}}$$

$$Q_{CV} = 283.064 * L \frac{w}{m}$$

Sustituyendo en la ecuación

$$Q_N = 283,064 \cdot L \frac{w}{m} + 27,62 w + 372,4 w$$

$$Q_N = 400w + 283,064 \cdot L \frac{w}{m}$$

De acuerdo a la ecuación

$$Eficiencia_{teorica} = \frac{Q}{G_{SC}} \cdot 100 \quad (\text{Ec. 2.35})$$

Calculando la energía total almacenada por el sistema según la ecuación

$$Q = Q_T + Q_N \quad (\text{Ec. 2.36})$$

$$Q_N = 400w + 283.064 \cdot L \frac{w}{m}$$

$$Q_T = 500.84 \frac{w}{m^2} \cdot Area_{bandeja}$$

El área de la bandeja ($A_{bandeja}$) de igual forma que con el área del vidrio se puede definir de la siguiente manera

$$A_{bandeja} = 0.45m \cdot L$$

Sustituyendo en la ecuación

$$Q = \left(500.84 \frac{W}{m^2} \cdot 0,9 \cdot L \right) + \left(400w + 283.064 \cdot L \frac{W}{m} \right)$$

$$Q = 450,756 \frac{W}{m} \cdot L + 400 W + 283.064 \cdot L \frac{W}{m}$$

$$Q = 400 W + 733.82 \frac{W}{m} \cdot L$$

Ahora sustituyendo en la ecuación

$$Eficiencia_{teorica} = \frac{Q}{G_{SC}} \cdot 100 \quad (\text{Ec. 2.37})$$

$$Eficiencia_{teorica} = \frac{400w + 733.82 \frac{W}{m} * L}{4213.49 \frac{W}{m^2}} \cdot 100$$

Tomaremos el valor de eficiencia de 35%, que es el más común para este tipo de destiladores

Despejando el valor de L

$$L = 2 m$$

Por lo tanto el *Abandeja* será de:

$$A_{bandeja} = 0.9m * 2m = 1.8m^2$$

3.8 Cálculo de la capacidad volumétrica

Para realizar este cálculo se va a tomar en cuenta el consumo global de agua que se produce en un mes.

$$\text{Consumo de agua } 1 \frac{lt}{dia}$$

$$\text{Consumo total de agua} = 1 \frac{lt}{dia} \times 30 dia = 30 lt$$

$$\frac{30 lt}{30 dias} \times \frac{1 gl}{3.785 lt} = 7.93 \frac{gl}{dia}$$

Para seguir con este cálculo se tomará valores de la tabla 3.8 con el valor de radiación más desfavorable.

$$\text{Abril} = 4213.49 \frac{W.h}{m^2} \text{ Radiación mensual más baja.}$$

$$\text{Septiembre} = 5525.38 \frac{W.h}{m^2} \text{ Radiación mensual más alta.}$$

$$\text{Promedio} = \frac{4213.49 + 5525.49}{2} = 4869.44 \frac{W.h}{m^2}$$

Necesitaremos la temperatura promedio del agua en quito que es de 15°C el agua se empieza a evaporar a los 55°C

Para calentar el agua de 15°C a 55°C se necesitara una cantidad de calor que se determinara a continuación con la Ec. 2.38.

$$q = m \cdot Cp \cdot \Delta T \quad (\text{Ec. 2.38})$$

$$m = \frac{q}{Cp \cdot \Delta T}$$

$$m = \frac{4869,44 \frac{W \cdot h}{m^2} \cdot 1x1m^2 \frac{3600 \text{ seg}}{1 h} \cdot \frac{J}{W \text{ seg}} \cdot \frac{KJ}{10^3 J}}{4,179 \frac{KJ}{Kg^{\circ}C} (55 - 15)}$$

$$m = 104,87 \text{ Kg}$$

$$\varrho = \frac{m}{v}$$

$$V = \frac{m}{\varrho} = \frac{104,87 \text{ kg}}{1000 \frac{\text{kg}}{m^3}} \quad (\text{Ec.2.39})$$

$$V = 0,105 m^3$$

Calculo del volumen necesario de la bandeja.

$$A = 1 \cdot \cos(15^{\circ}) \cdot 1m = 0,96 \quad (\text{Ec.2.40})$$

A continuación se calculara la altura.

$$h = \frac{V}{A} = \frac{0,105}{0,96} = 0,109 \text{ m} \quad (\text{Ec.2.41})$$

3.9 Cálculo de la eficiencia térmica de un destilador solar

Para calcular la eficiencia del destilador solar se tomara las ecuaciones. 2.37 y 2.42 respectivamente

$$\eta_{teorica} = \frac{Q}{G_{SC}} \cdot 100$$

$$\eta_{teorica} = \frac{1867,64}{4213,49} \cdot 100$$

$$\eta_{teorica} = 43,32 \%$$

Con la ecuación 2.42 se calcula la eficiencia real del destilador

$$\eta_{termica} = 1 - \frac{T_a}{T_w} \quad (\text{Ec.2.42})$$

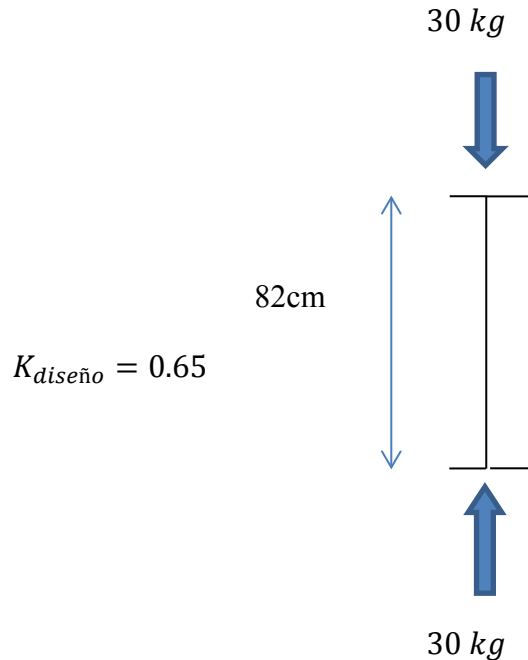
$$\eta_{termica} = 1 - \frac{34}{53,1} = 0,3596$$

$$\eta_{termica} = 35,96\%$$

3.10 Cálculo de la estructura

A continuación se indica el diagrama del cuerpo libre de las columnas de la estructura inferior

Figura 3.2. Diagrama del cuerpo libre



Elaborado por: Bayron Tabuada

Debido a la disponibilidad del distribuidor se seleccionó un tubo estructural negro cuadrado de 25mm x 25mm con un espesor de 2 mm.

Del cual se obtienen los siguientes datos.

Material: A-36

$S_y = 36 \text{ KSI}$

$E = 29 \times 10^6 \text{ lb/pg}^2$

$A = 1.74 \text{ cm}^2$

$I = 1.48 \text{ cm}^4$

$$r_{min} = \sqrt{\frac{I_{min}}{A}}$$

$$r_{min} = \sqrt{\frac{1.48 \text{ cm}^4}{1.74 \text{ cm}^2}}$$

$$r_{min} = 0.922 \text{ cm}$$

$$\lambda = \frac{KL}{r_{min}}$$

$$\lambda = \frac{0.65 \times 82 \text{ cm}}{0.922 \text{ cm}}$$

$$\lambda = 57.81$$

Con este valor de esbeltez se busca en la tabla 3.16 del manual de la AISC el valor del esfuerzo admisible F_a

$$F_a = 17.637 \text{ KSI}$$

$$P = F_a \times A$$

$$P = 17.637 \text{ ksi} \times 0.269 \text{ plg}^2$$

$$P = 4.76 \text{ Klb}$$

Una vez realizado el diseño se obtiene las siguientes medidas con las cuales se realizará el proceso de construcción.

a) Bandeja colectora de agua

Material: Acero inoxidable 304 de 3mm

Medida: 2.0 x 0.90 x 0.05 m

b) Espesor del vidrio

Vidrio laminado de 4 mm de espesor

c) Angulo de inclinación de la superficie del vidrio es de 30° y el espesor de 4 mm como se indicó anteriormente

3.11 Conclusiones del capítulo

En este capítulo se aplicaron las ecuaciones estudiadas en el capítulo anterior, se realizaron los cálculos respectivos se encontraron los valores con los cuales se procederá a la construcción del destilador solar tipo caseta.

Se encontraron las dimensiones adecuadas y optimas de la bandeja colectora de agua, espesores de aislamiento necesarios para evitar pérdidas en el sistema.

Se aplicó conocimientos termodinámicos y de transferencia de calor estudiados a lo largo de la vida universitaria.

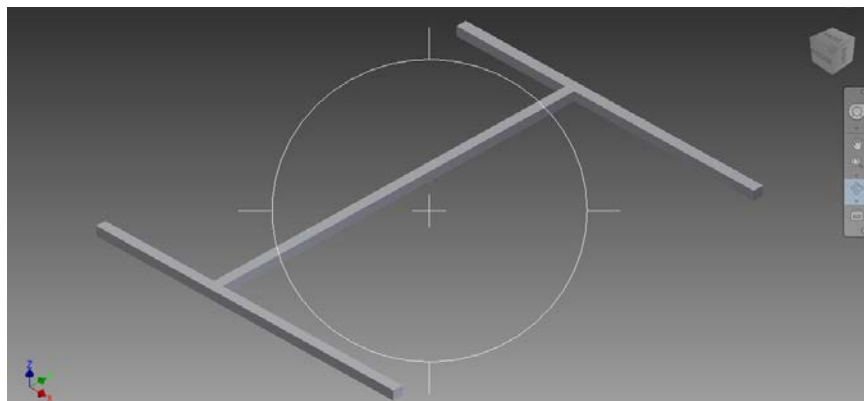
CAPÍTULO IV

4 Proceso de construcción

Una vez realizados todos los cálculos necesarios para el proceso de construcción del destilador se procederá a la elaboración de los planos y la simulación de construcción del mismo.

- 4.1 Corte y soldadura de la estructura inferior según las medidas indicadas en el plano el material a utilizarse es tubo cuadrado de 1plg.

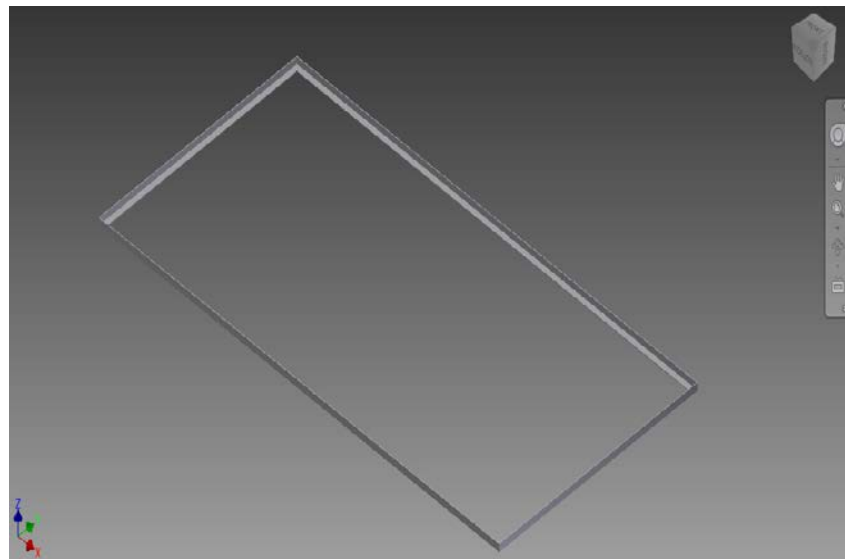
Figura 4.1. Estructura inferior (patas)



Elaborado por: Bayron Tabuada

- 4.2 Corte y soldadura del marco inferior de apoyo con las medidas indicadas en el plano, el material para la elaboración ángulo de 1" \times $\frac{1}{8}$

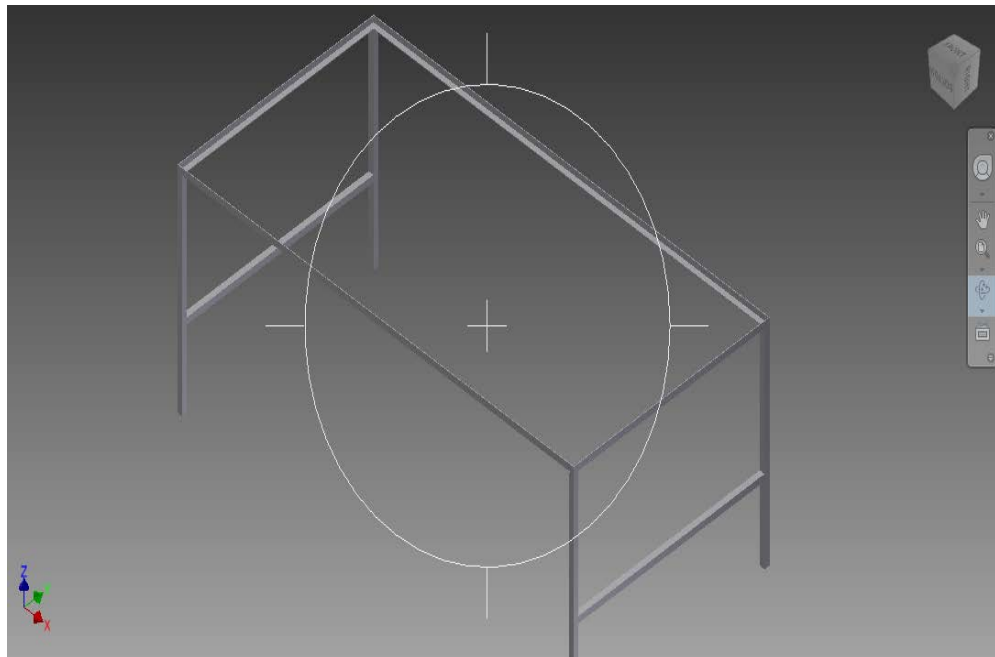
Figura 4.2. Marco inferior



Elaborado por: Bayron Tabuada

4.3 Ensamble de la estructura inferior del destilador solar

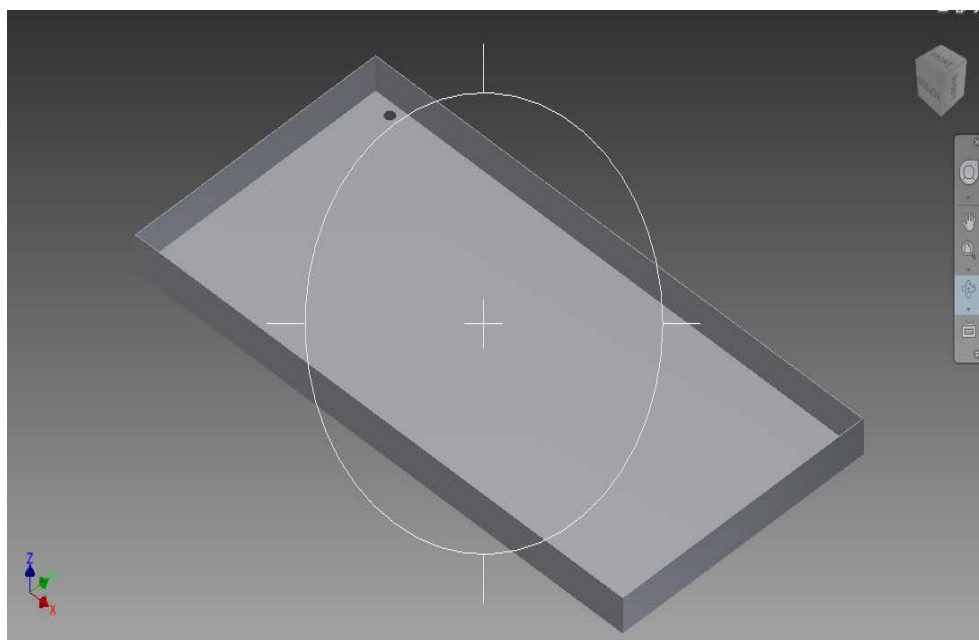
Figura 4.3. Ensamble del marco inferior con las patas del destilador



Elaborado por: Bayron Tabuada

4.4 Construcción de bandeja exterior

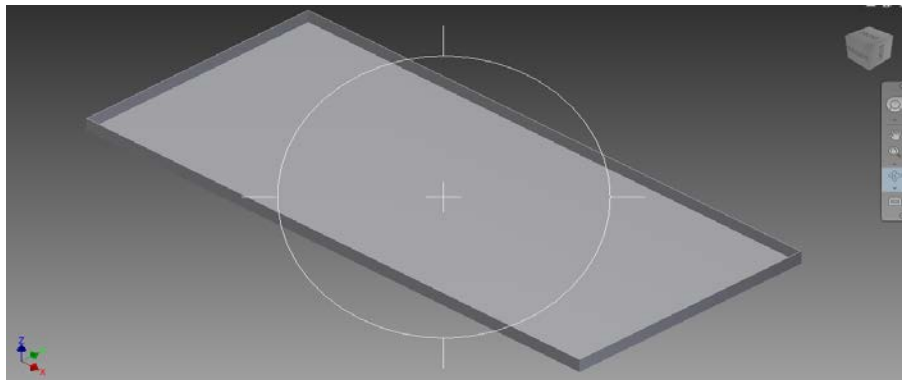
Figura 4.4. Bandeja exterior de tool



Elaborado por: Bayron Tabuada

4.5 Construcción de bandeja colectora el material para su elaboración es acero inox 304

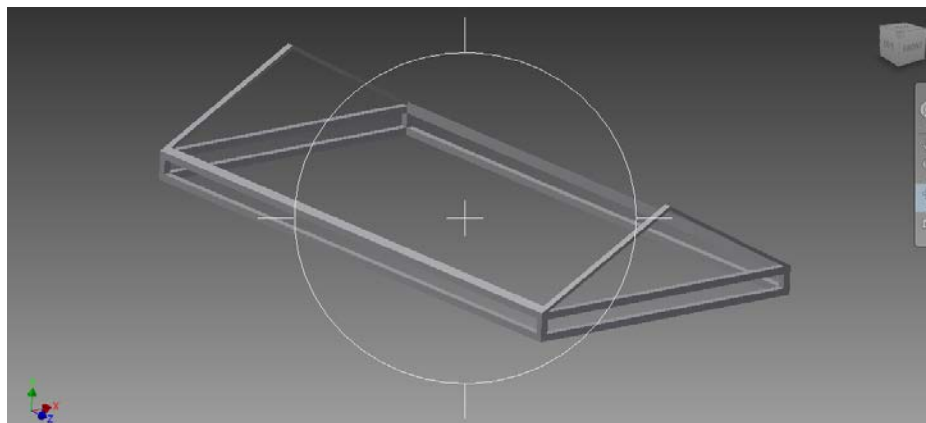
Figura 4.5. Bandeja colectora



Elaborado por: Bayron Tabuada

4.6 Estructura superior para alojamiento del vidrio

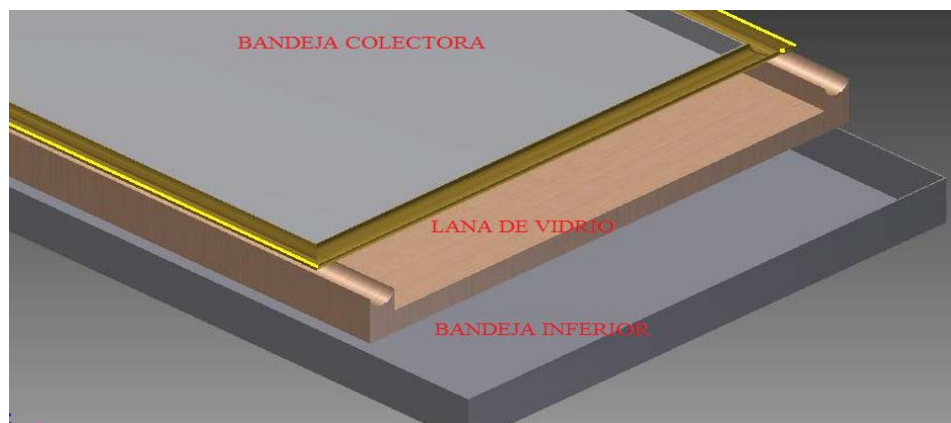
Figura 4.6 Estructura para el vidrio



Elaborado por: Bayron Tabuada

4.7 Montaje de la lana de vidrio

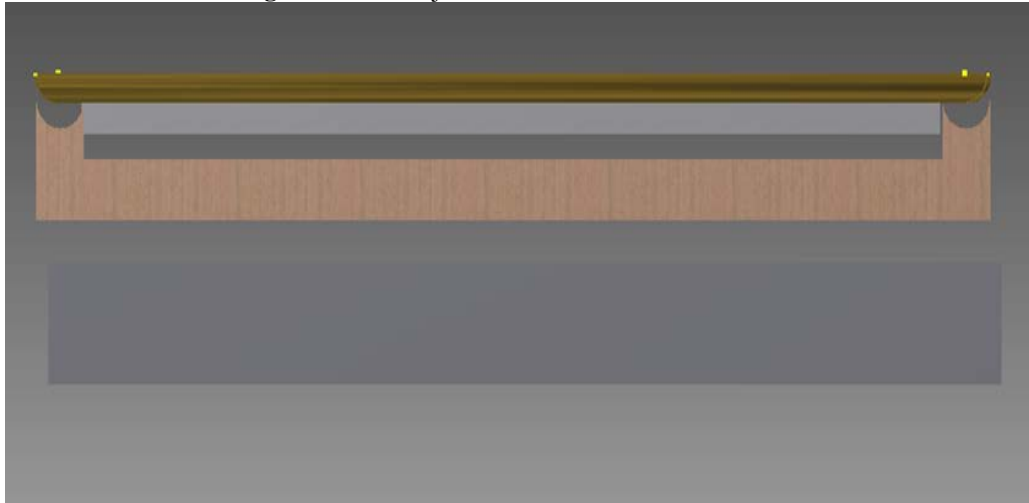
Figura 4.7 Montaje de la lana de vidrio



Elaborado por: Bayron Tabuada

4.8 Montaje de la lana de vidrio

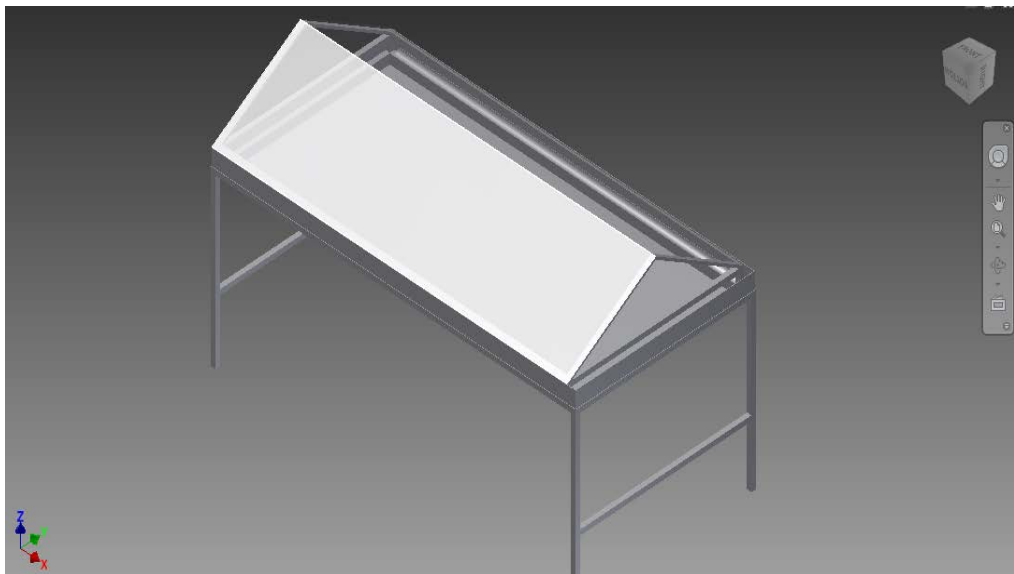
Figura 4.8 Montaje de la lana de vidrio vista frontal



Elaborado por: Bayron Tabuada

4.9 Ensamble del destilador solar tipo caseta

Figura 4.9 Ensamble del destilador solar tipo caseta



Elaborado por: Bayron Tabuada

4.10 Construcción del destilador solar tipo caseta

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

Figura 4.10. Ensamble del destilador parte inferior



Elaborado por: Bayron Tabuada

Figura 4.11 Ensamble de la bandeja con los canales



Elaborado por: Bayron Tabuada

En la figura 4.11, se indica la bandeja de acero inoxidable 304 conjuntamente con los canales de recolección de agua

Figura 4.12 Ensamble de la lana de vidrio



Elaborado por: Bayron Tabuada

En la figura 4.12, se indica el proceso para colocar la lana de vidrio en el destilador solar

Figura 4.13. Vista Frontal



Elaborado por: Bayron Tabuada

En la figura 4.13, se indica el ensamble entre la estructura inferior y la superior

Figura 4.14. Destilador tipo caseta



Elaborado por: Bayron Tabuada

En la figura 4.14 se, indica el destilador ensamblado y listo para funcionar.

4.11 Funcionamiento del destilador solar

Una vez realizado la construcción del destilador solar se procederá a efectuar las pruebas de funcionamiento del destilador solar tipo caseta.

Figura 4.15. Destilador tipo caseta en funcionamiento



Elaborado por: Bayron Tabuada

Figura 4.16. Destilador tipo caseta en funcionamiento



Elaborado por: Bayron Tabuada

En la figura 4.16, se indica como las gotas de agua evaporadas caen sobre los canales de recolección

Figura 4.17. Termómetros instalados en el destilador



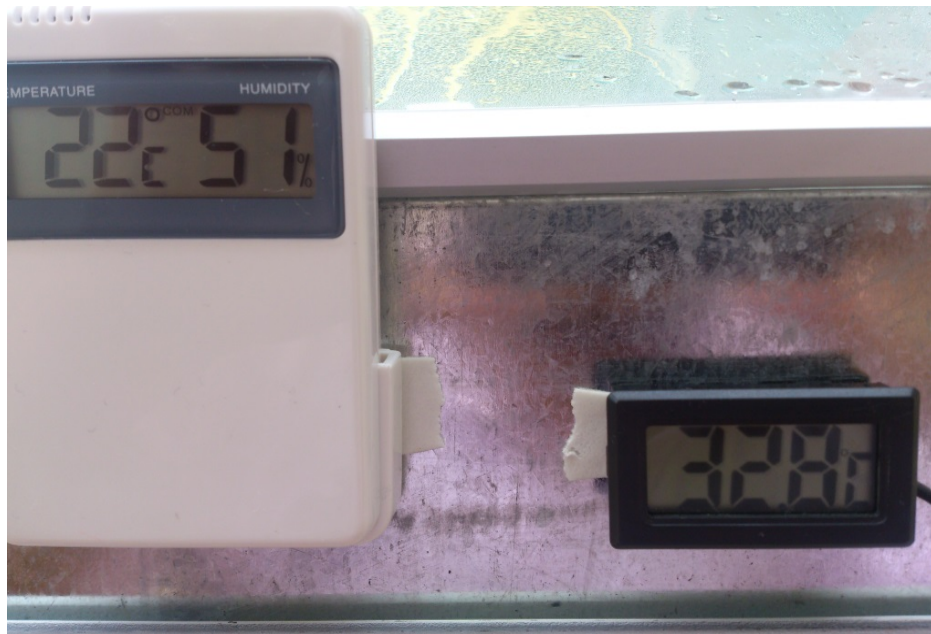
Temperatura exterior

Temperatura inferior

Elaborado por: Bayron Tabuada

En la figura 4.17, se indica la temperatura exterior la humedad relativa y la temperatura en el interior del destilador

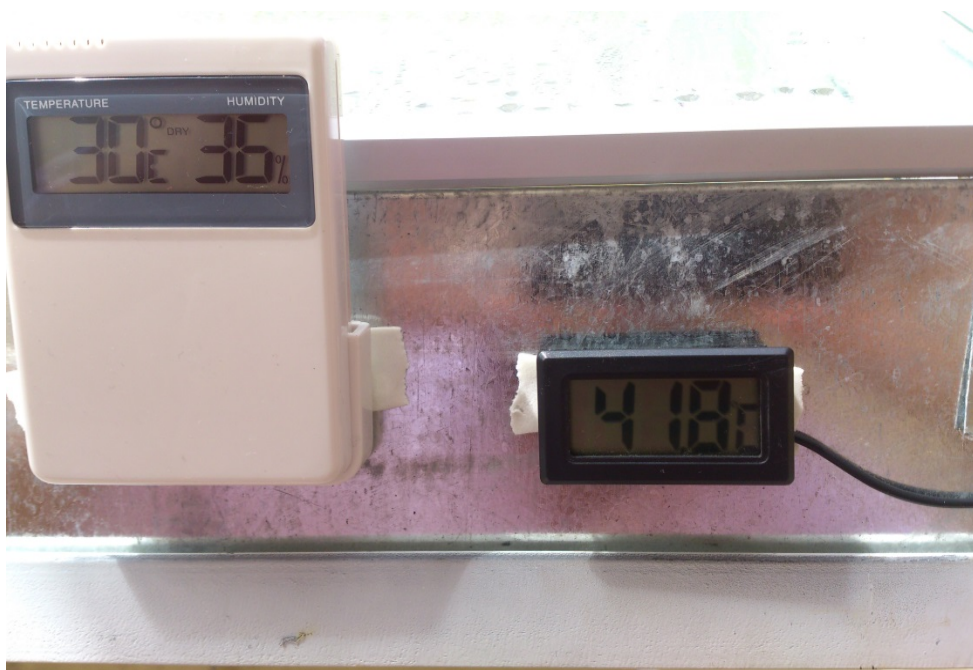
Figura 4.18 Termómetros instalados en el destilador



Elaborado por: Bayron Tabuada

En la figura 4.18 se puede observar que a medida que incrementa la temperatura ambiente en el interior del destilador se incrementa la temperatura.

Figura 4.19 Termómetros instalados en el destilador



Elaborado por: Bayron Tabuada

En la figura 4.19 se observa que la temperatura en el interior de la caseta se eleva hasta 42 °C

Figura 4.20 Termómetros instalados en el destilador

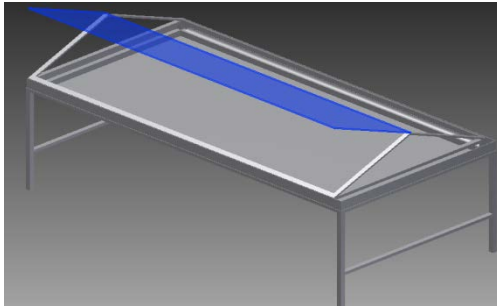


Elaborado por: Bayron Tabuada

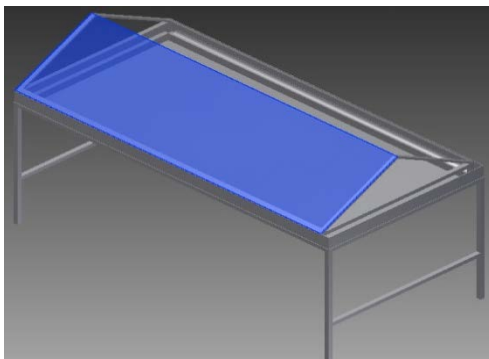
En la figura 4.20 se indica que a pesar de la disminución de la temperatura en el exterior del destilador la temperatura en el interior sigue aumentando.

4.12 Manual de funcionamiento

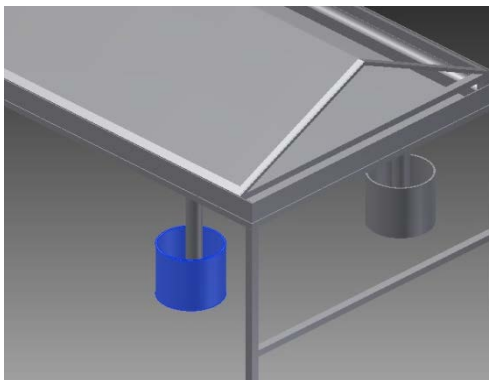
A continuación se detallara el proceso de funcionamiento del destilador solar tipo caseta.



1.- Abrir una de las puertas y proceder a llenar la bandeja colectora con agua



2.- Cerrar las puertas del destilador y esperar hasta que el sol empiece a calentar el agua



3.- Recolectar el agua destilada procedente de los tubos recolectores

4.14 Análisis económico

Al decidir realizar una inversión en la empresa se debe contar con la mayor cantidad de información para poder hacerlo minimizando los riesgos.

Para decidir realizar una inversión, casi siempre se piensa en términos de análisis de la rentabilidad de las inversiones. Así, se tocan técnicas financieras como las distintas medidas de riesgos y rentabilidad, el cálculo de los flujos de caja, la tasa de descuento, e inclusive técnicas más sofisticadas como los árboles de decisión, la simulación o la aplicación de la teoría de las opciones.

En las empresas, decidir si se realiza una inversión no es una decisión que se tome todos los días, no es algo tan cotidiano como facturar o comprar. Por eso, muchas empresas medianas suelen carecer de procedimientos evaluatorios de las inversiones, lo que queda reservado para grandes empresas.

4.14.1 Métodos financieros de valoración de inversiones

Los dos más utilizados para evaluar la viabilidad de una inversión son: el V.A.N. (Valor Neto Contable) y el T.I.R. (Tasa Interna de Rentabilidad).

4.14.2 V.A.N (Valor Neto Contable)

Es el rendimiento actualizado de los flujos positivos y negativos originados por la inversión. Es decir por todos los rendimientos que esperamos obtener de la misma.

4.14.3 T.I.R. (Tasa Interna de Rentabilidad).

Es la tasa de retorno o tipo de rendimiento interno de una inversión; es decir, es aquel tipo de actualización que hace igual a cero el valor del capital.

El VAN nos informa del beneficio absoluto que se va a obtener del proyecto de inversión. Así, entre varias opciones escogeremos aquella cuyo VAN sea más alto, porque será la que nos proporcionará un beneficio más elevado.

En cambio, el T.I.R. nos informa de la rentabilidad de la inversión, por lo tanto, es un indicador relativo al capital invertido.

Tabla 4.1 Análisis del V.A.N. y T.I.R.

Análisis del V.A.N. y T.I.R. del destilador solar tipo caseta							
ITEM-AÑOS	0	1	2	3	4	5	6
COSTO INICIAL	1100						
COSTO DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO		30	30	30	30	30	30
SALVAMENTO							100
BENEFICIOS		300	300	300	300	300	300
COSTOS TOTALES	1100	30	30	30	30	30	30
INGRESOS TOTALES	0	300	300	300	300	300	400
INGRESOS - COSTOS	-1100	270	270	270	270	270	370
VAN	\$ 54,23						
TIR	14%						

Elaborado por: Bayron Tabuada

Análisis adicional

Costo de un litro de agua destilada de forma tradicional 1\$

Costo del agua destilada obtenida con un destilador solar 0,86 \$

4.15 Conclusiones del capítulo

Utilizando los cálculos obtenidos en el capítulo anterior se procedió a la construcción del destilador solar tipo caseta, con materiales de buena calidad para un mejor desempeño del equipo.

Se indicó además el funcionamiento del equipo para evitar daños futuros por desconocimiento. El proceso de mantenimiento se lo debe realizar de acuerdo al plan de mantenimiento desarrollado.

CAPÍTULO V

Cuando ya se tiene el destilador construido se procederá a realizar las pruebas de funcionamiento.

5 Protocolo de pruebas

Las pruebas de funcionamiento se realizarán durante un día soleado en la ciudad de Quito y se medirán los siguientes parámetros.

Tabla 5.1 Parámetros medibles en el destilador solar

Denominación	Simbolo	Unidad
Temperatura ambiente	T_a	°C
Temperatura del agua	T_w	°C
Temperatura del Vidrio	T_v	°C
Humedad Relativa	HR	%
Volumen inicial	V_o	l
Volumen final	V_f	l
Volumen Destilado	V_d	l

Tabla 5.2 Dimensiones del destilador solar

Tabla de dimensiones	
Largo	2060
Ancho	1010
Altura	1200

Tabla 5.3 Pruebas de funcionamiento

Muestra	Hora		Tiempo min	Ta	Tw	Tv	HR	Vo
	de	hasta		°C	°C	°C	%	l
1	9:15	9:30	0:15	18	16.1	18.2	66	10
2	9:30	9:45	0:30	19	17.2	21.2	65	
3	9:45	10:00	0:45	21	22.3	22.4	63	
4	10:00	10:15	1:00	21	24.5	25.3	60	
5	10:15	10:30	1:15	22	27.8	30.1	57	
6	10:30	10:45	1:30	22	29.9	32.2	56	
7	10:45	11:00	1:45	23	35.6	33.7	55	
8	11:00	11:15	2:00	24	38.9	34.1	52	
9	11:15	11:30	2:15	25	40.7	35.2	52	
10	11:30	11:45	2:30	26	42.5	35.5	50	
11	11:45	12:00	2:45	26	43.5	35.6	49	
12	12:00	12:15	3:00	27	46.3	37.6	45	
13	12:15	12:30	3:15	28	47.3	38.8	41	
14	12:30	12:45	3:30	29	47.9	39.4	38	
15	12:45	13:00	3:45	29	48.3	39.8	38	
16	13:00	13:15	4:00	30	48.5	40.6	35	
17	13:15	13:30	4:15	31	49.8	40.8	32	
18	13:30	13:45	4:30	32	50.3	40.6	30	
19	13:45	14:00	4:45	33	51.7	44.1	29	Vf
20	14:00	14:15	5:00	34	53.1	43.4	26	8 l

Muestra	Hora		Tiempo min	Ta	Tw	Tv	HR	Vo
	de -	hasta		°C	°C	°C	%	l
1	9:15	9:30	0:15	17	16,3	18.3	65	10
2	9:30	9:45	0:30	19	17,4	21.1	65	
3	9:45	10:00	0:45	20	22,5	22.5	63	
4	10:00	10:15	1:00	21	24,7	25.3	60	
5	10:15	10:30	1:15	21	28,1	30.3	56	
6	10:30	10:45	1:30	22	30,2	32.4	56	
7	10:45	11:00	1:45	23	36,0	33.4	55	
8	11:00	11:15	2:00	24	39,3	34.4	52	
9	11:15	11:30	2:15	25	41,1	35.4	52	
10	11:30	11:45	2:30	26	42,9	35.6	50	
11	11:45	12:00	2:45	27	43,9	36.6	49	
12	12:00	12:15	3:00	27	46,8	37.6	45	
13	12:15	12:30	3:15	28	47,8	38.8	41	
14	12:30	12:45	3:30	29	48,4	39.4	38	
15	12:45	13:00	3:45	29	48,8	39.8	38	
16	13:00	13:15	4:00	30	49,0	40.6	35	
17	13:15	13:30	4:15	31	50,3	40.8	30	
18	13:30	13:45	4:30	33	50,8	40.6	29	
19	13:45	14:00	4:45	33	52,2	44.1	28	Vf
20	14:00	14:15	5:00	34	53,6	43.4	26	8 l

Muestra	Hora		Tiempo min	Ta	Tw	Tv	HR	Vo
	de -	hasta		°C	°C	°C	%	l
1	9:15	9:30	0:15	17,5	16,2	18.3	65	10
2	9:30	9:45	0:30	19,0	17,3	21.1	65	
3	9:45	10:00	0:45	20,5	22,4	22.5	63	
4	10:00	10:15	1:00	21,0	24,6	25.3	60	
5	10:15	10:30	1:15	21,5	27,9	30.3	56	
6	10:30	10:45	1:30	22,0	30,0	32.4	56	
7	10:45	11:00	1:45	23,0	35,8	33.4	55	
8	11:00	11:15	2:00	24,0	39,1	34.4	52	
9	11:15	11:30	2:15	25,0	40,9	35.4	52	
10	11:30	11:45	2:30	26,0	42,7	35.6	50	
11	11:45	12:00	2:45	26,5	43,7	36.6	49	
12	12:00	12:15	3:00	27,0	46,5	37.6	45	
13	12:15	12:30	3:15	28,0	47,5	38.8	41	
14	12:30	12:45	3:30	29,0	48,1	39.4	38	
15	12:45	13:00	3:45	29,0	48,5	39.8	38	
16	13:00	13:15	4:00	30,0	48,7	40.6	35	
17	13:15	13:30	4:15	31,0	50,0	40.8	30	
18	13:30	13:45	4:30	32,5	50,6	40.6	29	
19	13:45	14:00	4:45	33,0	52,0	44.1	28	Vf
20	14:00	14:15	5:00	34,0	53,4	43.4	26	8 l

5.1 Conclusiones generales

Del presente proyecto de titulación se puede concluir lo siguiente acerca del destilador solar tipo caseta, del diseño, construcción y pruebas que se realizaron en los capítulos anteriores.

- Con el diseño y posterior construcción del destilador solar tipo caseta se lograra cubrir las necesidades básicas de agua destilada de los estudiantes del CIVABI y se colaborara con la investigación de energías alternativas como la solar y su aplicación en el proceso de destilación.
- El destilador solar permite elevar la temperatura del agua en el interior sin necesidad de utilizar fuentes de energía convencionales como combustibles fósiles o energía eléctrica, ya que aprovecha la energía emitida por el sol como su fuente de suministro.
- El destilador solar tipo caseta utiliza el 50% de la energía emitida por el sol y alcanza una eficiencia del 35% la cual se encuentra dentro de los estándares para destiladores solares.
- La construcción del destilador solar es sencilla y factible ya que los materiales son fáciles de encontrar en el mercado nacional y se puede construir en un taller metal mecánico convencional.
- Luego de las pruebas realizadas en la ciudad de Quito de logro determinar que el destilador solar tipo caseta diseñado produce 0.5lt de agua destilada en 4 horas de sol con lo cual se cumple la demanda de agua del CIVABI.

5.2 Recomendaciones

Para mejorar la eficiencia del destilador se recomienda la utilización de materiales aislantes de mejor calidad.

Orientar correctamente el destilador y nivelarlo para obtener un mejor rendimiento del mismo.

Realizar el mantenimiento como se indica en la hoja del mismo para prolongar la vida útil del equipo.

5.3 Lista de referencias

- Rodes Yanet Valdivia-Medina, S. P.-V.-G. (2013). AGUA PARA USO EN LABORATORIOS. *Instituto Nacional de Investigaciones en Metrología, Cuba*, 1-9.
- Beckman, D. a. (2013). *Solar Engineering of Thermal Processes*. United States of America: Wilet.
- Cengel. (2004). *Transferencia de calor*. Mexico: Mc Graw Hill.
- Hermosillo, J. (1995). *Notas de energia solar*. Mexico: Discusión sobre el modelado de la.
- IDAE. (1 de 03 de 2007). *IDAE*. Recuperado el 7 de 8 de 2014, de IDAE:
<http://www.idae.es/>
- Incropera. (2000). *Fundamentos de transferencia de calor*. Mexico: Pearson Education.
- Unizar. (2003). *unizar.es*. Recuperado el 28 de Octubre de 2013, de <http://www.unizar.es/>:
http://www.unizar.es/actividades_fq/ciclo_agua/actividad.pdf
- Vera, N. (2005). Aspectos Basicos de la Radiacion Solar. *Radiacion Solar*, 143-152.

ANEXO 1

Velocidad del viento correspondiente a la ciudad de Quito del periodo de 1982 al 2012

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA														
Viento-Direccion Predominante -Velocidad 13H00 (m)														
SERIES MENSUALES DE DATOS METEOROLOGICOS														
NOMBRE: QUITO INAMHI-INNAQUITO CODIGO: M0024														
PERIODO: 1900 - 2012 LATITUD: 06 10' 0" S LONGITUD: 78 29' 0" W ELEVACION: 2789.00														
ANOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	SUMA	MEDIA
1982	2,8 NE	3,3 NE	3,3 SE	2,9 NE	3,4 NE	3,4 S	5,2 SE	5,5 SE	5,5 SE	2,8 NE	2,8 NE	2,3 NE	43,2	3,6
1983	2,6 NE	3,2 NE	3,2 NE	2,6 NE	2,6 NE	2,6 NE	3,4 NW	5,2 SE	3,1 NE	3,3 SE	3,3 SE	3,3 SE	38,4	3,2
1984	4,3 NW	4,3 NW						3,4 NE	3,3 NE	2,9 NE	3,8 NE	3,3 NE		
1985	4,1 NE			3,0 S	3,7 S					2,3 S				
1986	3,8 NE	3,8 NE	2,8 NE	3,4 NE	3,7 NE	3,5 S	3,8 S	3,5 NE	4,3 S	4,2 S	3,8 NE	4,1 NE	44,7	3,7
1987		3,7 NE	3,7 NE	2,8 NE	3,3 NE	2,5 NE	2,9 NE	3,7 NE	4,4 NE	4,2 NE	4,3 NE	3,1 NE		
1988	3,9 NE	3,4 NE	4,5 NE	4,4 NE	3,9 NE	2,9 NE	3,7 NE	2,8 NE	3,7 NE	2,9 NE	3,4 NE	4,2 NE	43,7	3,6
1989	3,3 NE	3,2 NE	3,2 NE	3,4 NE	3,5 NE	3,2 NE	4,1 NE	4,1 NE	3,2 NE	3,3 NE	4,3 NE	4,1 NE	42,9	3,5
1990	3,5 NE	4,1 NE	4,0 NE	4,5 NE	2,7 NE	3,3 NE	2,8 NE	4,0 SW	3,6 NE	3,2 NE	2,9 NE	4,0 NE	42,6	3,5
1991	3,6 NE	3,2 NE	3,6 NE	3,1 NE	3,8 NE	3,4 NE	3,8 NE	4,6 NE	3,9 NE	3,1 NE	4,1 NE	4,7 NE	44,9	3,7
1992	3,8 NE	2,6 NE	3,9 NE	3,7 NE	3,5 NE	3,8 NE	4,7 NE	4,4 NE	3,7 NE	4,3 NE	3,0 NE	3,2 NE	44,6	3,7
1993	3,8 NE	3,7 NE	2,9 NE	3,7 NE	3,3 NE	3,8 NE	3,7 NE	4,0 NE	3,6 NE	3,3 NE	4,5 NE	3,4 NE	43,7	3,6
1994	3,4 NE	3,4 NE	3,6 NE	3,6 NE	3,1 NE	2,9 NE	3,8 NE	4,5 E	5,3 E	4,6 NE	3,5 NE	3,1 NE	44,8	3,7
1995	2,9 NE	4,4 N	3,4 N	3,5 NE		2,8 NE	2,3 NE	3,1 NE	3,0 S	2,7 N	2,7 NE	2,5 NE		
1996	2,3 NE	2,5 NE	2,5 NE	2,8 NE	1,4 NE	2,0 NE	3,7 S	2,7 S	3,4 S	2,6 NE	2,1 NE	2,5 NE	30,5	2,5
1997	2,9 NE	1,8 NE	3,2 NE	2,3 NE	1,6 NE	2,3 NE	4,3 S	2,9 NE	2,8 NE	3,0 NE	2,7 NE	1,8 NE	30,6	2,5
1998	1,8 NE	2,4 NE	3,3 S	3,3 NE	3,1 N	2,6 SW	2,4 NE	2,3 NE	2,2 NE	2,5 NE	2,1 NE	2,5 NE	30,5	2,5
2000	2,6 N	2,8 N	2,8 N	2,5 N	2,8 N	2,8 NE	3,0 N	2,9 NE	2,8 NE	4,1 N	3,3 N	1,8 N	34,2	2,8
2001	2,8 NE	3,2 NE	2,1 NE	2,5 NE	2,0 NE	2,9 NE	2,8 NE	3,3 N	1,9 N	2,9 NE	2,9 NE	2,1 N	30,4	2,5
2002	2,7 N	2,2 NE	2,4 N	2,0 N	2,3 NE	2,8 NE	3,4 NE	3,4 NE	2,0 NE	2,7 NE	3,3 NE	2,8 NE	33,0	2,7
2003	1,9 NE	2,3 NE	1,9 NE	2,7 NE	1,9 NE	2,1 NE	2,6 NE	4,4 E	3,4 E	2,4 NE	2,6 NE	2,3 NE		
2004	3,2 NE	2,7 NE	2,7 NE	2,8 NE	2,9 NE	3,4 NE	2,8 NE	4,4 E	3,4 E	2,5 NE	2,2 NE	3,0 NE	36,0	3,0
2005	3,2 N	2,1 NE	2,9 NE	3,1 NE	2,3 NE	3,5 E	4,2 NE	4,4 NE	3,7 NE	2,7 NE	4,0 NE	2,8 N	38,9	3,2
2006	2,3 NE	2,8 NE	2,8 NE	2,7 NE	2,3 NE	2,8 NE	2,8 NE	3,5 E	1,8 NE	2,3 NE	2,7 NE	2,3 NE	31,3	2,6
2007	1,8 NE	2,8 NE	2,2 NE	2,4 NE	1,9 NE	2,2 E	2,5 NE	2,8 NE	5,3 E	2,3 NE	2,8 NE	2,3 NE		
2008	2,3 NE	2,4 NE	1,8 NE	1,7 NE	2,1 NE	2,0 NE	2,2 NE	1,6 NE	2,1 NE	2,4 NE	2,2 NE	2,0 NE	24,8	2,0
2009	2,2 NE	1,9 NE	2,2 NE	1,8 NE	2,2 NE	3,0 NE	3,9 E	4,5 E	4,7 NE	2,9 NE	2,6 NE	3,2 NE	35,1	2,9
2010	3,2 NE	3,2 NE	3,0 NE	3,3 NE	3,5 NE	2,9 NE	3,5 NE	3,9 E	3,7 E	4,8 NE	3,6 NE	3,6 NE		
2011	4,1 NE	3,8 NE	3,0 NE	2,8 NE	3,5 NE	2,8 NE	2,5 E	4,8 NE	3,3 NE	3,4 NE	3,7 NE	3,3 NE	41,0	3,4
2012	2,4 NE	2,7 NE		2,6 NE	3,5 NE	3,4 E	3,5 NE	3,4 NE	5,3 NE	2,5 NE				
media	3,0	3,0	2,9	2,9	2,8	2,9	3,3	3,7	3,5	3,1	3,1	3,0	37,6	3,1
minima	1,8	1,8	1,8	1,7	1,4	2,0	2,2	1,6	1,8	2,3	2,1	1,8		1,4
maxima	4,3	4,4	4,5	4,5	3,9	3,8	5,2	5,5	5,5	4,8	4,5	4,7		5,5

ANEXO 2

Temperatura media anual de la ciudad de Quito correspondiente al periodo 1975-2012

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA														
Temperatura Media Mensual (°C)														
SERIES MENSUALES DE DATOS METEOROLOGICOS														
NOMBRE: QUITO INAMHI-INNAQUITO CODIGO: M0024														
PERIODO: 1900 - 2012 LATITUD: 06 10' 0" S LONGITUD: 786 29' 0" W ELEVACION: 2789.00														
ANOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	SUMA	MEDIA
1975	13.1	12.0	12.9	13.7	13.0	13.2	13.6	13.4	14.7	13.6	12.6	12.7	160.4	13.3
1976	12.9	12.2	13.1	13.3	13.4	13.1	14.0	14.5	15.0	13.5	13.7	13.4	167.7	13.9
1977	13.9	13.3	14.4	13.7	14.2	13.1	14.0	14.5	14.4	14.4	15.0	14.2	172.9	14.4
1978	13.8	14.6	14.4	13.4	14.7	14.6	14.4	14.8	14.2	14.7	14.7	14.8		
1979	14.4	14.4	14.4	14.8	14.5	14.7	14.8	14.2	14.2	14.5	14.1	14.4	177.7	14.8
1980	15.0	13.7	15.3	14.7	15.2	15.2	15.0	15.2	15.4	14.5	14.1	14.4	175.2	14.6
1981	14.7	14.6	14.5	14.6	14.4	14.4	14.1	14.7	15.2	14.9	14.3	14.8	175.1	14.5
1982	13.8	14.4	14.5	14.3	14.4	15.3	14.9	15.7	15.0	13.9	14.4	14.5	178.6	14.8
1983	15.6	15.4	15.1	14.7	15.1	14.8	14.8	15.2	14.8	14.5	15.1	13.5	178.6	14.8
1984	12.9	13.0	14.0	13.6	13.3	14.0	13.9	15.0	13.6	13.8	13.5	14.8	165.6	13.8
1985	13.6	14.3	14.1	14.1	14.3	14.3	14.6	15.1	15.3	14.6	14.2	14.9	175.1	14.5
1986	14.4	13.7	13.5	14.6	14.6	15.0	15.2	15.1	15.3	14.3	14.5	14.9	183.3	15.2
1987	15.1	15.9	14.9	14.8	14.9	15.9	15.1	14.6	15.2	14.6	15.4	13.2	172.3	14.3
1988	15.2	15.0	15.0	14.3	14.6	14.2	14.2	14.4	14.4	14.0	15.5	14.9	172.1	14.3
1989	13.9	13.7	13.0	14.5	14.5	13.8	14.2	15.0	14.7	14.4	15.2	14.9	180.6	15.0
1990	15.4	14.1	15.3	14.9	15.2	15.6	14.6	15.7	15.6	14.1	14.2	14.9	179.5	14.9
1991	14.8	15.4	14.6	14.7	15.0	15.6	15.0	15.0	15.3	15.0	14.2	14.9	179.5	14.9
1992	15.5	15.3	15.6	15.2	15.0	15.8	15.0	15.3	14.8	15.3	14.5	15.0	182.3	15.1
1993	14.4	14.1	13.9	14.7	14.6	16.0	15.1	15.5	14.8	15.3	14.7	14.7	177.4	14.7
1994	14.1	14.4	14.2	14.6	15.1	15.5	15.3	15.3	16.1	14.6	14.2	14.9	178.3	14.8
1995	15.1	15.1	14.7	15.1	14.5	15.3	14.4	15.1	15.5	14.8	14.1	14.0	173.4	14.4
1996	13.6	14.0	13.9	14.1	14.5	14.7	14.4	15.2	15.3	14.2	14.6	14.9	182.8	15.2
1997	14.0	15.0	14.8	14.8	15.5	14.8	16.1	16.3	15.7	15.5	14.5	15.8	185.6	15.4
1998	16.7	16.4	16.0	15.9	15.7	15.4	14.9	15.2	15.2	14.9	14.6	14.7	170.6	14.2
1999	14.1	13.4	14.1	14.4	14.2	13.9	14.8	15.1	14.0	14.2	14.6	13.8	172.3	14.3
2000	13.6	13.4	13.9	14.1	14.1	14.6	14.6	15.3	14.2	15.5	14.6	14.4	181.5	15.1
2001	13.8	14.9	14.2	15.2	15.1	15.4	15.2	16.3	14.8	16.2	15.1	15.3	181.5	15.1
2002	13.1	14.9	15.0	14.3	15.5	15.2	15.9	16.0	16.0	15.3	14.9	15.2	183.3	15.2
2003	15.9	16.0	15.0	15.1	15.7	14.9	15.6	16.2	15.8	14.9	15.0	14.8	183.9	15.3
2004	15.1	15.0	15.9	15.0	15.5	15.9	15.1	16.2	15.5	14.9	15.0	14.8	183.9	15.3
2005	15.2	15.5	15.0	15.8	15.7	16.0	16.2	16.1	16.4	14.6	14.7	13.9	185.1	15.4
2006	14.6	15.1	14.5	14.7	15.5	15.1	16.1	16.2	16.0	14.5	14.5	14.9	182.5	15.2
2007	16.0	15.4	15.0	14.8	15.3	15.3	15.6	15.2	16.1	14.5	14.9	14.0	182.1	15.1
2008	14.6	13.6	13.7	14.3	14.2	14.9	14.8	14.6	15.5	14.5	14.3	14.4	173.4	14.4
2009	14.5	14.5	14.8	15.2	15.3	15.5	16.0	16.3	17.0	16.0	15.9	15.9	186.9	15.5
2010	16.5	17.0	16.8	15.2	15.3	15.5	14.6	15.0	15.1	15.2	13.6	14.0		
2011	14.6	14.3	13.9	13.9	15.5	15.3	14.9	15.4	15.5	14.4	14.6	14.6	176.9	14.7
2012	14.1	14.1	13.9	14.2	15.3	15.9	16.6	16.2	16.6	15.2	14.6	14.6		

ANEXO 3

Humedad relativa anual de la ciudad de Quito correspondiente al periodo 1982-2012

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA														
Humedad Relativa Media Mensual (%)														
SERIES MENSUALES DE DATOS METEOROLOGICOS														

NOMBRE: QUITO INAMHI-INNAQUITO														
CODIGO: M0024														
PERIODO: 1900 - 2013 LATITUD: 06 10' 0" S LONGITUD: 78 29' 0" W ELEVACION: 2789.00														
ANOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	SUMA	MEDIA
1982	90	88	90	86	85	74	72	61	72	82	86	89	975	81
1983	85	82	86	89	87	82	76	74	76	84	82	86	989	82
1984	81	83	80	88	87	82	76	74	83	86	82	81	983	81
1985	86			82	81					77				
1986	79	79	77	76	73	65	56	60	62	77	74	73	851	70
1987	72	68	75	74	72	63	68	63	71	79	66	64	835	69
1988	75	75	68	80	77	70	63	64	69	77	81	78	877	73
1989	76	78	78	76	73	76	63	65	71	76	73	74	879	73
1990	71	80	72	77	73	62	62	59	62	79	72	74	843	70
1991	76	74	83	77	77	71	69	61	67	67	82	81	885	73
1992	71	76	76	79	76	65	59	63	68	66	72	71	847	70
1993	72	77	76	78	77	58	58	53	66	68	73	76	831	69
1994	75	77	77	75	74	61	59	58	60	68	77	76	840	70
1995	69	71	74	74	74	69	66	64	59	73	77	73		
1996	77	75	78	78	75	69	60	57	59	72	67	68	835	69
1997	76	68	74	72	68	68	51	53	64	69	77	68	808	67
1998	65	71	73	79	74	65	66	62	67	71	78	71	842	70
1999	80	80	76	76	81	78	61	57	72	71	75	80	887	73
2000	77	76	77	78	76	73	63	56	68	62	67	69	842	70
2001	71	66	74	68	71	59	60	49	66	62	69	75	790	65
2002	69	71	74	77	67	59	58	54	59	67	70	74	799	66
2003	66	68	70	73	69	68	57		62	71	74	71		
2004	69	67	68	73	71	57	51	51	61	73	74	73	798	66
2005	70	74	77	72	68	66	58	59	59	73	71	77	824	68
2006	74	75	76	76	70	68	57	57	60	69	78	75	835	69
2007	70	67	76	80	77	69	57	65	59	77	74	77	835	71
2008	76	78	76	75	76	69	64	66	64	71	74	76	865	72
2009	75	74	74	72	69	67	59	61	54	67	68	72	812	67
2010	63	66	66	77	77	72	74	68	70	73	83	82		
2011	78	83	82	84	77	72	74	66	67	74	77	77	903	75
2012	81	79		86	79	72	68	63	62	73	79	76		
media minima maxima	74 63 90	74 66 88	75 66 90	77 68 89	75 67 87	68 57 82	63 51 76	60 49 74	65 54 83	72 62 86	74 66 86	75 64 89	859	71 49 90

ANEXO 4

Heliofania anual de la ciudad de Quito correspondiente al periodo 1982-2012

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA														
Heliofania Efectiva Mensual (horas)														
SERIES MENSUALES DE DATOS METEOROLOGICOS														

NOMBRE: QUITO INAMHI-INNAQUITO CODIGO: M0024														

PERIODO: 1900 - 2013 LATITUD: 06 10' 0" S LONGITUD: 78 29' 0" W ELEVACION: 2789.00														

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	SUMA	MEDIA
1973	142.9	153.3	133.1	121.6	140.0	148.7	200.6	175.7	122.5	174.5	161.2	153.6	1827.9	152.3
1975	168.3	106.1	156.9	155.4	166.4	181.3	284.2	238.5	182.2	162.6	175.4	165.1	2284.9	190.4
1976	170.3	130.9	145.7	145.3	189.7	196.8	232.2	201.7	242.1	182.5	193.4	218.6	2345.2	195.4
1977	229.1	147.0	178.2	171.0	224.8	175.5	227.2	234.9	191.2	182.5	211.9	156.5	2271.9	189.3
1978	208.9	173.9	136.4	138.0	200.2	193.5	215.5	199.3	171.8	196.1	162.3	202.2	2184.9	182.0
1979	210.3	168.7	150.2	141.7	170.0	196.8	215.5	199.3	171.8	196.1	162.3	202.2	2184.9	182.0
1980	188.8	147.8	197.6	173.6	181.4	189.0	220.5	220.2	211.4	185.4	175.4	199.3	2290.4	190.8
1981	201.2	139.1	148.0	157.5	170.8	184.1	210.1	214.5	214.5	188.5	164.2	178.2	2180.4	181.7
1982	148.1	146.5	160.4	144.2	145.0	223.5	223.5	263.5	191.4	141.7	152.2	134.6	2074.6	172.8
1983	175.9	165.7	127.3	124.2	145.6	177.1	187.4	217.7	192.6	148.8	196.1	168.6	2027.0	168.9
1984	142.7	103.9	127.3	118.9	156.8	156.8	210.2	250.6	106.5	150.6	167.2	215.9		
1985	166.6	185.6	144.8	163.4	182.8	217.5	257.8	222.9	216.2	189.6	185.5	197.4	2143.7	178.6
1986	120.4	132.9	130.3	163.4	161.5	217.5	232.7	222.9	216.2	137.9	137.9	227.8	2165.1	180.4
1987	189.7	150.7	148.9	125.8	173.5	232.7	201.4	235.4	168.0	146.4	187.0	227.8	2165.1	180.4
1988	165.8	149.9	168.0	110.1	145.9	155.6	201.4	171.5	155.2	136.7	106.3	142.3	1808.7	150.7
1989	123.9	135.2	133.5	166.0	192.6	157.7	249.5	233.0	191.4	185.1	202.5	213.5	2183.9	181.9
1990	228.5	133.4	174.8	164.3	170.7	207.2	237.6	227.1	246.1	170.0	186.5	196.7	2376.9	198.0
1991	210.1	189.9	149.3	175.1	163.7	204.4	203.1	240.5	182.9	180.2	150.9	201.3	2251.4	187.6
1992	181.5	170.2	158.2	149.7	144.5	211.4	251.0	232.4	182.9	188.1	191.0	195.6	2301.8	191.8
1993	181.5	127.5	126.2	157.3	155.6	225.3	227.3	249.7	189.5	181.0	129.6	159.8	2110.3	175.8
1994	152.4	129.2	125.8	126.6	133.9	193.8	227.3	249.7	189.5	181.0	129.6	159.8	2110.3	175.8
1995	196.7	199.6	169.9	138.9	181.9	181.9	200.4	225.3	193.1	160.3	144.4	184.7	184.7	184.7
1996	119.7	104.4	120.5	131.7	168.4	139.7	220.5	222.3	199.4	148.8	240.0	191.5	2027.9	168.9
1997	165.1	149.9	111.0	147.7	157.1	148.2	246.1	223.3	161.7	168.8	105.9	179.7	1974.5	164.5
1998	159.2	124.3	132.3	126.6	133.3	182.2	179.5	190.7	184.6	170.8	175.5	216.8	1975.0	164.5
1999	128.1	87.9	37.0	141.0	134.5	124.9	198.1	198.2	130.3	156.0	169.2	128.8	1634.0	136.1
2000	151.2	127.1	119.3	111.2	89.7	162.6	183.4	160.7	130.3	201.5	178.1	167.0	1634.0	136.1
2001	156.3	152.2	109.6	125.0	106.7	166.0	183.4	160.7	130.3	201.5	178.1	167.0	1634.0	136.1
2002	193.3	131.4	117.8	125.2	135.9	166.0	229.8	269.4	151.2	161.9	137.3	170.3	2034.6	169.5
2003	204.7	136.9	134.2	167.1	180.3	145.2	231.5	231.9	210.1	161.9	137.3	150.7	2099.7	174.9
2004	222.2	158.7	151.7	123.8	162.4	218.1	176.4	251.4	179.0	172.2	142.3	142.3	2137.8	178.1
2005	172.2	149.1	106.6	125.5	192.0	184.5	249.7	231.0	220.0	125.7	158.5	123.1	2037.9	169.8
2006	112.9	114.9	114.2	113.4	184.7	176.8	209.7	204.9	204.9	183.6	123.0	147.2	1834.2	156.6
2007	196.1	179.2	121.5	115.5	157.3	167.4	217.3	172.3	185.4	142.5	163.6	116.2	1934.2	161.1
2008	141.4	104.2	92.2	132.3	133.9	182.6	176.3	164.7	171.1	122.2	132.6	153.8	1737.5	144.7
2009	111.5	104.6	146.6	150.2	176.9	182.6	213.0	186.3	230.6	164.3	175.5	73.0	2025.7	144.7
2010	232.2	156.5	159.9	119.6	159.6	135.1	169.5	183.3	193.7	158.8	78.5	73.0	2025.7	166.8
2011	161.7	100.3	119.4	93.1	155.7	144.2	163.9	225.9	175.9	149.4	165.8	143.5	1798.8	149.9
2012	97.8	77.5	132.3	91.1	150.4	210.9	224.7	227.8	240.7	143.2	143.2	175.0	1798.8	149.9

ANEXO 5

Constantes climáticas y horas de sol posibles

Tabla I.5.- Constantes climáticas y horas de Sol posibles en %
Las constantes climáticas a y b dependen de la localidad

Localidad	Clima*	Vegetación**	Horas de Sol posibles		a	b
			Margen	Promedio		
Albuquerque, New México	BS-BW	E	68-85	78	0,41	0,37
Atlanta, (USA).	Cf	M	45-71	59	0,38	0,26
Blue Hill, Mass.	Df	D	42-60	52	0,22	0,5
Brownsville, Tex.	BS	GDsp	47-80	62	0,35	0,31
Buenos Aires, Argentina	Cf	G	47-68	59	0,26	0,5
Charleston, S.C.	Cf	E	60-75	67	0,48	0,09
Darien, Manchuria	Dw	D	55-81	67	0,36	0,23
El Paso, Texas	BW	Dsi	78-88	84	0,54	0,2
Ely, Nevada	BW	Bzi	61-89	77	0,54	0,18
Hamburgo, Alemania	Cf	D	11-49	36	0,22	0,57
Honolulu, Hawai	Af	G	57-77	65	0,14	0,73
Madison, Wisconsin	Df	M	40-72	58	0,3	0,34
Malange, Angola	Aw Bs	GD	41-84	58	0,34	0,34
Miami, Florida	Aw	E-GD	56-71	65	0,42	0,22
Niza, Francia	Cs	SE	49-76	61	0,17	0,63
Poona, India	Am	S	25-49	37	0,3	0,51
Poona, India (Monzón Seco)	65-89	81	41	34		
Stanleyville Congo	Af	B	34-56	48	0,28	0,39
Tamanrasset, Argelia	BW	Dsp	76-88	82	0,3	0,43

ANEXO 7

Espesores de algunos materiales utilizados en la fabricación

La distribución de temperaturas finalmente obtenida es:

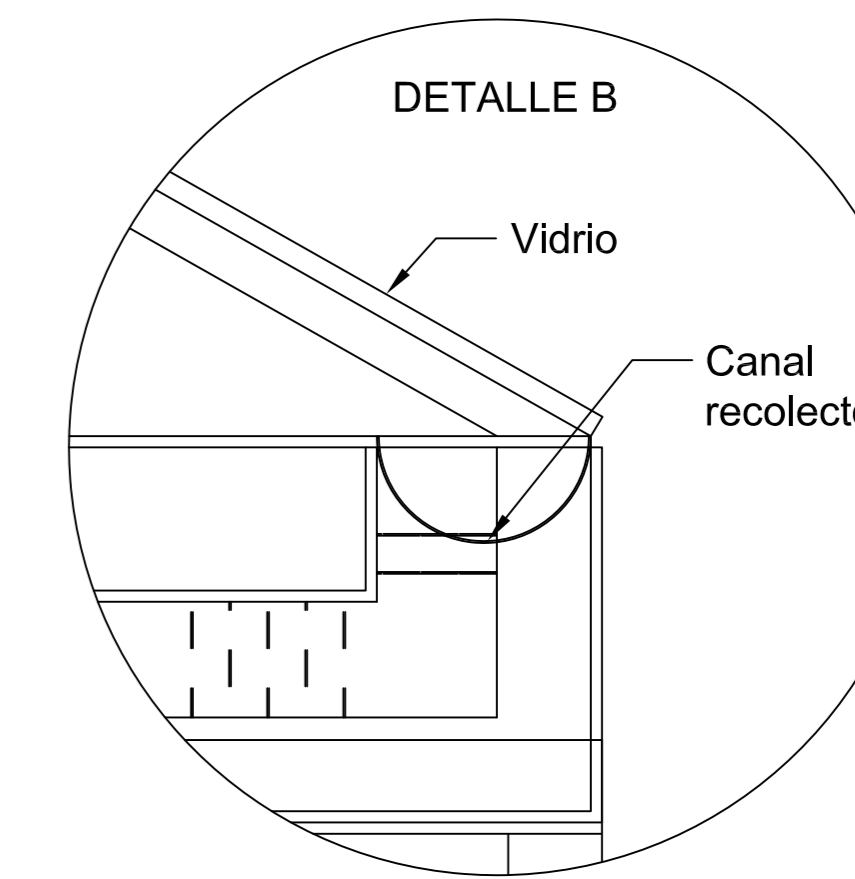
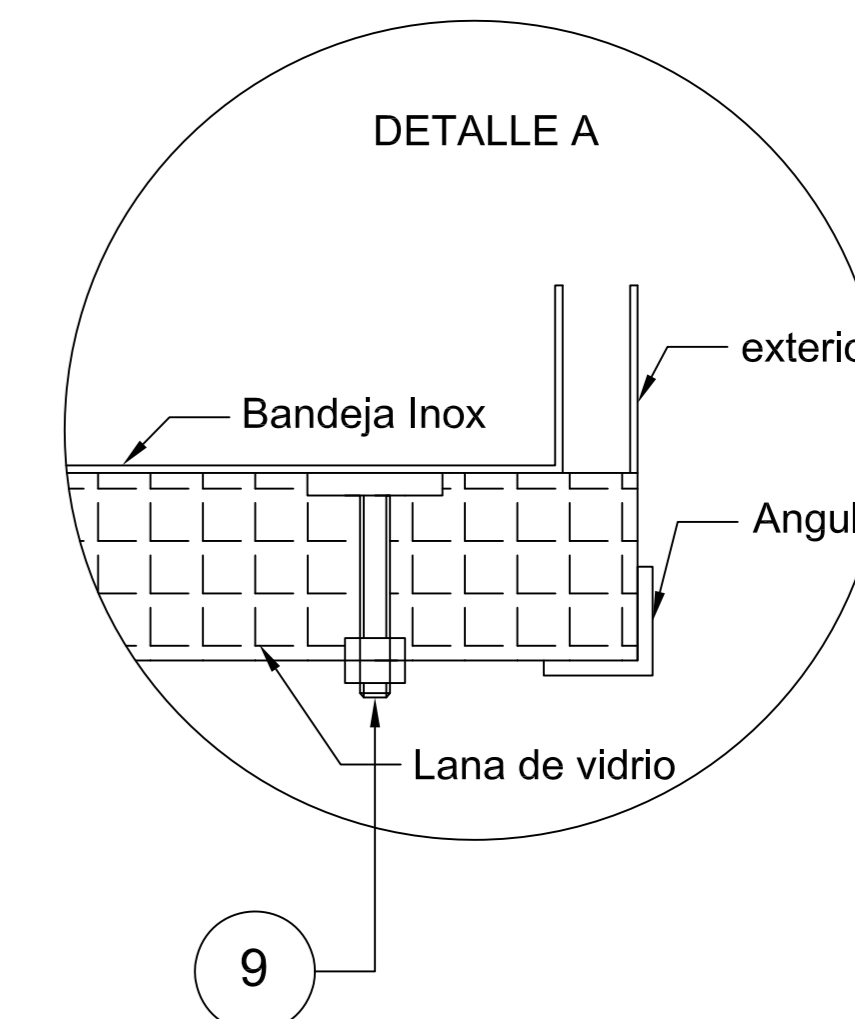
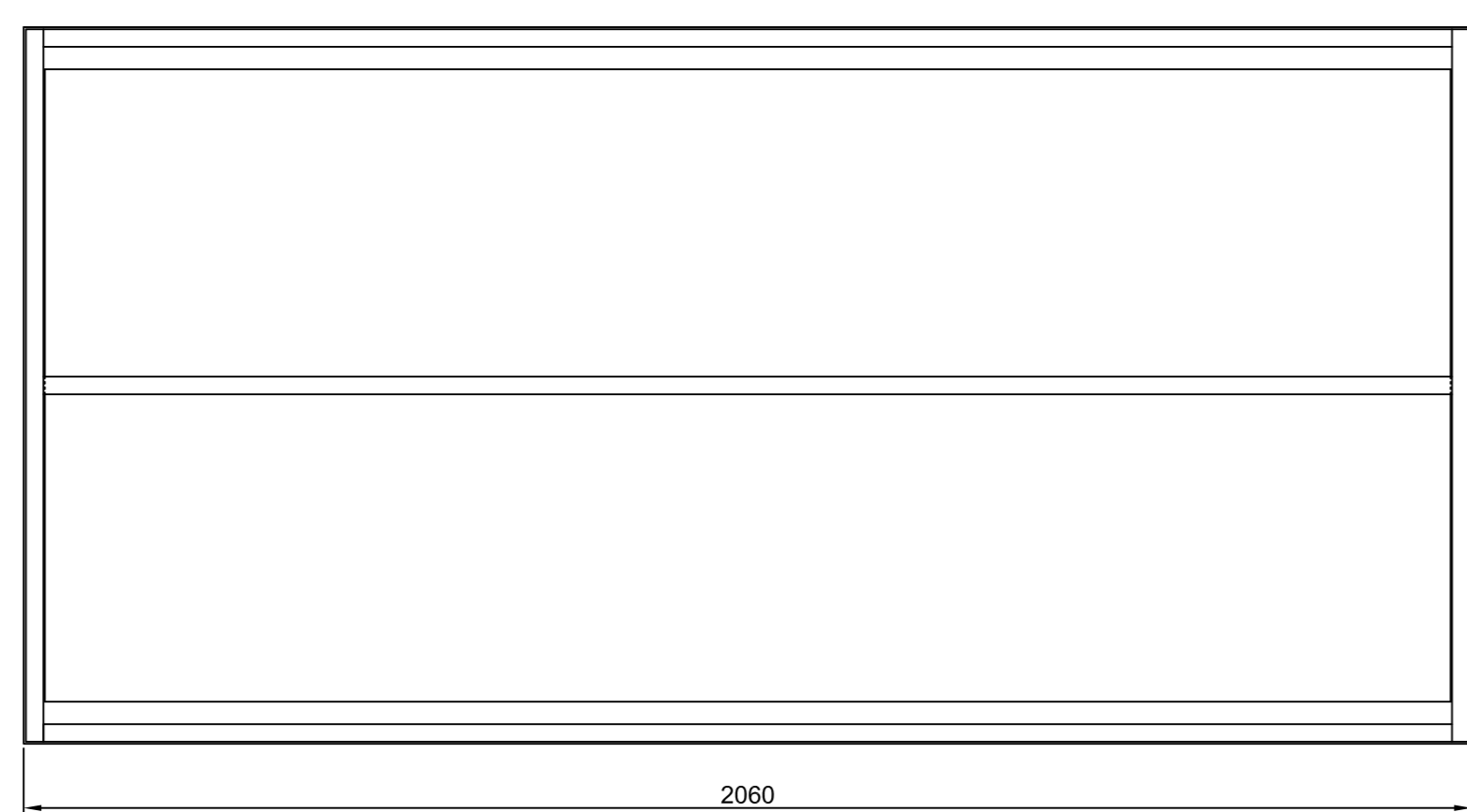
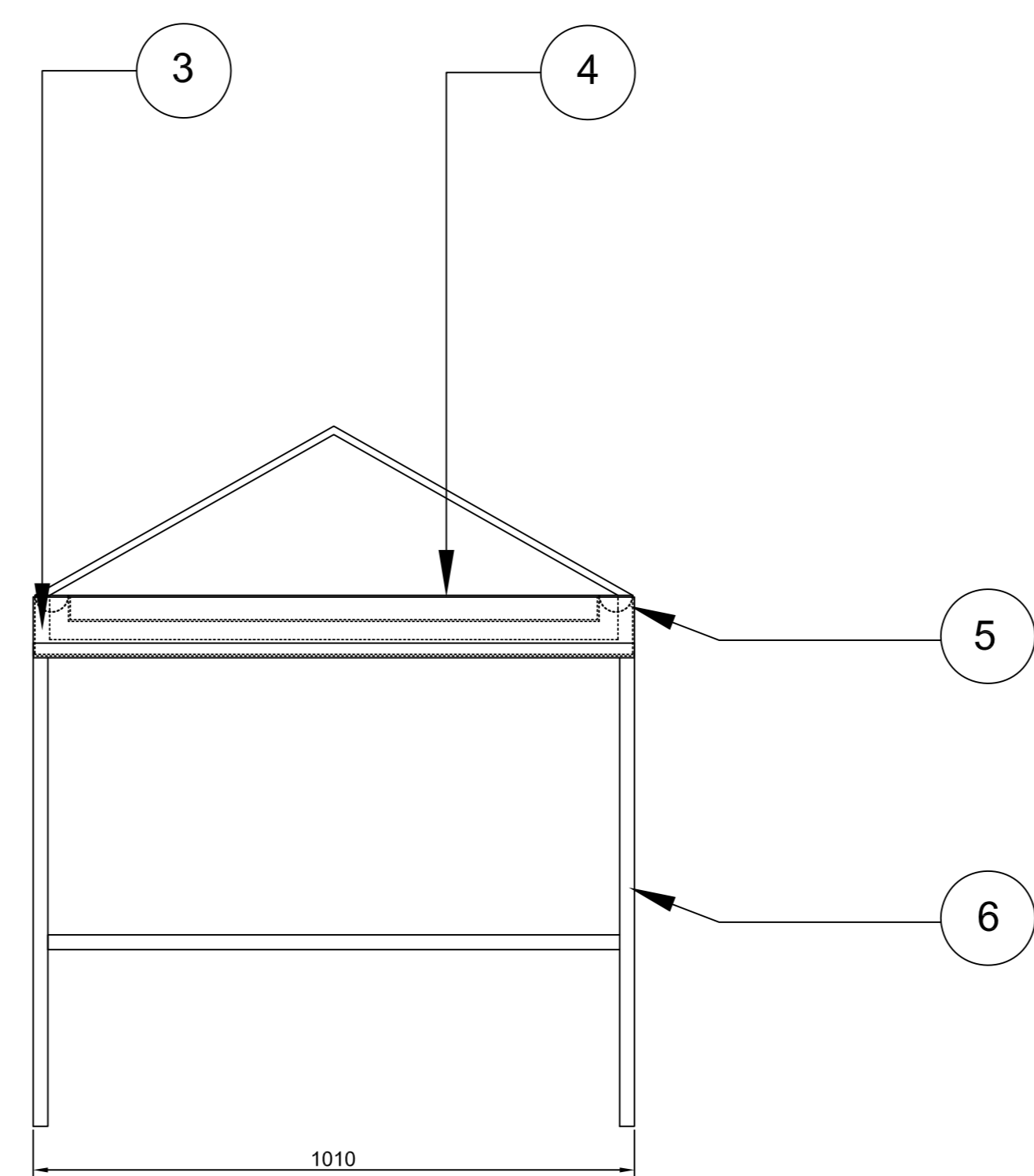
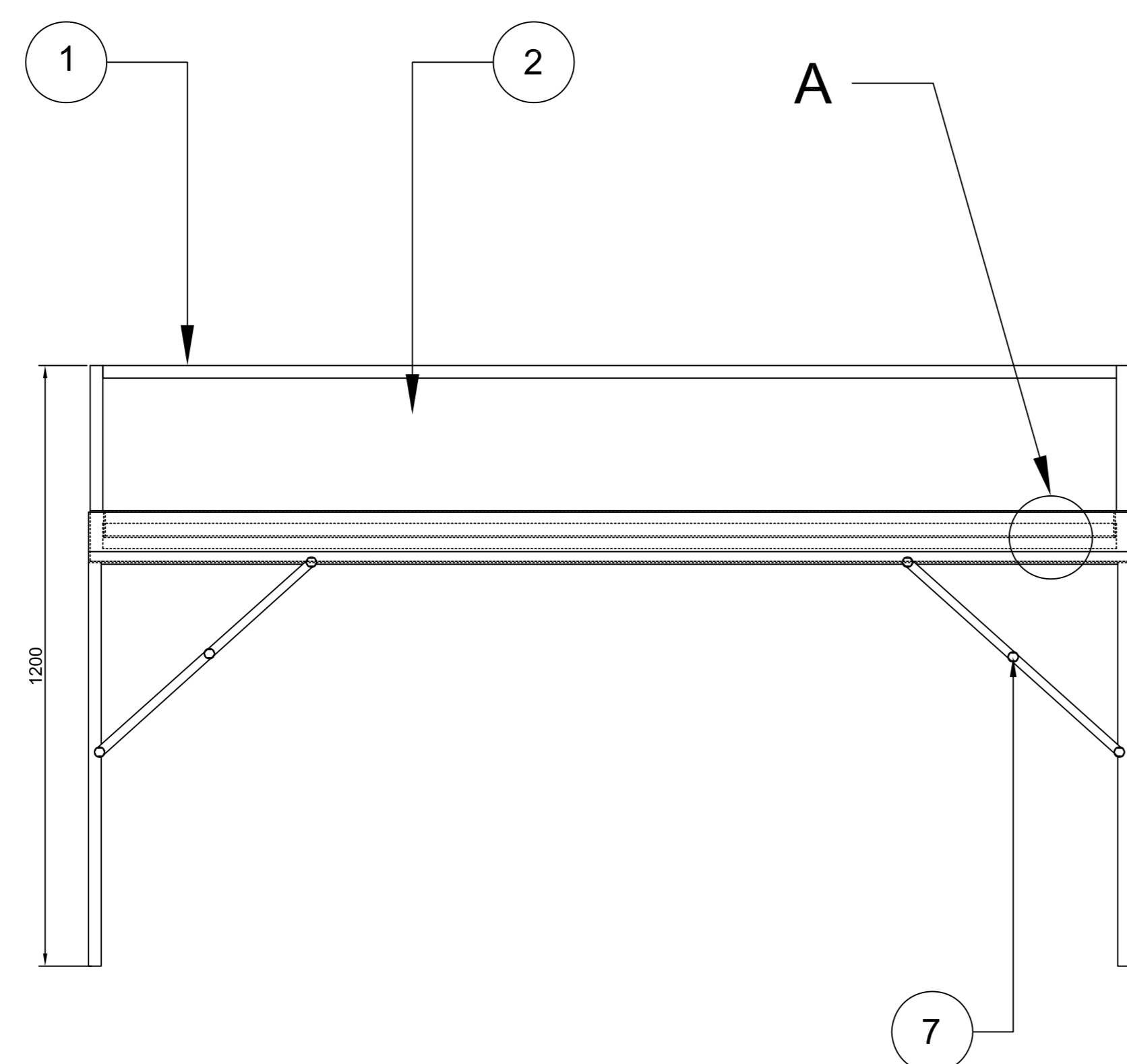
Material	Espesor (mm)	Conductividad (W/m K)	Densidad (kg/m ³)	T ₁ (°C)
Interior			0,000	90
Acero DN40	3,20	40,000	0,001	90
Lana de vidrio	43,90	0,040	4,120	89,99
Exterior			0,277	35

ANEXO 8
Tablas termodinámicas

TABLA A-4

Agua saturada. Tabla de temperaturas

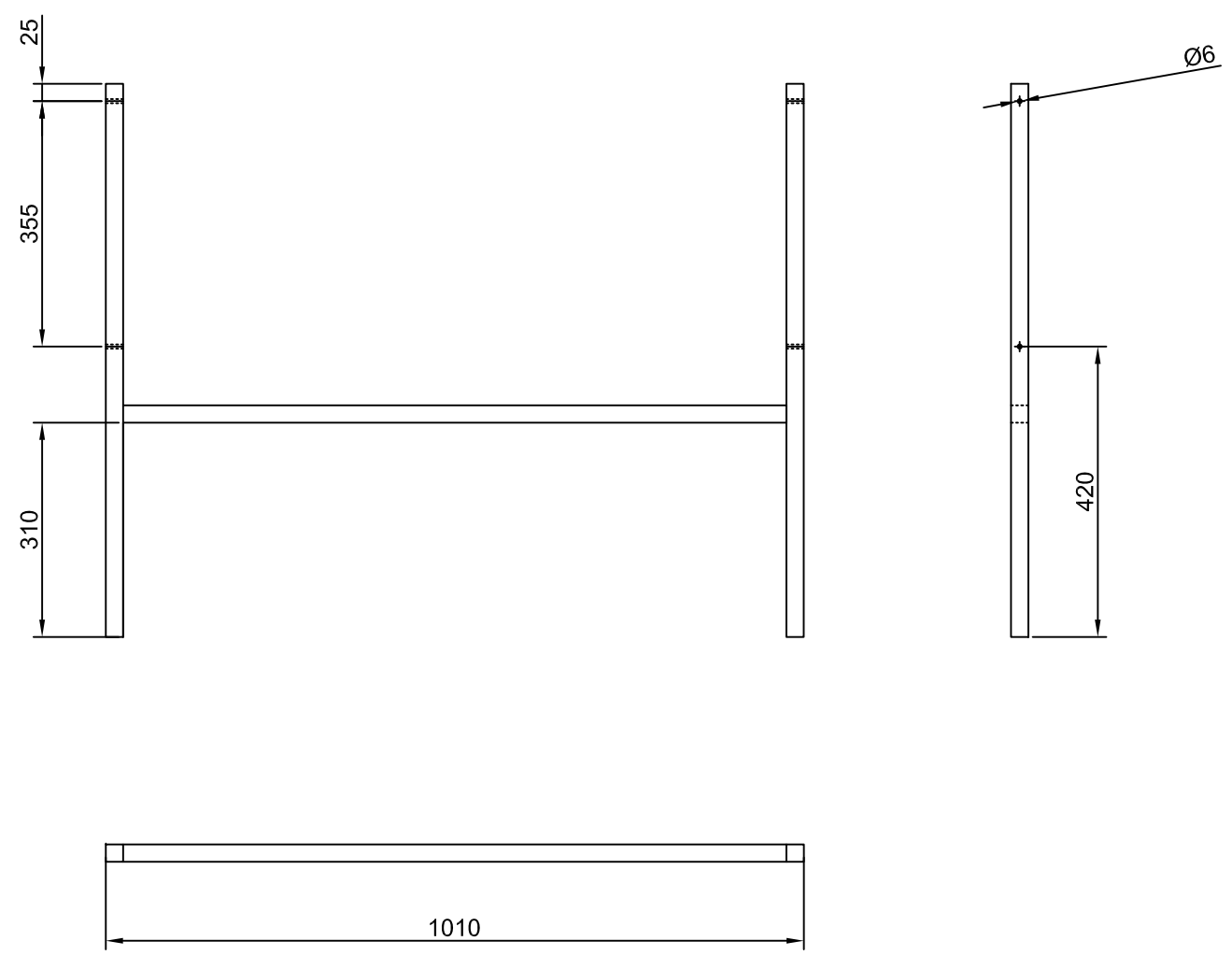
Temp., T °C	Pres. sat., P _{sat} kPa	Volumen específico, m ³ /kg		Energía interna, kJ/kg			Entalpía, kJ/kg			Entropía, kJ/kg · K		
		Líquido, sat., v _f	Vapor, sat., v _g	Líquido, sat., u _f	Evapor., u _{fg}	Vapor, sat., u _g	Líquido, sat., h _f	Evapor., h _{fg}	Vapor, sat., h _g	Líquido, sat., s _f	Evapor., s _{fg}	Vapor, sat., s _g
		0.01	0.6117	0.001000	206.00	0.000	2374.9	2374.9	0.001	2500.9	2500.9	0.0000
5	0.8725	0.001000	147.03	21.019	2360.8	2381.8	21.020	2489.1	2510.1	0.0763	8.9487	9.0249
10	1.2281	0.001000	106.32	42.020	2346.6	2388.7	42.022	2477.2	2519.2	0.1511	8.7488	8.8999
15	1.7057	0.001001	77.885	62.980	2332.5	2395.5	62.982	2465.4	2528.3	0.2245	8.5559	8.7803
20	2.3392	0.001002	57.762	83.913	2318.4	2402.3	83.915	2453.5	2537.4	0.2965	8.3696	8.6661
25	3.1698	0.001003	43.340	104.83	2304.3	2409.1	104.83	2441.7	2546.5	0.3672	8.1895	8.5567
30	4.2469	0.001004	32.879	125.73	2290.2	2415.9	125.74	2429.8	2555.6	0.4368	8.0152	8.4520
35	5.6291	0.001006	25.205	146.63	2276.0	2422.7	146.64	2417.9	2564.6	0.5051	7.8466	8.3517
40	7.3851	0.001008	19.515	167.53	2261.9	2429.4	167.53	2406.0	2573.5	0.5724	7.6832	8.2556
45	9.5953	0.001010	15.251	188.43	2247.7	2436.1	188.44	2394.0	2582.4	0.6386	7.5247	8.1633
50	12.352	0.001012	12.026	209.33	2233.4	2442.7	209.34	2382.0	2591.3	0.7038	7.3710	8.0748
55	15.763	0.001015	9.5639	230.24	2219.1	2449.3	230.26	2369.8	2600.1	0.7680	7.2218	7.9898
60	19.947	0.001017	7.6670	251.16	2204.7	2455.9	251.18	2357.7	2608.8	0.8313	7.0769	7.9082
65	25.043	0.001020	6.1935	272.09	2190.3	2462.4	272.12	2345.4	2617.5	0.8937	6.9360	7.8296
70	31.202	0.001023	5.0396	293.04	2175.8	2468.9	293.07	2333.0	2626.1	0.9551	6.7989	7.7540
75	38.597	0.001026	4.1291	313.99	2161.3	2475.3	314.03	2320.6	2634.5	1.0158	6.6655	7.6812
80	47.416	0.001029	3.4053	334.97	2146.6	2481.6	335.02	2308.0	2643.0	1.0756	6.5355	7.6111
85	57.668	0.001032	2.8261	355.96	2131.9	2487.8	356.02	2295.3	2651.4	1.1346	6.4089	7.5435
90	70.183	0.001036	2.3593	376.97	2117.0	2494.0	377.04	2282.5	2659.6	1.1929	6.2853	7.4782
95	84.609	0.001040	1.9808	398.00	2102.0	2500.1	398.09	2269.6	2667.6	1.2504	6.1647	7.4151
100	101.42	0.001043	1.6720	419.06	2087.0	2506.0	419.17	2256.4	2675.6	1.3072	6.0470	7.3542
105	120.90	0.001047	1.4186	440.15	2071.8	2511.9	440.28	2243.1	2683.4	1.3634	5.9319	7.2952
110	143.38	0.001052	1.2094	461.27	2056.4	2517.7	461.42	2229.7	2691.1	1.4188	5.8193	7.2382
115	169.18	0.001056	1.0360	482.42	2040.9	2523.3	482.59	2216.0	2698.6	1.4737	5.7092	7.1829
120	198.67	0.001060	0.89133	503.60	2025.3	2528.9	503.81	2202.1	2706.0	1.5279	5.6013	7.1292
125	232.23	0.001065	0.77012	524.83	2009.5	2534.3	525.07	2188.1	2713.1	1.5816	5.4956	7.0771
130	270.28	0.001070	0.66808	546.10	1993.4	2539.5	546.38	2173.7	2720.1	1.6346	5.3919	7.0265
135	313.22	0.001075	0.58179	567.41	1977.3	2544.7	567.75	2159.1	2726.9	1.6872	5.2901	6.9773
140	361.53	0.001080	0.50850	588.77	1960.9	2549.6	589.16	2144.3	2733.5	1.7392	5.1901	6.9294
145	415.68	0.001085	0.44600	610.19	1944.2	2554.4	610.64	2129.2	2739.8	1.7908	5.0919	6.8827
150	476.16	0.001091	0.39248	631.66	1927.4	2559.1	632.18	2113.8	2745.9	1.8418	4.9953	6.8371
155	543.49	0.001096	0.34648	653.19	1910.3	2563.5	653.79	2098.0	2751.8	1.8924	4.9002	6.7927
160	618.23	0.001102	0.30680	674.79	1893.0	2567.8	675.47	2082.0	2757.5	1.9426	4.8066	6.7492
165	700.93	0.001108	0.27244	696.46	1875.4	2571.9	697.24	2065.6	2762.8	1.9923	4.7143	6.7067
170	792.18	0.001114	0.24260	718.20	1857.5	2575.7	719.08	2048.8	2767.9	2.0417	4.6233	6.6650
175	892.60	0.001121	0.21659	740.02	1839.4	2579.4	741.02	2031.7	2772.7	2.0906	4.5335	6.6242
180	1002.8	0.001127	0.19384	761.92	1820.9	2582.8	763.05	2014.2	2777.2	2.1392	4.4448	6.5841
185	1123.5	0.001134	0.17390	783.91	1802.1	2586.0	785.19	1996.2	2781.4	2.1875	4.3572	6.5447
190	1255.2	0.001141	0.15636	806.00	1783.0	2589.0	807.43	1977.9	2785.3	2.2355	4.2705	6.5059
195	1398.8	0.001149	0.14089	828.18	1763.6	2591.7	829.78	1959.0	2788.8	2.2831	4.1847	6.4678
200	1554.9	0.001157	0.12721	850.46	1743.7	2594.2	852.26	1939.8	2792.0	2.3305	4.0997	6.4302



Ref.	Denominación	Cant.	Norma	Loc.	Material	Dim. brutas	Observaciones
9	Perno cabeza hexagonal	6	DIN 931/933	1H	ASTM A-36	M8 x75	Normalizado
8	Arandela plana Ø interior 6 mm	24	DIN 127	1H	ASTM A-36	Ø 12 x 2	Normalizado
7	Perno cabeza hexagonal	16	DIN 931/933	1H	ASTM A-36	M6 x 50	Normalizado
6	Estructura inferior	1	10.8706.01.05	11E	ASTM A-36	1" x 1"	Subconjunto
5	Canales recolectores	2	10E		Plastico	Ø25 x 6000	
4	Bandeja colectora	1	10.8706.01.03	9E	Acero Inox.304	1.22X2.44m	Subconjunto
3	Bandeja exterior	1	10.8706.01.02	9E	Tool	1.22X2.44 m	Subconjunto
2	Vidrio	2		9E	Vidrio	2mm 1m	
1	Estructura Superior	1	10.8706.01.04	3E	ASTM A-36	1" x 1"	Subconjunto

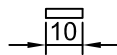
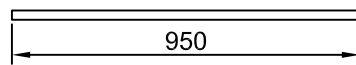
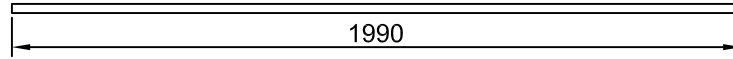
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA Plano de conjunto: Destilador solar tipo caseta	U.P.S. Escala: 1:10	Diseño:	Bayron Tabuada	18/03/2015
		Dibujó:	Bayron Tabuada	18/03/2015
		Revisó:	Ing. Salvatore Reina	18/03/2015
		Código:	10.8706.01.00.00	Tot: 5/5

N8



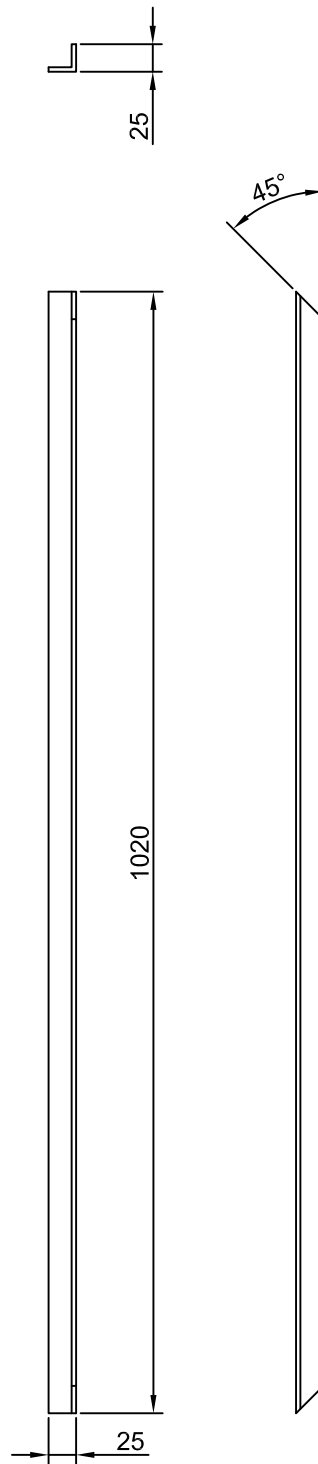
Tratamiento Térmico	NA	Material:	Tubo Cuadrado		Dimensiones brutas:
Recubrimiento	NA				
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		U.P.S.	Diseño:	Bayron Tabuada	20/03/2015
			Dibujó:	Bayron Tabuada	20/03/2015
			Revisó:	ING. Salvatore Reina	20/03/2015
Contenido	Estructura inferior	Escala:	1:10	Código:	10.8706.01.05.00
				Tol: ±	0.5

Tubo cuadrado de 1" x $\frac{1}{8}$ "

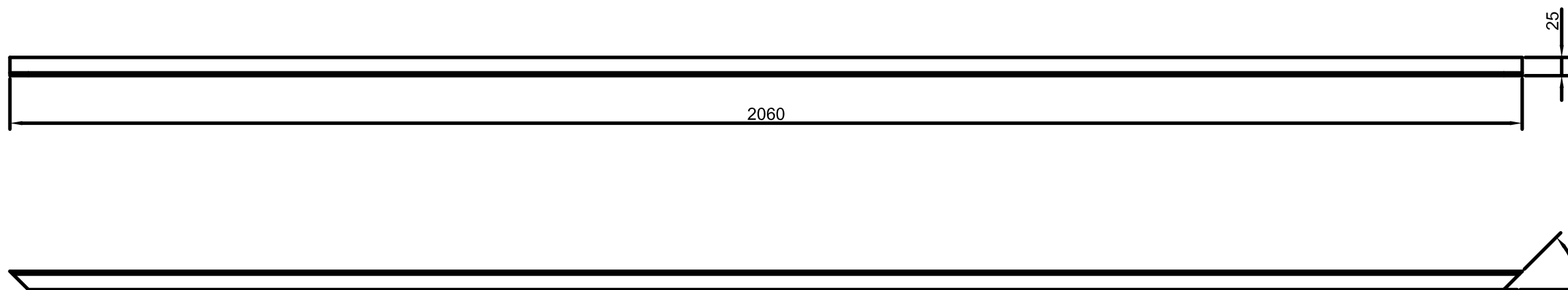


Tratamiento Térmico	NA	Material:	Tubo Cuadrado		Dimensiones brutas:
Recubrimiento	NA				
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA	U.P.S.	Diseñó:	Bayron Tabuada	20/03/2015	
		Dibujó:	Bayron Tabuada	20/03/2015	
		Revisó:	ING. Salvatore Reina	20/03/2015	
Contenido	Estructura superior	Escala:	1:20	Código:	10.8706.01.04.01
					Tol: ± 0.5

N8

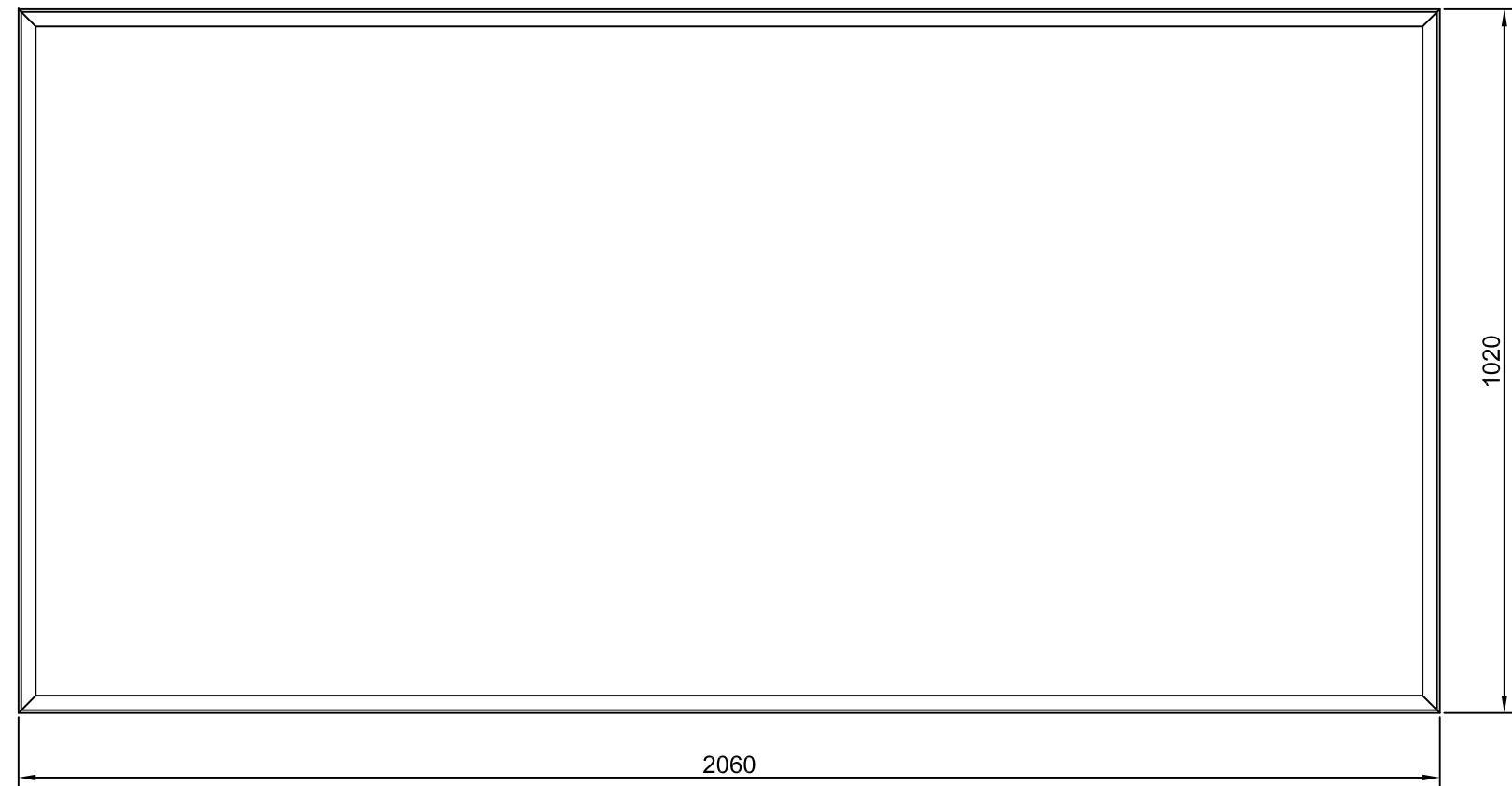


Tratamiento Térmico	NA	Material:	Ángulo de 1" x $\frac{1}{8}$ "	Dimensiones brutas: Ángulo de 1" x $\frac{1}{8}$ " x 6m
Recubrimiento	NA			
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA	U.P.S.	Diseño:	Bayron Tabuada	20/03/2015
		Dibujó:	Bayron Tabuada	20/03/2015
		Revisó:	ING. Salvatore Reina	
Contenido	Soporte inferior	Escala:	Código:	Tol: \pm 0.5
		1:20	10.8706.01.01.02	



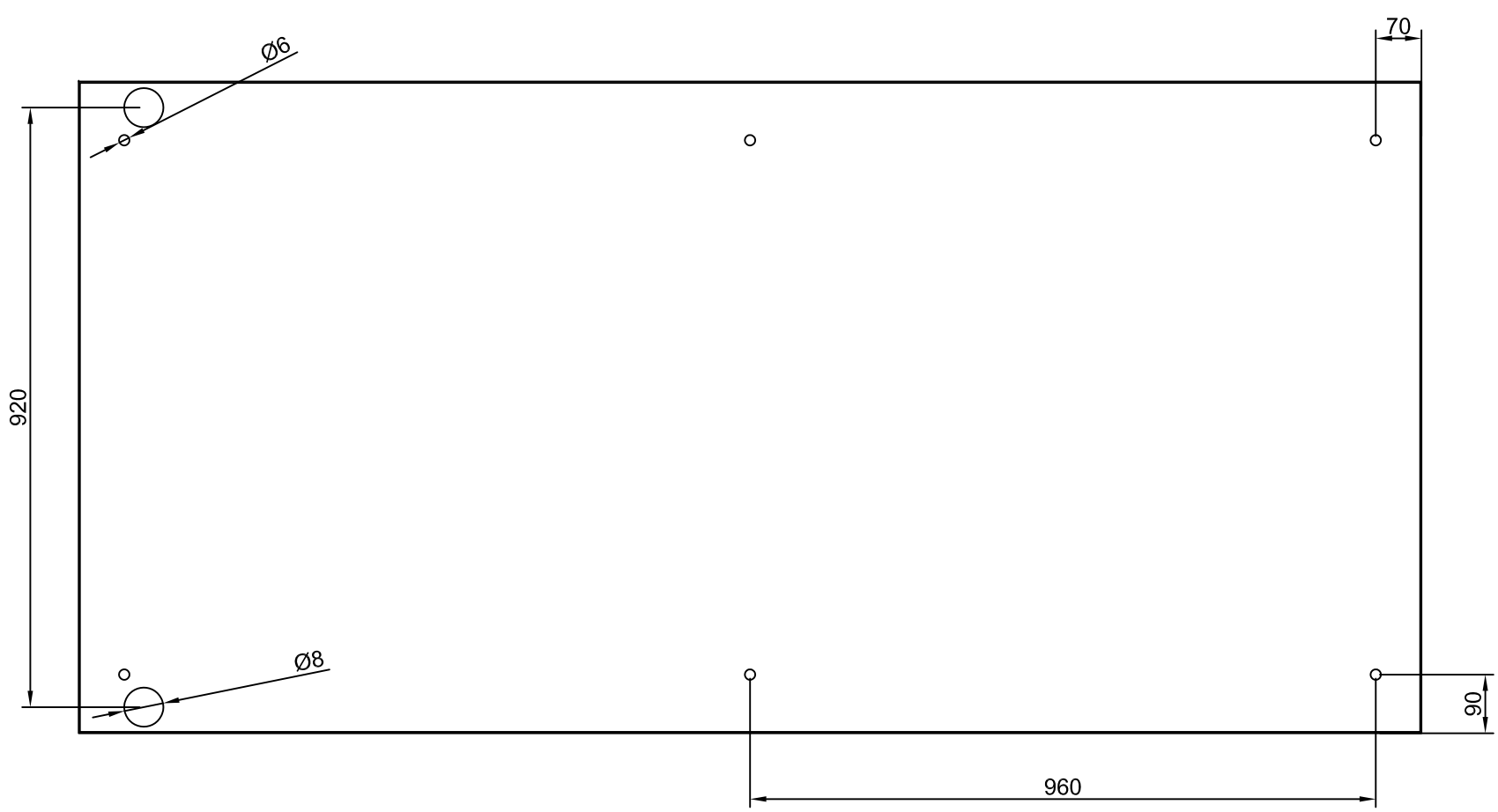
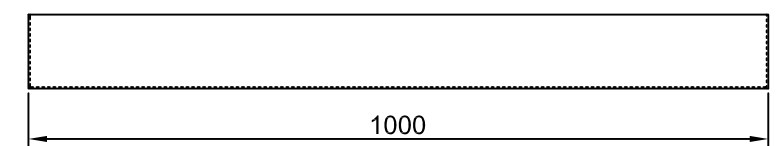
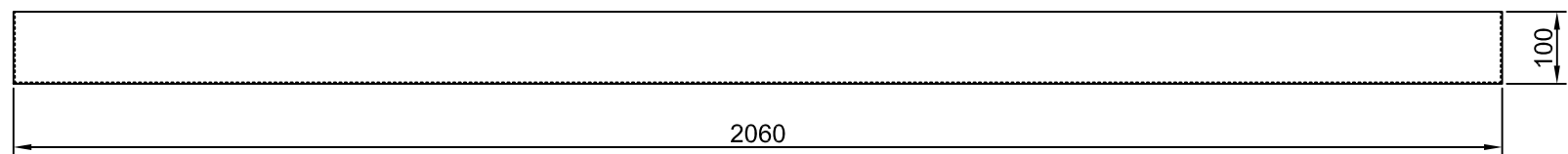
Tratamiento Térmico	NA	Material:	Ángulo de 1" x $\frac{1}{8}$ "	Dimensiones brutas:	25 x 4 x 6000
Recubrimiento	NA				
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		U.P.S.	Diseño:	Bayron Tabuada	20/03/2015
			Dibujó:	Bayron Tabuada	20/03/2015
			Revisó:	ING. Salvatore Reina	20/03/2015
Contenido	Soporte inferior	Escala:	1:10	Código:	10.8706.01.01.01
				Tol: ±	0.5

N8

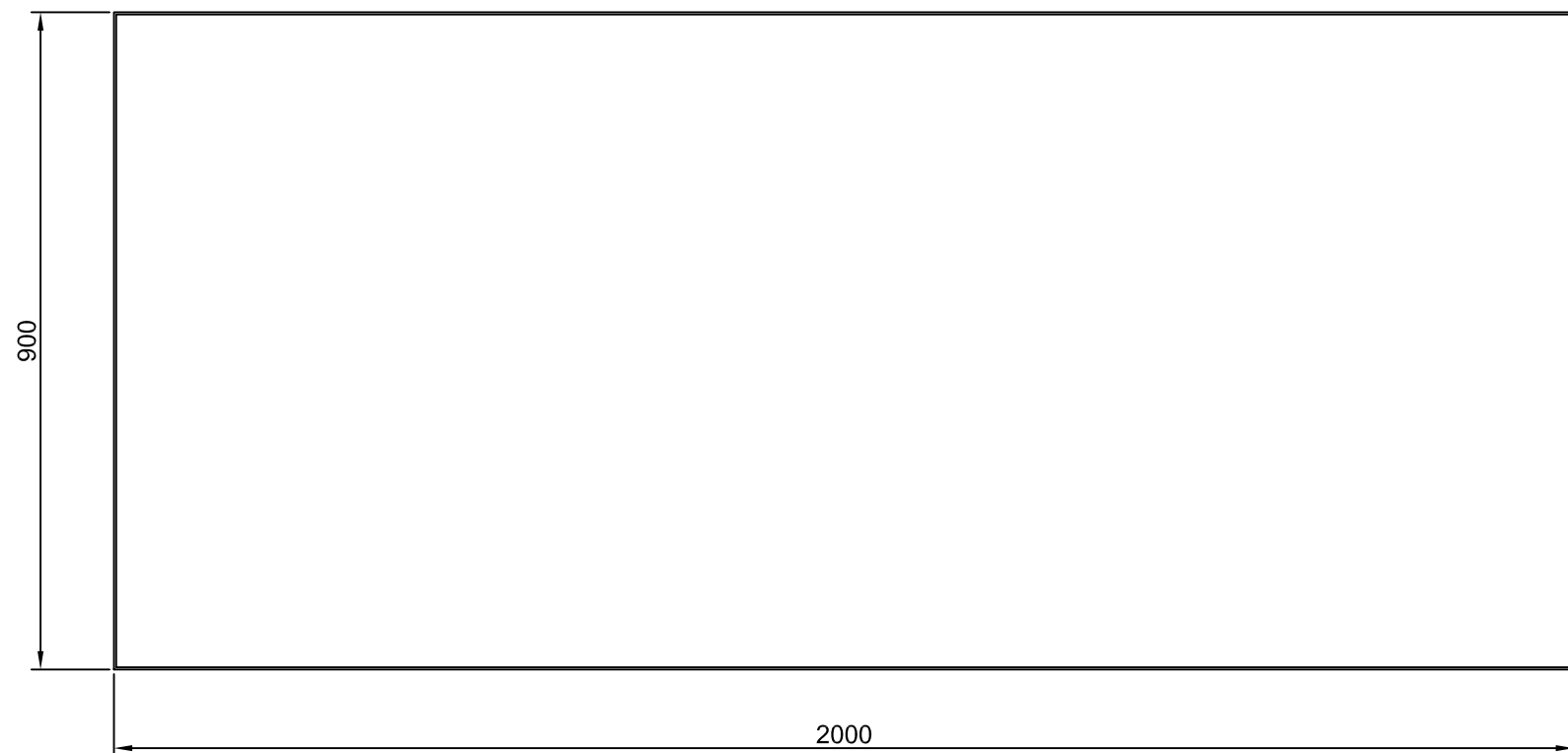
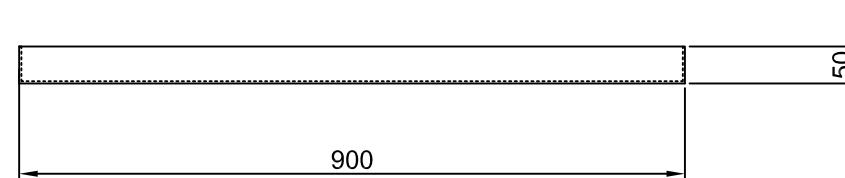
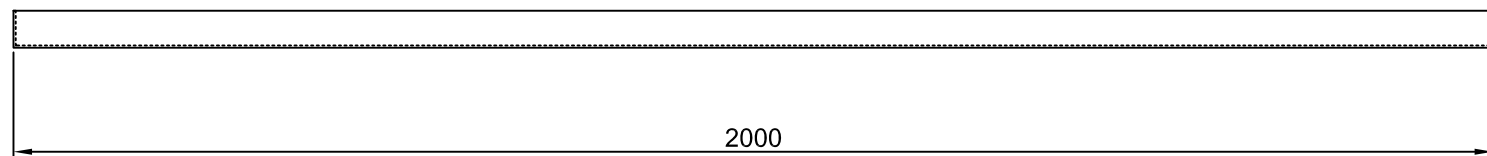


Tratamiento Térmico	NA	Material: Ángulo de 1" x $\frac{1}{8}$ "	Dimensiones brutas:		
Recubrimiento	NA		25 x 4 x 6000		
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		U.P.S.	Diseño:	Bayron Tabuada	20/03/2015
			Dibujó:	Bayron Tabuada	20/03/2015
			Revisó:	ING. Salvatore Reina	20/03/2015
Contenido	Soporte inferior	Escala: 1:10	Código:	10.8706.01.01.00	Tol: ± 0.5

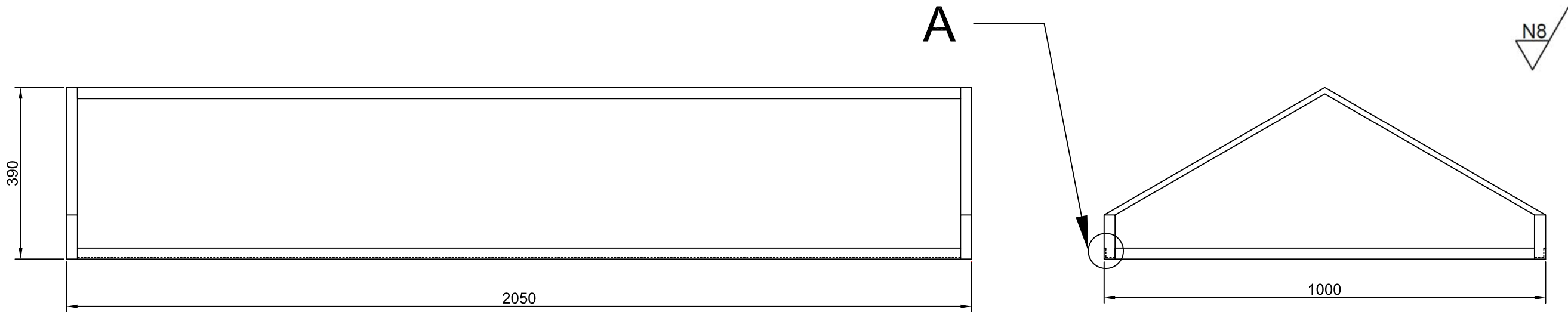
N8



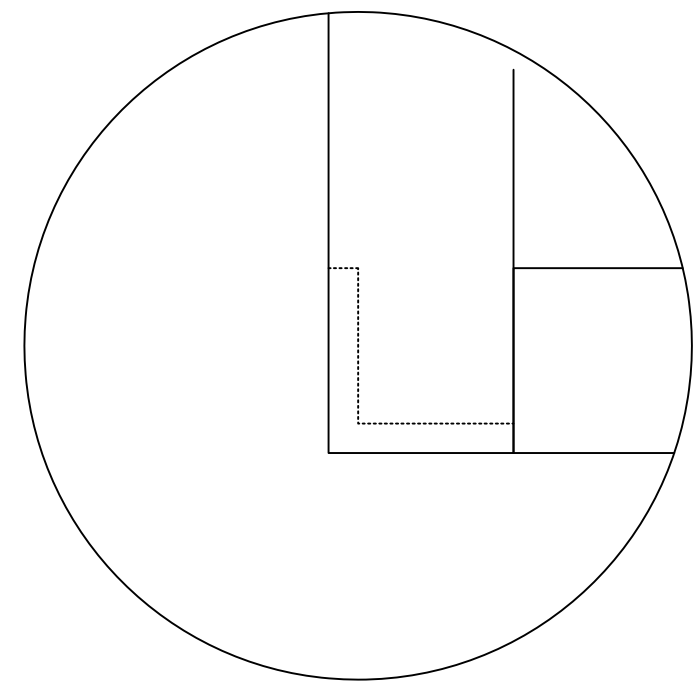
Tratamiento Térmico	NA	Material:	Dimensiones brutas:		
Recubrimiento	NA		Tool	1.22 x 2.44	
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		U.P.S.	Diseño:	Bayron Tabuada	20/03/2015
			Dibujó:	Bayron Tabuada	20/03/2015
			Revisó:	ING. Salvatore Reina	20/03/2015
Contenido	Bandeja exterior	Escala: 1:10	Código:	10.8706.01.02.00	Tol: ± 0.5



Tratamiento Térmico	NA	Material:	Dimensiones brutas:		
Recubrimiento	NA		INOXIDABLE 304	1.22 x 2.44 m	
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		U.P.S.	Diseño:	Bayron Tabuada	20/03/2015
			Dibujó:	Bayron Tabuada	20/03/2015
			Revisó:	ING. Salvatore Reina	20/03/2015
Contenido	Bandeja colectora	Escala: 1:10	Código:	10.8706.01.03.00	Tol: ± 0.5



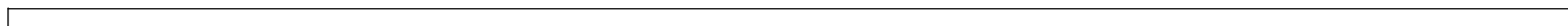
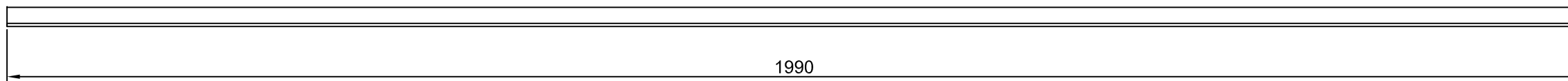
DETALLE A
Escala: 1:2



Tratamiento Térmico	NA	Material: Tubo Cuadrado	Dimensiones brutas:	
Recubrimiento	NA		NA	
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA	U.P.S.	Diseño:	Bayron Tabuada	20/03/2015
		Dibujó:	Bayron Tabuada	20/03/2015
		Revisó:	ING. Salvatore Reina	20/03/2015
Contenido	Estructura superior	Escala: 1:10	Código: 10.8706.01.04.00	Tol: ± 0.5



Ángulo de 1" x $\frac{1}{8}$ "



Tratamiento Térmico	NA	Material:	Dimensiones brutas:	
Recubrimiento	NA		ASTM A-36	
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA	U.P.S.	Diseño:	Bayron Tabuada	20/03/2015
		Dibujó:	Bayron Tabuada	20/03/2015
		Revisó:	ING. Salvatore Reina	20/03/2015
Contenido	Estructura superior	Escala:	Código:	Tol: ±
		1:10	10.8706.01.04.02	0.5