



SUBSECRETARÍA DE EDUCACIÓN SUPERIOR
DIRECCIÓN GENERAL DE EDUCACIÓN SUPERIOR TECNOLÓGICA
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIÉRREZ

INFORME TÉCNICO DE RESIDENCIA PROFESIONAL

INGENIERÍA MECÁNICA

PRESENTA:

CHRISTIAN ESTRADA TORRES

**DISEÑO DE COLECTOR SOLAR PARA LA ETAPA
DE ESTERILIZACIÓN DE FRUTOS DE LA PALMA
AFRICANA PARA LA PRODUCCIÓN DE
BIODIESEL.**

ENERO-JUNIO 2013



ÍNDICE

Contenido

INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO 1 Generalidades.....	4
1.1 Justificación	4
1.2 Objetivos generales y específicos.....	5
1.2.1 Objetivos generales	5
1.2.2 Objetivos específicos.....	5
1.3 Caracterización del área en que participó	5
1.4 Problemas a resolver priorizándolos.....	5
1.5 Alcances y Limitaciones	6
1.5.1 Alcances	6
1.5.2 Limitaciones.....	6
CAPITULO 2 Fundamento Teórico	8
2.1 Datos sobre el sol	8
2.2 Inicios de los colectores solares.....	8
2.3 Biodiesel	9
CAPITULO 3 Procedimiento y descripción de las actividades realizadas	16
3.1 Delimitación del lugar de estudio.....	16
3.2 Efectos de la rotación y translación de la tierra.....	17
3.3 Determinación de la energía de radiación solar incidente en el colector solar de tubos de vacío	18
3.4 Valores instantáneos de radiación solar en un plano inclinado.....	21
3.5 Características del tubo de vacío	21
3.6 Principio de la conservación de la energía	22
3.7 Cálculo de temperatura en la superficie del tubo de vidrio borosilicato	23
3.8 Propiedades de la radiación	24
3.8.1 Emisividad	24
3.8.2 Absortividad, reflectividad y transmisividad.....	25
3.8.3 Ley de kirchhoff.....	25
3.8.4 Método de redes para intercambio de radiación.....	26

3.9 Recubrimiento absorbente selectivo	27
3.10 Cálculo de la temperatura sobre la capa selectiva	28
3.11 Operación del tubo de calor (heat pipe)	29
3.12 Limite sónico	30
3.13 Ebullición nucleada en el interior del tubo de calor	31
3.14 Haciendo uso del límite sónico	33
3.15 La condensación.....	33
3.15.1 Aprovechamiento de energía térmica de los tubos de calor en área de condensación.....	35
3.15.2 Determinación del número de tubos evacuados	37
3.16 Determinación de la cantidad de líquido de trabajo en el tubo de calor	38
3.17 Diseño de abastecimiento de agua al colector solar	39
Conclusiones y recomendaciones	43
Anexos	45
Nomenclatura	54
Referencias bibliográficas y virtuales	56



INTRODUCCIÓN

La historia ha demostrado que la humanidad va progresivamente acostumbrando a sustituir las formas de energía antes utilizadas por otras nuevas. Mientras que en tiempos remotos solo se empleaba la madera como combustible, mas después, el carbón vino a reemplazarla.

Existen muchos trabajos acerca de nuevas formas de conversión de energía para uso en el hogar, las industrias etc. Este trabajo está vinculado con el aprovechamiento de energía solar, realizando una investigación de materiales ya existentes en el mercado haciendo alarde de muy buenos resultados, se hará el análisis termodinámico y transferencia de calor de la constitución de los materiales a utilizar según su empleo o función. Se adaptara un diseño para un proceso industrial como es la esterilización del aceite de palma africana.

La esterilización es la primera etapa y posiblemente la más importante del proceso de extracción del aceite de palma. Inactivar las enzimas que causan el desdoblamiento del aceite y en consecuencia el incremento del porcentaje de ácidos grasos libres, otro objetivo es disminuir la resistencia de los tejidos de la pulpa para lograr el fácil rompimiento de las celdas de aceite durante los procesos de digestión y prensado.

La transesterificación es el siguiente paso cuando ya se ha obtenido el aceite de la palma, es una reacción química de aceites y grasas naturales con alcoholes de cadena corta, es un proceso empleado desde hace muchos años para la producción de alquilésteres usados como sustitutos del diesel fósil tradicional (biodiesel) o como materia prima para otros productos [7].

Usar un colector solar es lo apropiado para llegar a sobrecalentar agua. Se denomina colector solar a cualquier forma de superficie que sirva para aprovechar la energía de las radiaciones solares con fines térmicos o eléctricos [9]. Nuestro análisis geográfico comprende la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, lo cual involucra saber su coordenada geográfica.

El efecto de la rotación y translación de la tierra es un factor importante para la determinación de la energía de radiación solar incidente en el colector solar de tubos evacuados durante las épocas del año. Así también conocer las características del colector, sus partes que lo componen, el rango de temperaturas a manejar.



Es necesario el uso de conceptos como el principio de la conservación de la energía pues se emplearan sistemas estacionarios con volumen de control, sistemas cerrados.

Una de las partes primordiales a entender son las propiedades de la radiación ya que se emplean superficies expuestas al medio ambiente y a cambios climáticos intensos.

La tecnología de los tubos de calor llamados Heat Pipe como aplicación al fenómeno de la ebullición nucleada y a la condensación en superficies horizontales, en este caso tubos interiores concéntricos con tubos evacuados con pequeña inclinación. Así también se hará el uso del concepto de límite sónico puesto que el interior del tubo se llega a corrientes de vapor considerablemente altas como consecuencia de los valores que se manejan tanto al llegar a temperaturas de saturación del agua (como liquido de trabajo) así como a excesos de temperatura.

Se diseñara un sistema que logre abastecer de agua al colector solar con sus correspondientes especificaciones, recurriendo a la mecánica de fluidos; usando ecuaciones como principio de Bernoulli.



CAPITULO 1

GENERALIDADES





CAPITULO 1 Generalidades

1.1 Justificación

Los combustibles fósiles todavía representan la principal fuente de energía en todo el mundo. En la actualidad existen procesos industrializados donde es imprescindible el uso de esta fuente de energía. En el proceso de combustión se lleva asociada la emisión de importantes cantidades de dióxido de carbono siendo un problema ambiental que nos preocupa a todos.

En la esterilización de los frutos de la palma africana es uno más de los procesos donde se requiere el uso de energías de origen fósil o energía eléctrica, en caso particular para llevar a cabo el calentamiento de agua a cierta temperatura y presión específica con el propósito de introducirlo al sistema.

Este tipo de energías comúnmente utilizadas están contaminando la atmosfera a pasos muy acelerados contribuyendo al calentamiento global, el llamado efecto invernadero.

Contribuir a la concientización del uso de energías renovables, sustituyendo en cierto porcentaje la quema de hidrocarburos en etapas de procesos industriales, ayudando a preservar el medio ambiente no emitiendo gases contaminantes. El diseñar un colector solar aprovechando una fuente de energía inagotable como es la radiación del sol es una de las formas de aprovechamiento de energías limpias ayudando tanto al medio ambiente como a la sociedad en la busca de nuevas alternativas a la quema de combustibles que a futuro llegara a agotarse por ser no renovable. Este colector ayudara en cierta medida a no emitir más dióxido de carbono al aire atmosférico en esta etapa de producción de biodiesel.



1.2 Objetivos generales y específicos

1.2.1 Objetivos generales

Analizar energías alternativas para el calentamiento del agua utilizada en la esterilización de los frutos de la palma africana, comprendida en el proceso de producción de biodiesel.

1.2.2 Objetivos específicos

Diseñar un colector solar para la captación de rayos solares en un líquido calo-portador como es el agua, este líquido absorberá la radiación máxima posible a través de tubos de cobre cubiertos de tal forma con aislante para después introducir este líquido en forma de vapor sobrecalentado en el sistema de esterilización.

1.3 Caracterización del área en que participó

El presente reporte técnico tiene lugar de realización en las instalaciones del Laboratorio de Ingeniería Mecánica del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez.

1.4 Problemas a resolver priorizándolos

- Tipos de materiales que tengan alta conductividad térmica, considerando aspectos económicos y ambientales
- Poder producir que el agua llegue a su temperatura de saturación a cierta presión.
- Lograr la correcta orientación del colector para la mejor absorción de energía solar.
- Adquirir datos geográficos climáticos, atmosféricos etc. del lugar donde se instalara el sistema.
- Un sistema de abastecimiento de agua para la entrada del colector con flujo constante



1.5 Alcances y Limitaciones

1.5.1 Alcances

Analizar un sistema de absorción de energía de radiación solar para evaporar un flujo de agua constante.

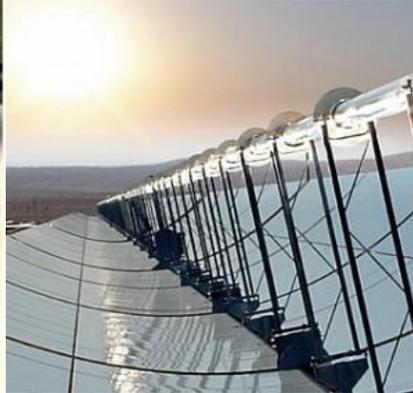
Concientizar el aprovechamiento de la energía solar térmica, considerando los beneficios económicos y ambientales.

Modelar el sistema con el uso del colector solar mediante la utilización de un software.

1.5.2 Limitaciones

Los resultados obtenidos son puramente teóricos y pueden variar con respecto a la realidad.

Existen diferentes empresas dedicadas a desarrollar este tipo de tecnologías, habrá diferencias y objetivos distintos al uso de energía solar.



CAPITULO 2

FUNDAMENTO

TEÓRICO





CAPITULO 2 Fundamento Teórico

2.1 Datos sobre el sol

La tierra recibe anualmente del sol una cantidad de energía de unos 7×10^{17} kWh. La radiación solar media que llega a nuestro planeta es de 80 a 300 W por m^2 , según la hora del día y las condiciones meteorológicas. Sin embargo con sus centrales eléctricas y otras instalaciones, el hombre puede generar por año 4×10^{13} kilovatios/hora (kWh).

La historia ha demostrado que la humanidad se ha progresivamente acostumbrando a sustituir las formas de energía antes utilizadas por otras nuevas. Mientras que en tiempos remotos solo se empleaba la madera como combustible, posteriormente, el carbón vino a reemplazarla.

El sol es, en esencia una bola o esfera de gas que contiene en sus capas exteriores un 75% de hidrogeno, 23% de helio y una cantidad residual de otros gases incandescentes. [1].

Datos importantes acerca del sol

Distancia del sol a la tierra	147000000-152100000 km
Diferencia de distancia del sol	4980000 km
Entre enero y julio	
Constante solar extraterrestre	$8.12 J/cm^2 * min = 1345 w/m^2$
Inclinación del eje solar	$7^{\circ}15'$
Intensidad del campo magnético solar	0.0001 resp. 10^{-4} Tesla
Velocidad de translación de la tierra alrededor del sol	30km/seg.
Energía cedida por el sol por año	$1.2 \times 10^{34} J$

Tabla 1 datos del sol [2]

2.2 Inicios de los colectores solares

El primer colector solar fue fabricado por el suizo Nicolás Saussure (1740-1799), estaba compuesto de una cubierta de vidrio y una placa metálica negra, encerrada en una caja con su correspondiente aislamiento. Este colector solar se utilizó para cocinar alimentos que se introducían en su interior. [2].



Se presenta en la tabla 2, tipos de colectores solares y rangos típicos de temperatura.

TIPO DE COLECTOR	CONCENTRACIÓN	TEMPERATURA	RÉGIMEN
PLANO	$C=1$	$3 < T < 80$	ESTACIONARIO
TUBO EVACUADO	$1 < C$	$50 < T < 190$	ESTACIONARIO
COLECTOR PARABÓLICO COMPUESTO CPC	$1 < C < 5$	$70 < T < 240$	ESTACIONARIO
CANAL PARABÓLICO	$5 < C < 40$	$70 < T < 290$	1 EJE
PLATO PARABÓLICO	$100 < C < 1000$	$70 < T < 930$	2 EJES

Tabla 2 Tipos de colectores, su factor de concentración y rangos de temperatura [2]

Distinguiendo de la tabla en tres tipos de colectores: plano, de vacío, de concentración. Los colectores planos se subdividen en planos sin cubierta que trabajan a baja temperatura y colectores planos con cubierta con temperatura de trabajo hasta 100°C máximo.

Los colectores de concentración son cóncavos y tienden a seguir el movimiento del sol.

Existen sistemas de circulación natural y forzada; el primero es para uso sanitario por sus bajos rangos de temperatura de trabajo.

Unos de los principales problemas de la circulación forzada es la posibilidad de sobrecalentamiento del fluido de trabajo. Si existe estancamiento, esto puede alcanzar temperaturas muy altas hasta 170°C y esto provoca transformación química del fluido de trabajo ejemplo anticongelante (puede volverse ácido), reduciendo su uso a periodo invernal.

En los sistemas de tubos evacuados no sucede así, más adelante se explicara a detalle.

Ahora entonces para determinar la inclinación del colector que se va a diseñar. Primeramente se definirán las coordenadas de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, 16° 45" latitud norte y 93° 07" longitud oeste.

2.3 Biodiesel

El biodiesel es un combustible renovable que se puede obtener principalmente a partir de aceites vegetales, animales, así como de aceites reciclados.

El biodiesel tiene una ventaja ecológica, en comparación con el diesel de origen fósil, ya que reduce las emisiones de gases que provocan el efecto de invernadero. Si se usa el biodiesel sólo en los motores se elimina las emisiones de dióxido de azufre (SO₂) del

diesel, evitando las lluvias ácidas; además, lo que es fundamental: es un combustible renovable y no finito como los hidrocarburos

Las mezclas más comunes son las B2 (20% de biodiesel y 80% de diesel de origen fósil), las B5 (5% de biodiesel y 95% de diesel de origen fósil), así como la B20 (20% de biodiesel con un 80% de diesel de origen fósil) y que pueden usarse generalmente sin modificar el motor, sin embargo también se puede emplear un 100% de biodiesel pero es necesario ciertas modificaciones del motor que le permitan evitar problemas de mantenimiento y de desempeño. [4].

La esterilización es la primera etapa y posiblemente la más importante del proceso de extracción del aceite de palma. Los objetivos primordiales son:

- 1- Inactivar las enzimas que causan el desdoblamiento del aceite y en consecuencia el incremento del porcentaje de ácidos grasos libres.
- 2- Acelerar el proceso de ablandamiento de la unión de los frutos con su soporte natural (raquíz o tuza).
- 3- Disminuir la resistencia de los tejidos de la pulpa para lograr el fácil rompimiento de las celdas de aceite durante los procesos de digestión y prensado.
- 4- Deshidratar parcialmente las almendras contenida en la nuez, para facilitar su recuperación posterior [5].

Este proceso se lleva a cabo colocando con los canastos del esterilizador que son tanques horizontales a una presión máxima de 45 psi a 143°C de temperatura, el tiempo estimado es de 65 minutos. [6]



Figura 1 Ciclo de esterilización [24]

La transesterificación es el siguiente paso cuando ya se ha obtenido el aceite de la palma es una reacción química de aceites y grasas naturales con alcoholes de cadena corta, es un proceso empleado desde hace muchos años para la producción de alquilésteres usados como sustitutos del diesel fósil tradicional (biodiesel) o como materia prima para otros productos [7].

Se muestra en la figura 2 el proceso producción de biodiesel.

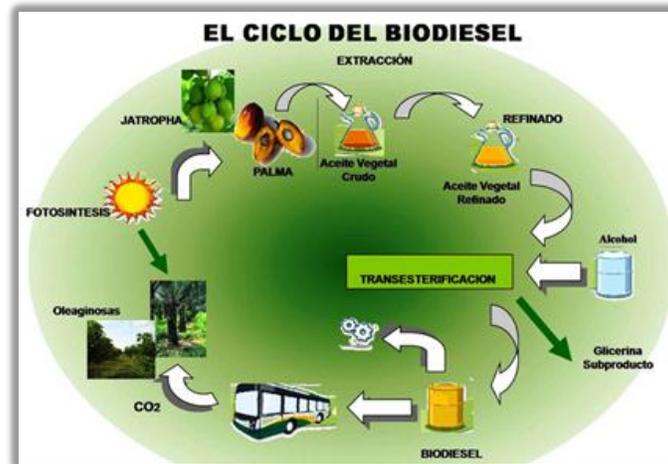


Figura 2 ciclo de producción de biodiesel a partir de aceite [25]

En la figura 3 se presenta el diagrama de flujo del proceso de obtención del aceite a partir del fruto de la palma africana.

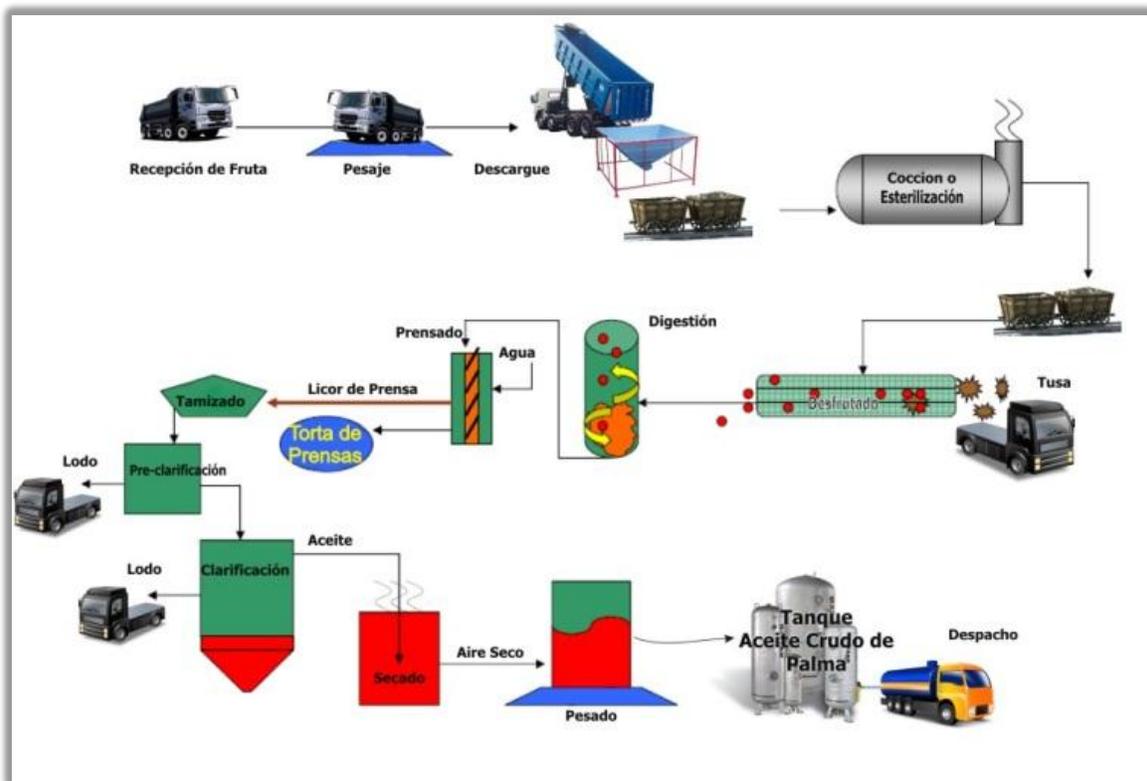


Figura 3 Diagrama de extracción de aceite de palma africana [27]



Como referencia de los trabajos al biodiesel en años atrás se tiene:

Transesterificación, 1937, G.Chavanne, Universidad de Bruselas, Bélgica.

Diciembre de 2009.TuxtlaGutiérrez. Producción de 400 litros diarios de biodiesel con reactores experimentales de tecnología Británica.

Marzo de 2010.TuxtlaGutiérrez. Planta productora de biodiesel de tecnología Sueca, con capacidad de producción de 2,000 litros diarios.

Mayo de 2010.Puerto Chiapas. Planta de producción de biodiesel con tecnología México– Colombia, con capacidad de 8,000 litros de biodiesel diarios.

Junio de 2010.Puerto Chiapas. Instalación y puesta en funcionamiento de la planta de producción de biodiesel con tecnología Inglesa, con una capacidad de 20,000 litros de biodiesel diarios.

Septiembre de 2010.Puerto Chiapas. Se implementan mejoras tecnológicas en el proceso de producción de biodiesel, con la finalidad de disminuir el consumo energético del proceso (paneles fotovoltaicos y colectores solares de calentamiento)

Diciembre de 2010.Tuxtla Gutiérrez. Se crea Biodiesel Chiapas (2013).[3]

Nuestro proyecto se centra en la parte de esterilización del fruto recién cortado. El cual se lleva a una cierta temperatura y presión como ya se mencionó anteriormente.

El proceso de extracción de aceite de palma africana empieza cuando los racimos de palma alcanzan su estado óptimo de madurez, se inicia un proceso bioquímico de descomposición del aceite, gracias a la cual se forma ácidos grasos libres (AGL); Este fenómeno comúnmente se conoce como acidificación y se acelera cuando los racimos han sido cortados de la palma o los frutos se desprenden del racimo de manera natural facilitando el desdoblamiento del aceite en AGL, gracias a la contextura del mesocarpio, que en los frutos es muy fibrosa y el aceite contenido en el mismo, tiene una viscosidad muy alta [24].

El proceso de descomposición o acidificación del aceite ocurre debido a una reacción química en donde las moléculas grasas se rompen formando ácidos grasos y glicerol (glicerina), por acción de la enzima llamada lipasa, presente en el fruto de la palma; que se activa con mayor rapidez cuando la estructura celular del fruto es alterada.

Además del manejo cuidadoso y delicado de los racimos y frutos desprendidos desde la palma misma hasta que se colocan en la planta de beneficio son causas del aumento de la acidez, entre otras razones [8].

Una vez que llegan a la planta de beneficio los racimos se descargan en una tolva. Ésta alimenta las vagonetas o góndolas que luego se introduce en el interior de las autoclaves o cilindros horizontales donde los racimos se exponen al ciclo de esterilización.

Tamaño normal de los esterilizadores horizontales: de un tamaño de 9 metros de largo por 1,70 metros de diámetro y de capacidad de 1.5 toneladas cada uno.

El consumo de vapor en la esterilización es de aproximadamente 180 Kg/ton de racimos con tres “picos” de expansión (incrementos de la presión y descargas súbitas posteriores). [24]

Como se puede apreciar en la Figura 4 una autoclave.



Figura 4 Esterilizadores horizontales [24]

En estos cilindros se introduce vapor sobrecalentado que es obtenido por el calentamiento previo del fluido calo-portador como es el agua. Entonces nos encontramos que para obtener este vapor se utiliza energía de combustibles. El aprovechamiento del sol es una alternativa.

Usar un colector solar es lo apropiado. Se denomina colector solar a cualquier forma de superficie que sirva para aprovechar la energía de las radiaciones solares con fines térmicos o eléctricos [9].



CAPITULO 3 PROCEDIMIENTO Y DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES REALIZADAS



CAPITULO 3 Procedimiento y descripción de las actividades realizadas

3.1 Delimitación del lugar de estudio

La energía solar llega a la tierra con ángulos de radiación diferentes dependiendo de la hora, el día, la época del año, la ubicación geográfica.

Nuestro análisis geográfico comprende la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, sabiendo que su ubicación geográfica es $16^{\circ} 45''$ latitud norte y $93^{\circ} 07''$ longitud oeste. A una altitud de 600 MSNM [10], por otra parte la radiación solar se descompone en frecuencias de ondas descritas en la figura 5:

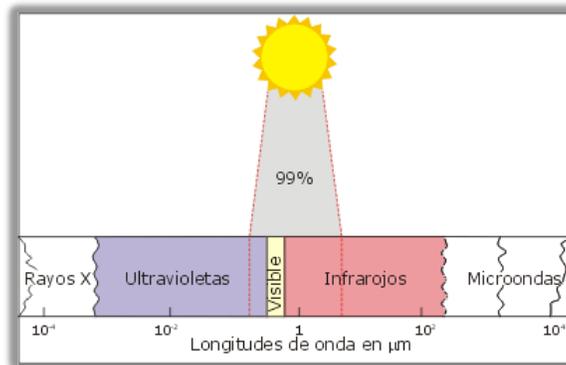


Figura 5 Longitudes de onda a las que el sol irradia 99% de su energía. [23]

Mediante el uso de mapas solares podremos saber la cantidad de insolación global en la ciudad de Tuxtla Gutiérrez [11]. Cabe mencionar que haciendo un promedio para cada temporada del año se obtuvieron los siguientes valores representados en la tabla 3.

	Primavera 21 de marzo-20 de junio	Verano 21 de Junio-20 de sep.	Otoño 21 de sep.-20 de dic.	Invierno 21 de dic.-20 de marzo
Temperaturas °C	34.5	31.9	30.6	31.27
Insolación Kwh/m2 * dia	4.95	5.195	4.275	4.125

Tabla 3 Insolación promedio cuatrimestral 1Kwh=3600KJ (anexo A-10)

Estos datos se utilizaran para cálculos posteriores.

3.2 Efectos de la rotación y translación de la tierra

Durante un año la tierra da una vuelta completa alrededor del sol sobre una órbita elíptica, en tanto que la tierra no es esférica completamente teniendo un eje de rotación levemente declinado con aproximadamente $23^{\circ} 27''$ con la perpendicular al plano de rotación (también denominado plano de la eclíptica), consecuentemente existiendo dos equinoccios y 2 solsticios. [12]

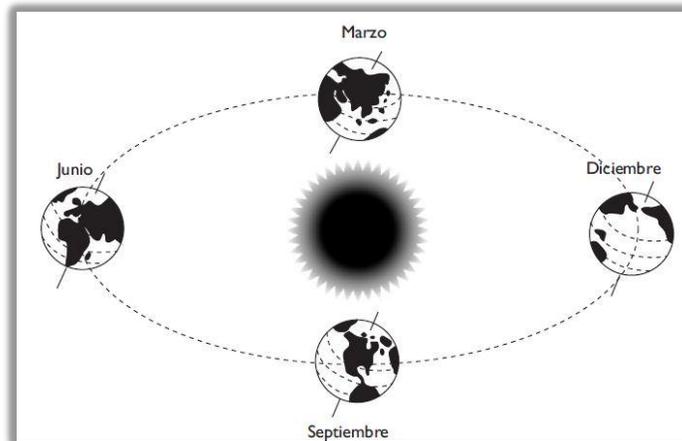


Figura 6 Translación del movimiento del sol en un año. [12]

El equinoccio de marzo (vernal)

El sol se encuentra a la misma latitud que el ecuador $0^{\circ}0'0''$ con dirección hacia el hemisferio norte. En esta época los días y las noches son aproximadamente iguales.

Solsticio de junio (verano)

El sol llegara a su punto máximo $+23^{\circ}27'$ de latitud norte en esta época los días se hacen más largos, cuando esto llega al máximo entonces los rayos del sol comienzan a descender rumbo al hemisferio sur.

Equinoccio de septiembre

En este mes el sol vuelve a pasar por el ecuador con rumbo al hemisferio sur.

Solsticio de diciembre

En este mes entre el día 20 y 21, los rayos solares llegan al punto máximo cercano al hemisferio sur con $-23^{\circ}27'$ de latitud, en esta época las noches se hacen más largas.



3.3 Determinación de la energía de radiación solar incidente en el colector solar de tubos de vacío

Sabiendo que a lo largo del año existen 2 equinoccios y dos solsticios, por lo tanto la declinación del sol para el 21 de marzo definida por la ecuación de Cooper 13].

$$\delta = 23.43 \text{sen} \left(360 * \frac{284 + n}{365} \right) \quad (3.3.1)$$

Donde n es el día del año.

Para el día del 21 de marzo se tiene $\delta = 0^{\circ}12'$

Para el 21 de septiembre se tiene $\delta = 0^{\circ}45'$

Para el 21 de junio se tiene $\delta = 23^{\circ}26'$

Para el 21 de diciembre $\delta = -23^{\circ}26'$ debiendo aclarar que el ángulo obtenido es con respecto al ecuador a las 12 horas del día solar.

De acuerdo a la latitud de Tuxtla Gutiérrez:

$\phi = 16^{\circ}45'$ y $\omega = 0^{\circ}$ al medio día.

Se introducirá el término RB que es el cociente entre una superficie inclinada a la radiación directa Ibc , a la radiación directa sobre un plano horizontal Ibh .

$$RB = \frac{Ibc}{Ibh} = \frac{Ibc \cos \theta}{Ibc \cos \theta_t} = \frac{\omega_s \sin \delta \sin(\phi - s) + \cos(\phi - s) \sin \omega_s}{\omega_s \sin \delta \sin \phi + \cos \delta \sin \omega_s} \quad (3.3.2)$$

El término K_t es la relación de la radiación global diaria promedio en el mes H_G , a la radiación diaria promedio extraterrestre H_0 .

$$K_t = \frac{H_G}{H_0} \quad (3.3.3)$$

En el intervalo de la tabla de radiación solar extraterrestre (ver anexo A-1) e interpolando para una latitud ϕ de $16^{\circ}45'$.

Lat.	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
16.0	28.9	32.5	35.8	38.1	38.7	38.6	38.5	38.2	36.6	33.7	30.0	27.9
16.7	28.447	32.2	35.6	38.1	38.8	38.7	38.6	38.7	36.5	33.5	29.2	27.0
18.0	27.8	31.7	35.4	38.1	39.0	39.1	38.9	38.3	36.4	33.0	29.1	26.9

Tabla 4 Hemisferio norte en $\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{dia}^{-1}$ [anexo A-1]

Obteniendo un promedio para época de invierno= $30.854 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{dia}^{-1}$

Promedio en primavera= $37.8375 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{dia}^{-1}$

Promedio en verano= $38.18 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{dia}^{-1}$

Promedio otoño= $31.61 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{dia}^{-1}$

La componente de radiación I_{d_h} rara vez se conoce por lo que es necesario estimarla a partir de la radiación global diaria promedio en un mes H_G , según tabla 3

Lio y Jordan [13] sugieren la siguiente expresión:

$$\frac{I_{d_h}}{H_G} = 1.390 - 4.027K_t + 5.531K_t^2 - 3.108K_t^3 \quad (3.3.4)$$

$$\text{Sustituyendo para } K_t = \frac{17.820\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{dia}^{-1}}{30.854\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{dia}^{-1}} = 0.58 \quad (3.3.5)$$

Resolviendo la ecuación (3.3.4) se obtiene un valor para:

$$\frac{I_{d_h}}{H_G} = 0.31 \therefore I_{d_h} = 0.31 * 17.820 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{dia}^{-1} = 5524.2\text{KJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{dia}^{-1} \quad (3.3.6)$$

$$\text{Aplicando: } \cos\omega_s = -\tan\phi \cdot \tan\delta = -\tan 16.75 \cdot \tan -23.43 \quad (3.3.7)$$

$$\omega_s = 82.51 = 1.44 \text{ rad}$$

Aplicando RB que es una función de transmitancia de la atmosfera y depende de la nubosidad atmosférica, la concentración de vapor de agua y otras partículas. Resolviendo la ecuación sabiendo que $\omega_s = 1.44\text{rad}$, $\delta = -23.43$, $\phi - s = 0$ ya que s es la inclinación del colector que sería a la misma latitud de la localidad.



$$RB = \frac{\omega_s \sin \delta \sin(\phi - s) + \cos(\phi - s) \sin \omega_s}{\omega_s \sin \delta \sin \phi + \cos \delta \sin \omega_s} = 1.29 \quad (3.3.2)$$

Según el desarrollo de Liu y Jordán el cual considera que la radiación solar incidente sobre un plano inclinado, H_t , está formada por tres partes: la radiación directa del sol RB , la difusa procedente de la bóveda celeste Rd , y la reflejada por el suelo sobre la superficie inclinada $R\rho$.

$$\text{Por lo tanto } R = \frac{H_t}{H_G} = \left(1 - \frac{I_{d_h}}{H_G}\right) RB + \frac{I_{d_h}}{H_G} \cdot Rd + R\rho \quad (3.3.9)$$

$$Rd = \frac{1 + \cos(s)}{2}, \quad R\rho = \frac{1 - \cos(s)}{2} \cdot \rho; \quad \text{Donde } \rho = 0.2 \text{ (para suelos comunes)}$$

Sustituyendo valores en (3.3.9) se obtiene un valor para $R = 1.2$

Para la radiación total diaria promedio en un mes para una superficie inclinada

$$H_t = R \cdot K_t \cdot H_0 = 1.2 \cdot 0.58 \cdot 30854 = 21474 \text{ KJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{dia}^{-1} \quad (3.3.10)$$

De la misma manera para le época de verano:

$$\delta = 23^\circ 26', \quad K_t = 0.48, \quad \frac{I_{d_h}}{H_G} = 0.39$$

$$\omega_s = 97^\circ 49' = 1.7 \text{ rad}, \quad RB = 0.85, \quad R = 1.844, \quad H_t = 1.844 \cdot 0.48 \cdot 38180 = 33793.88 \text{ KJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{dia}^{-1}$$

Este valor es correspondiente al mes de junio. Lo tomaremos como un promedio para el verano. Teniendo en cuenta que los colectores de tubos de vacío son capaces de absorber tanto radiación directa como difusa se utilizaran los valores obtenidos, para la temporada más fría $H_t = 21474 \text{ KJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{dia}^{-1} = 5.965 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{dia}^{-1}$ y para la temporada con mayor insidencia de radiación $H_t = 33793.88 \text{ KJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{dia}^{-1} = 9.387965 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{dia}^{-1}$. Usando una conversión $3600 \text{ kJ} = 1 \text{ kWh}$.

3.4 Valores instantáneos de radiación solar en un plano inclinado

Se tiene la siguiente ecuación para determinar el número de horas de sol al día:

$$T_d = \frac{2}{15} \omega_s \text{ (horas)} \quad 3.4.1$$

Para un valor promedio de horas de sol al día sobre todo el mes de junio se tiene:

$$T_d = \frac{2}{15} 97.49 = 12.99 \text{ horas y para el mes diciembre } T_d = 11 \text{ horas , dividiendo la}$$

radiación entra las horas de sol al día:

$$\text{Para verano } H_t = 9.387965 \cdot \frac{\text{kwhm}^{-2}\text{dia}^{-1}}{12.99\text{h}\cdot\text{dia}^{-1}} = 722.632 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} , \text{ para invierno } H_t = 542.27 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

3.5 Características del tubo de vacío

A una radiación 722.632 W/m^2 están expuestos los tubos del colector solar, primeramente determinaremos la temperatura a la que llega el tubo de calor de cobre en el interior del tubo de vacío.

Las dimensiones del tubo de vacío en un corte de sección transversal están representadas en la siguiente imagen:

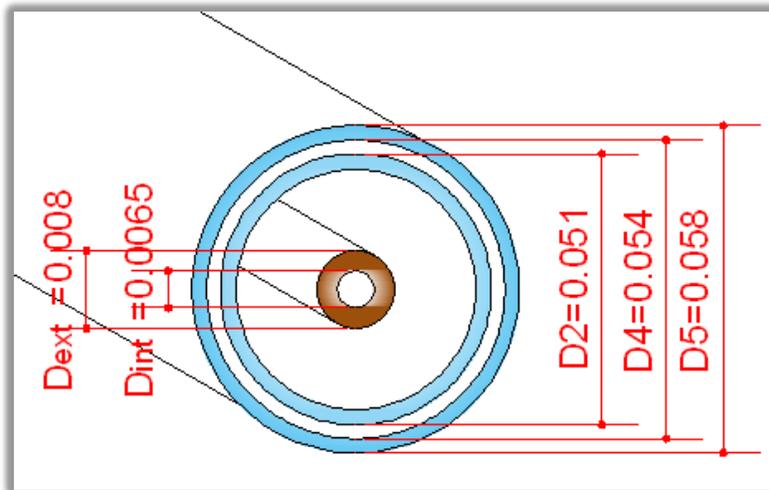


Figura 7 Corte transversal de un tubo evacuado con interior de tubo de cobre

El material del tubo es de vidrio borosilicato 3.3, cuya clasificación $3.3 \times 10^{-6} K^{-1}$ el coeficiente medio de dilatación lineal cuya conductividad térmica es $K = 1.2 \text{ W/m.K}$, tiene un tubo exterior y uno interior, entre los dos existe un vacío menor a $5 \times 10^{-2} \text{ Pa}$. Según su grafica de transmisión de radiación indica un valor mayor al 92%.

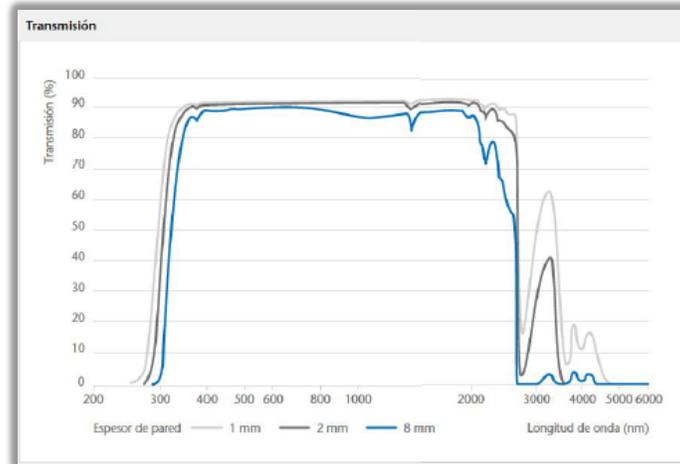


Figura 8 El vidrio borosilicato 3.3 tiene gran resistencia al choque térmico y a altas temperaturas (Temp. De transformación de 525°C) [14].

Un gas entre dos superficies solidas no interfiere con la radiación e interviene de forma efectiva como es el caso del vacío, por lo tanto la transferencia de calor a través del vacío solo se produce por radiación.

3.6 Principio de la conservación de la energía

El principio de conservación de la energía (o balance de energía) para cualquier sistema que pasa por cualquier proceso se puede expresar como: El cambio neto (aumento o disminución) en la energía total de un sistema en el curso de un proceso es igual a la diferencia entre la energía total que entra y la energía total que sale en el desarrollo de ese proceso.

$$E_{ent} - E_{sal} = \Delta E_{sistema} \quad (J) \quad (3.6.1)$$

La energía es una propiedad y el valor de una propiedad no cambia a menos que cambie el estado del sistema por lo tanto cuando el cambio de energía de un sistema es cero $\Delta E_{sistema} = 0$, se dice que el sistema es estacionario quedando la ecuación:

$$E_{ent} = E_{sal} \quad (3.6.2)$$

Para un volumen de control $\dot{m}_{ent} = \dot{m}_{sal} = \dot{m}$ (3.6.3), el balance de energía para un sistema de flujo estacionario:

$$Q = \dot{m}\Delta h = \dot{m}c_p\Delta T \quad (3.6.4) \quad [15]$$

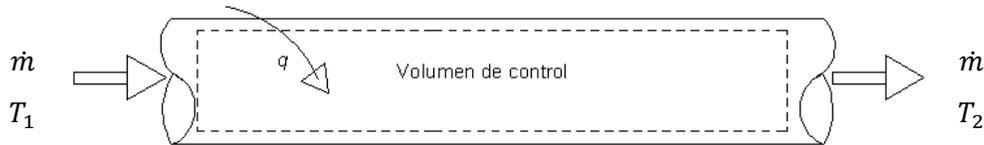


Figura 9 Tubo de cobre con circulación de agua, en contacto con el área de condensado.

3.7 Cálculo de temperatura en la superficie del tubo de vidrio borosilicato

La superficie de todos los tubos de vacío se encuentran expuestos a la intemperie con la radiación directa del sol, considerando para aquellos días en el q el cielo este despejado con una temperatura del aire de 35°C y una circulación de vientos sobre una superficie cilíndrica cuya velocidad 15 km/hr = 4.1667m/s se establece la siguiente ecuación:

$$Q_{\text{total}} = Q_{\text{conveccion}} + Q_{\text{radiacion}} \quad (3.7.1)$$

Combinando el coeficiente de convección por radiación y convección forzada:

$$h_{\text{combinado}} = h_{\text{conv}} + h_{\text{rad}} = h_{\text{conv}} + \varepsilon\sigma(T_5 + T_{\text{alred}})(T_5^2 + T_{\text{alred}}^2) \quad [15, \text{pag.138}] \quad (3.7.2)$$

$$\text{Entonces: } Q_{\text{total}} = h_{\text{combinado}} \cdot A_s(T_5 - T_{\text{alred}}) \quad (3.7.3)$$

Sustituyendo (3.7.2) en la ecuación (3.7.3) nos queda:

$$Q_{\text{total}} = [h_{\text{conv}} + \varepsilon\sigma(T_5 + T_{\text{alred}})(T_5^2 + T_{\text{alred}}^2)] \cdot [T_5 - T_{\text{alred}}] \quad (3.7.4)$$

La temperatura efectiva del cielo no se desvía mucho de la temperatura del ambiente. Por lo tanto a la luz de la ley de **KIRCHHOFF** podemos tomar la absorptividad de una superficie como igual a su emitividad a la temperatura ambiente $\alpha = \varepsilon = 0.08$ para el vidrio borosilicato.

Para hallar el coeficiente por convección (h_{conv}) hay que calcular el número de nusselt para la convección alrededor de cilindros. Las correlaciones de los datos experimentales para gases de **Hilpert** y para líquidos de **Knudsen** y **Katz** indican Nu en corrientes alrededor de cilindros puede calcularse a partir de [16].

$$Nu = \frac{hd}{K_f} = C \left(\frac{v_{\infty} d}{\nu_f} \right)^n \cdot Pr_f^{1/3} \quad (3.7.5)$$

Donde las constantes C y n están tabulados en la tabla 5. Las propiedades que se utilizan se evalúan a la temperatura de película y se indica mediante el subíndice f .

Redf	C	n
0.4 - 4	0.989	0.330
4 - 40	0.911	0.385
40 - 4,000	0.683	0.466
4,000 - 40,000	0.193	0.618
40,000 - 400,000	0.0266	0.805

Tabla 5 Coeficientes de las correlaciones de Hilpert, Knudsen y Katz [16]

Calculando $Redf = \frac{v_{\alpha}d}{v_f} = 14578.85$, usando un diámetro de $d = 2R_5 = 0.058m$, $v_{\alpha} = 4.167 m/s$, $v_{@35^{\circ}C} = 1.655 \times 10^{-5}$, las propiedades a temperatura de película entre el flujo libre y la superficie: $T_f = \left(\frac{T_5 + T_{alred}}{2}\right) = 67.5^{\circ}C$; suponiendo una temperatura $T_5 = 100^{\circ}C$, $T_{alred} = 35^{\circ}C$:

Propiedades a $T_f = 67.5^{\circ}C$; $Pr_f = 0.7183$, $K_f = 0.02863$

Por lo tanto resolviendo para h en la ecuación (7.7.5), $h_{conv} = 31.9325$, con este valor sustituiremos en la ecuación (3.7.4): resolviendo ahora para $T_5 = T_s$ que es un valor desconocido. (Ver anexo tabla A2* resuelto en Matlab)

Obteniendo un valor para $T_5 = 57.219^{\circ}C$, nuevamente recurrimos a evaluar a la temperatura de película $T_f = \left(\frac{57.219 + 35}{2}\right) = 46.11^{\circ}C$, $Pr_f = 0.7238$, $K_f = 0.0271$, $Redf = 14578.85$ y aplicando nuevamente la ec.(7.7.5) se encontró un valor de $h_{conv} = 30.3030$ con este valor sustituiremos en la ecuación (7.7.4): resolviendo ahora para $T_5 = 58.39^{\circ}C$, esta temperatura es a la que se encuentra la superficie del tubo de vidrio.

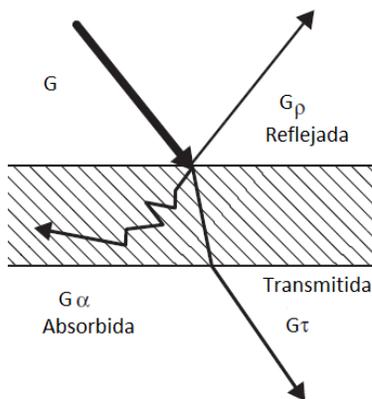
3.8 Propiedades de la radiación

3.8.1 Emisividad

La emisividad de una superficie representa la razón entre la radiación emitida por la superficie a una temperatura dada y la radiación emitida por un cuerpo negro a la misma temperatura. La emisividad de una superficie se denota por ε y varía entre 0 y 1, $0 \leq \varepsilon \leq 1$. para un cuerpo negro $\varepsilon = 1$.

3.8.2 Absortividad, reflectividad y transmisividad

Todo lo que nos rodea emite radiación en forma constante y la emisividad representa las características de emisión de esos cuerpos. Recuerde que el flujo de radiación que incide sobre una superficie se llama irradiación denotado por G . Cuando la radiación choca contra una superficie, parte de ella es absorbida, parte de ella es reflejada y si la hay, la parte restante es transmitida.



$$\begin{aligned} 0 &\leq \alpha \leq 1 \\ 0 &\leq \rho \leq 1 \\ 0 &\leq \tau \leq 1 \end{aligned}$$

$$\alpha + \rho + \tau = 1$$

Para superficies opacas $\tau = 0$

Figura 10 Absorción, transmisión y reflexión por un material semitransparente

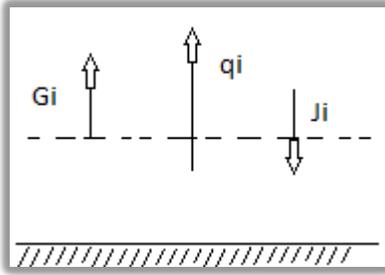
3.8.3 Ley de kirchhoff

Si consideramos un cuerpo pequeño de área superficial A_s , emisividad ε y absortividad α a la temperatura T , contenido en un recinto cerrado isotérmico a la misma temperatura. Recuerde que en un recinto cerrado isotérmico grande forma una cavidad de cuerpo negro sin importar las propiedades relativas a la radiación de la superficie del recinto, y el cuerpo que se halla en él es demasiado pequeño como para interferir con la naturaleza del cuerpo negro de la cavidad por lo tanto la radiación que incide sobre cualquier parte de la superficie del cuerpo pequeño es igual a la emitida por un cuerpo negro a la temperatura T ;

$$G_{abs} = \alpha G = \alpha \sigma T^4 \quad (3.8.3.1) \quad \varepsilon \sigma T^4 = \alpha \sigma T^4 \quad (3.8.3.2)$$

Considerando que el pequeño cuerpo se encuentra en equilibrio térmico con el recinto, la tasa neta de la transferencia de calor hacia dicho cuerpo debe ser cero. Por lo tanto, la radiación emitida por el cuerpo debe ser igual a la absorbida por él [15,pag.578-584].

3.8.4 Método de redes para intercambio de radiación



G_i = Irradiación en la zona i (W/m^2)

J_i = Radiosidad en la zona i (W/m^2)

Por definición q_i es igual a la diferencia entre J_i y G_i :

$$q_i = J_i - G_i \quad (3.8.4.1)$$

$$J_i = \epsilon_i E_{bi} + \rho_i G_i = \epsilon_i E_{bi} + (1 - \epsilon_i) G_i \quad (3.8.4.2)$$

$\rho_i = 1 - \alpha_i = 1 - \epsilon_i$, sustituyendo esto en J_i para después en $q_i = \epsilon_i(E_{bi} - G_i)$ resolviendo para G_i :

$$G_i = \frac{J_i - \epsilon_i E_{bi}}{1 - \epsilon_i} \quad (3.8.4.3)$$

Figura 11 Irradiación y radiosidad en la zona i

$A_i, T_i, \rho_i, \epsilon_i, \alpha_i$

Introduciendo G_i en q_i nos queda $q_i \cdot A_i = A_i \cdot \frac{\epsilon_i}{1 - \epsilon_i} (E_{bi} - J_i)$, W/m^2 (3.8.4.4)

Donde $R_i = \frac{1 - \epsilon_i}{A_i \cdot \epsilon_i}$ es una resistencia a la radiación. $J_i = \sigma T^4$

Para esferas concéntricas y cilindros largos se llega a la ecuación siguiente [17, pag 643]:

$$Q_0 = \frac{A_1 \sigma (T_1^4 - T_2^4)}{1/\epsilon_1 + \left(\frac{A_1}{A_2}\right) \left(\frac{1}{\epsilon_2} - 1\right)} \quad \text{Watts} \quad (3.8.4.5)$$

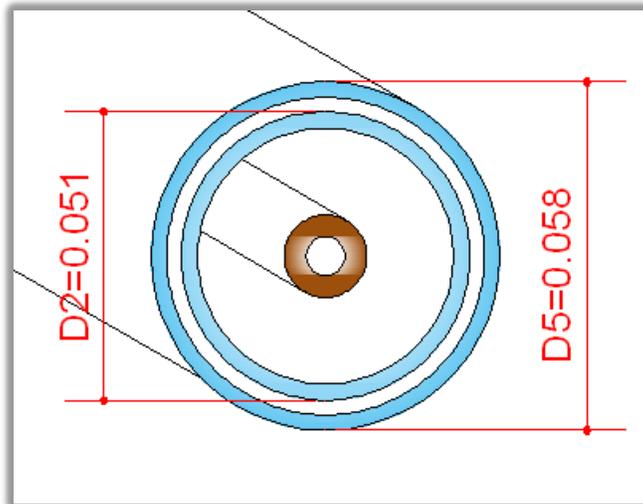


Figura 12 Diámetros exteriores de los tubos de vidrio concéntricos borosilicatos

3.9 Recubrimiento absorbente selectivo

Por encima del R2 que es el radio del tubo interior de vidrio borosilicato, se encuentra un recubrimiento de una superficie altamente absorbente llamada, recubrimiento absorbente selectivo. La realización de estas capas metálicas pueden ser de diferentes configuraciones de estructuras multicapas absorbentes, cuyo rango de materiales son: plata Ag, oro Au, aluminio Al, cromo Cr, molibdeno Mo, cobre Cu, níquel Ni, titanio Ti, niobio Nb, etc. El espesor de las multicapas están comprendido entre 5 y 1000nm. Los valores de absorptividad son $\alpha \geq 95\%$, $\varepsilon \geq 5\%$.

Los recubrimientos absorbentes selectivos juegan un papel esencial. Existen numerosos antecedentes de recubrimientos absorbentes como los descritos en las patentes W02005/121389, US4582764, US4628905, US5523132, US2004/0126594, US2005/0189525, US2007/0209658, W097/00335, y varias más. En todas ellas el recubrimiento absorbente se compone de una capa metálica que proporciona las características de baja emisividad, una o varias capas de materiales dieléctricos dopados con elementos metálicos “Cermets”, que actúan como capas absorbentes de la radiación solar y una capa dieléctrica que actúa como estructura anti reflejante. En alguna de ellas se incorpora alguna capa adicional dieléctrica que actúa como capa bloqueante frente a la difusión de los diferentes materiales. Las capas de cermets son capas absorbentes, índice de refracción complejo, donde la capacidad de absorción la proporciona el elemento metálico codopante cuya concentración pueden ser constante o gradual dentro de cada una de las capas. Los Cermets son habitualmente óxidos o nitruros metálicos dopados con elementos metálicos como Mo, Ni, Ti, Ta, Al, etc. [18].

En la siguiente figura se compara las dimensiones a nivel nanométrico

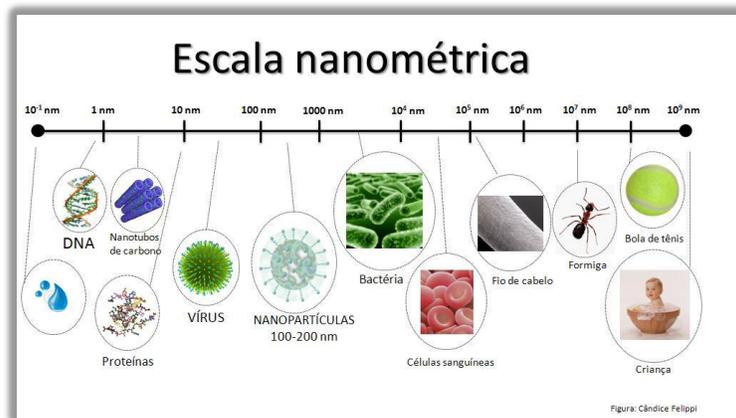


Figura 13 Escala manométrica [28]

3.10 Cálculo de la temperatura sobre la capa selectiva

Haciendo uso de la ecuación (3.8.4.5), observando la imagen transversal, considerando que la capa selectiva esta encima del radio R2; $R_3=0.0255+1000\text{nm}=0.02551$, $R_5=0.029$ con T_5 obtenido de cálculos anteriores $T_5=58.39^\circ\text{C}$.

$$A_3 = 2.04298 \times 10^{-3} \text{ m}^2 \quad Q_0 = 722.632 \cdot A_3 = \frac{A_3 \sigma (T_3^4 - T_5^4)}{1/\epsilon_3 + \left(\frac{A_3}{A_5}\right) \left(\frac{1}{\epsilon_5} - 1\right)} \quad (3.8.4.6)$$

$$A_5 = 2.64208 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$\epsilon_5 = 0.92 (\text{borosilicato})$$

$$\text{Resolviendo para, } T_3 = 402.83 \text{ K} = 129.83^\circ\text{C}$$

$$\epsilon_3 = 0.95 (\text{Capa selec.})$$

Ahora bien si la capa selectiva es una superficie cuya transmitancia $\tau = 0$, se transmitirá por conducción hacia la capa del borosilicato de radio R2, aplicando conducción en cilindros:

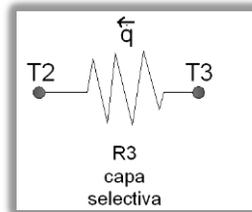


Figura 14 Resistencia térmica entre el punto 2 y 3 de los tubos evacuados.

$$\dot{Q} = \frac{T_2 - T_3}{R_3}, \quad \text{donde } R_3 = -\frac{\ln\left(\frac{R_3}{R_2}\right)}{2 \cdot \pi \cdot k \cdot l}$$

Nótese el signo menos porque la transferencia es hacia el interior de las capas de material.

k conductividad térmica del material aprox. $k = 237 \text{ w}/(\text{m}^2\text{°C})$

l longitud del cilindro $l = 1.7 \text{ m}$

$$T_3 = 129.83^\circ\text{C}, \quad \dot{Q} = 722.632 \text{ W}/\text{m}^2$$

$$\text{Sustituyendo valores para } R_3 = -1.5491 \times 10^{-8}$$

Resolviendo para T_2 que es la temperatura en la capa del tubo interior del vidrio borosilicato con radio R_2 , por lo tanto, $T_2 = 129.83^\circ\text{C}$ notar que el resultado no varió porque la capa selectiva es tan delgada que no presenta resistencia térmica considerable para los cálculos.

Ahora del radio interior del borosilicato al radio interior del tubo de cobre haciendo uso nuevamente de la ecuación (3.8.4.5):

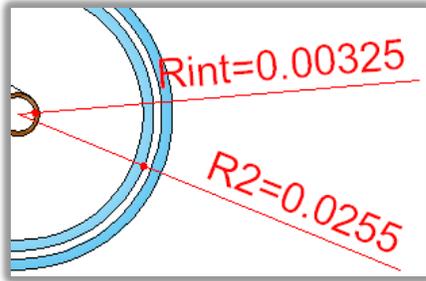


Figura 15 Corte transversal tubo de cobre y vidrio.

$$A_2 = 2.042821 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$A_{\text{int}} = 3.318307 \times 10^{-5} \text{ m}^2$$

$$Q_0 = 722.632 \cdot A_1 = \frac{A_1 \sigma (T_{\text{int}}^4 - T_2^4)}{1/\varepsilon_{\text{int}} + \left(\frac{A_{\text{int}}}{A_2}\right) \left(\frac{1}{\varepsilon_2} - 1\right)} \quad (3.8.4.7)$$

Resolviendo para (3.8.4.7), $T_{\text{int}} = 450.93 \text{ K} = 177.92^\circ\text{C}$

$$\varepsilon_2 = 0.92 (\text{borosilicato})$$

$$\varepsilon_{\text{int}} = 0.85 (\text{tubo cobre})$$

3.11 Operación del tubo de calor (heat pipe)

A una presión específica el líquido se evaporiza a cierta temperatura llamada temperatura de saturación. En estas condiciones la cantidad de calor absorbido cuando se evapora una unidad de masa del líquido es igual a la cantidad de calor rechazado cuando el vapor se condensa.

La presión capilar desarrollada en una mecha moverá un líquido en ella, incluso en contra del campo gravitacional.

Inicialmente la mecha del tubo de calor se satura con líquido y la sección del núcleo se llena con vapor. Cuando el extremo del evaporador se pone en contacto con una superficie caliente o se coloca en un medio ambiente caliente, se transferirá calor hacia el tubo. Al estar en estado saturado el líquido se evaporiza como resultado de esta transferencia, causando un aumento de presión de vapor, esta diferencia resultante de presión impulsa el vapor por el núcleo del tubo de la sección evaporador a condensador. El extremo del condensador del tubo de calor se encuentra en un medio ambiente frío, su operación se basa en ebullición y condensación alternadas. Su conductividad térmica efectiva del tubo de calor llega a valores normalmente de $100,000 \text{ W/m}^\circ\text{C}$.

El movimiento del líquido en la mecha depende del equilibrio dinámico entre los dos efectos, la presión capilar crea el efecto succión, la resistencia interna del flujo como resultado de la fricción en las superficies de malla y el líquido. Un tamaño pequeño de poro incrementa la acción capilar. Pero si decrece el tamaño del poro, el radio capilar también incrementa la fricción que se opone al movimiento [15].

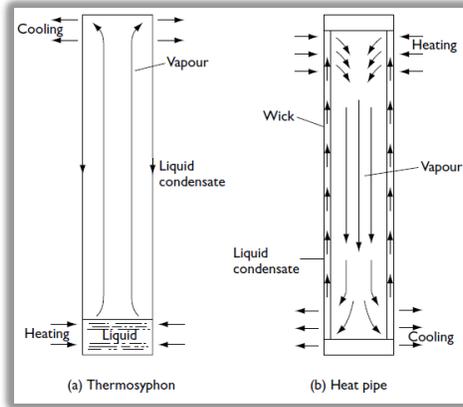


Figura 16 de funcionamiento de un tubo de calor (Heat Pipe) en (b), en la imagen de alado un tubo con principio de funcionamiento termosifón. [19]

3.12 Limite sónico

La gravedad no afecta la fuerza capilar cuando el tubo se encuentra en posición horizontal.

La velocidad sónica puede expresarse así [19 pag.57]:

$$c = \sqrt{\gamma RT} \quad (3.12.1)$$

El número de Mach es definido como

$$M = \frac{v}{c} \quad (3.12.2)$$

El balance de energía en la sección del evaporador es

$$\dot{Q} = \frac{\rho_V A v L}{\sqrt{2(\gamma+1)}} \quad (3.12.3)$$

Introduciendo al número de mach [19, pag.57] en (3.12.3)

$$\dot{Q} = \rho_V L \sqrt{\frac{\gamma RT_v}{2(\gamma+1)}} \text{ W/m}^2 \quad (3.12.4)$$

	Monatomic gas	Diatomic gas	Triatomic gas
γ	1.66	1.4	1.3
$\frac{P_o}{P_{2,c}} = 1 + \gamma$	2.66	2.4	2.3
$\frac{T_o}{T_{2,c}} = \frac{1 + \gamma}{2}$	1.33	1.2	1.15
$\frac{\rho_o}{\rho_{2,c}} = 2$	2	2	2

Figura 17 Efectos de γ sobre los efectos de compresibilidad [19]

3.13 Ebullición nucleada en el interior del tubo de calor

Cuando una superficie está en presencia de un líquido y se mantiene a una temperatura por encima de la temperatura de saturación (T_p) tiene lugar la ebullición. El flujo de calor dependerá de la diferencia de temperaturas entre la superficie y la de saturación. Existen tres casos de ebullición:

- 1.- Cuando la superficie caliente está sumergida en el líquido, el proceso se conoce como ebullición burbujeante.
- 2.- Cuando la temperatura del líquido está por debajo de la temperatura de saturación, el proceso se conoce como ebullición subenfriada o local.
- 3.- Cuando el líquido se mantiene a la temperatura de saturación, el proceso se conoce como ebullición saturada o global [16, pag361].

Para este tubo de calor se usara agua como fluido de trabajo cuya temperatura de saturación será de 30°C una presión correspondiente de $P = 4.296 \text{ Kpa}$. ya que para días poco nublados no existirá la misma radiación que la calculada a medio día, para tener una ebullición nucleada debe existir un exceso de temperatura ΔT_x .

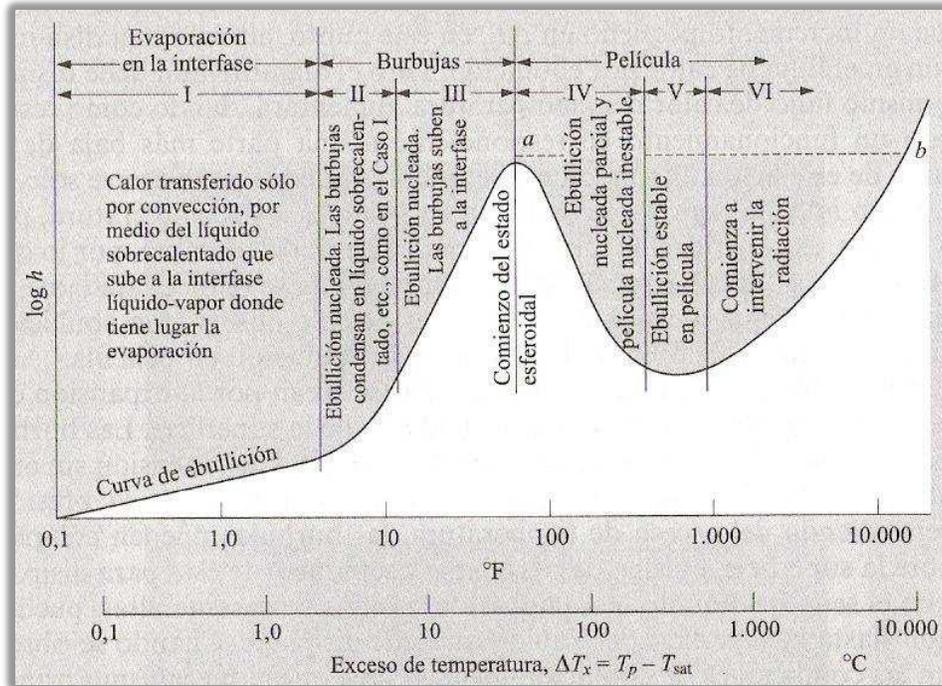


Figura 18 Esquema de los diferentes regímenes de ebullición [16]

La ebullición nucleada es muy dependiente sobre la superficie calentada y factores tales como la liberación de gas absorbido, rugosidad de la superficie, oxidación de la superficie y la humectabilidad afectan enormemente la superficie a la diferencia de temperatura del volumen del líquido. La naturaleza de la superficie puede cambiar a lo largo de un período de tiempo, un proceso conocido como condicionamiento. (El efecto de la presión también es importante.) Por estas razones, la reproducibilidad de los resultados es a menudo difícil. Sin embargo, un número de autores han propuesto correlaciones, algunos empíricos y algunos basados en modelos físicos. Uno de ellos se menciona a continuación [19]:

Según Rohsenow correlacionó datos experimentales de la ebullición burbujeante nucleada con la siguiente relación:

$$\frac{c_{p_l} \Delta T_{sat}}{L} = C S_f \left[\frac{q/A}{\mu_l} \left(\frac{\sigma_l}{g(\rho_l - \rho_v)} \right)^{0.5} \right]^{0.33} \left[\frac{\mu_l c_{p_f}}{K_l} \right]^s \quad (3.13.1)$$

S=1 para el agua

Siendo $P_r = \frac{\mu_l c_{p_f}}{K_l}$, Pr = número de Prandtl del líquido saturado, c_{p_l} el calor específico del líquido saturado, ΔT_{sat} el exceso de temperatura, L la entalpía de vaporización, μ_l la viscosidad del líquido, σ_l la tensión superficial de la internas líquido-vapor, ρ_l la densidad



del líquido saturado, C_{s_f} es constante determinada a partir de datos experimentales ver anexo A3, $s = 1.0$ para el agua

Obteniendo las propiedades del líquido para aplicar la ecuación (3.13.1):

$Cp_l = 4178$	$\Delta T_{sat} = 178-30=148$	$L = 2431 \times 10^3$	$\mu_l = 0.798 \times 10^{-3}$	$\sigma_l = 7.12 \times 10^{-2}$
$g = 9.81$	$\rho_v = 0.0304$	$\rho_l = 996$	$C_{s_f} = 0.013$	$q/A = ?$

Resolviendo para la ecuación. (3.13.1) $\dot{Q}/A = 35124825.1017 \text{ W/m}^2 = 3.5125 \text{ KW/cm}^2$

3.14 Haciendo uso del límite sónico

El flujo de calor axial mínima debido a la limitación sónica se producirá a la mínima temperatura de funcionamiento $T_v = 30^\circ\text{C}$, y puede ser calculada a partir de la ecuación (3.12.3) con el Número de Mach.

$$\dot{Q} = \rho_v L \sqrt{\frac{\gamma R T_v}{2(\gamma+1)}} = 0.0304 \cdot 2431 \times 10^3 \sqrt{\frac{1.4 \cdot 461.944 \cdot 303}{2(1.4+1)}} \quad (3.14.1)$$

Resolviendo la ecuación $\dot{Q} = 1.49 \times 10^7 \text{ W/m}^2 = 1.49 \text{ KW/cm}^2$

$$R = \frac{R_0 = 8315}{\text{peso molecular}_{\text{H}_2\text{O}}} = \frac{8315}{18} \frac{\text{J}}{\text{Kg} \cdot \text{K}} \quad (3.14.2)$$

Habrà de notarse que el flujo de calor a el limite sónico a la temperatura de saturación del agua es 2.36 veces menor que la ebullición nucleada a 178 °C.

3.15 La condensación

Considerando que el calor absorbido por el agua es igual al calor rechazado en el condensador menos ciertas perdidas, debido a la complejidad de variables como, capilaridad, propiedades de la mecha, límites de arrastre etc., dentro del tubo de calor, se simplificarán los cálculos, despreciaremos las perdidas y centràndose en calcular flujo de calor producido.



La área del condensador cuyas dimensiones son: una longitud de 70 mm, diámetro exterior e interior de 22 mm y 20 mm respectivamente,

$$A_{\text{total}} = A_{\text{cilindro}} + A_{\text{tapa}} \quad (3.15.1)$$

$$= \pi D_{\text{int}} L + \frac{\pi D_{\text{int}}^2}{4} \quad (3.15.2)$$

$$= \pi D_{\text{int}} \left(L + \frac{D_{\text{int}}}{4} \right) = 2.277655 \times 10^{-3} \text{m}^2 \quad (3.15.3)$$

La cantidad de calor rechazado es

$$\dot{Q} = \dot{Q}/A \cdot A_{\text{total}} = 35124825.1017 \text{ W/m}^2 \cdot 2.277655 \times 10^{-3} \text{m}^2 \quad (3.15.4)$$

$$\dot{Q} = 80.002 \text{ KW Por cada tubo.}$$

Cabe mencionar que este valor es la capacidad total en la condensación si se usara toda su área como una área efectiva en contacto con otra superficie como es un fluido no corrosivo como el agua purificada.

3.15.1 Aprovechamiento de energía térmica de los tubos de calor en área de condensación

En esta parte se producirá el vapor necesario para introducirlo a la autoclave o esterilizador, la tubería a utilizar será de cobre cuyo diámetro exterior es de 22mm, espesor 1mm. que estará soldado a las puntas de cierto número de tubos de calor.

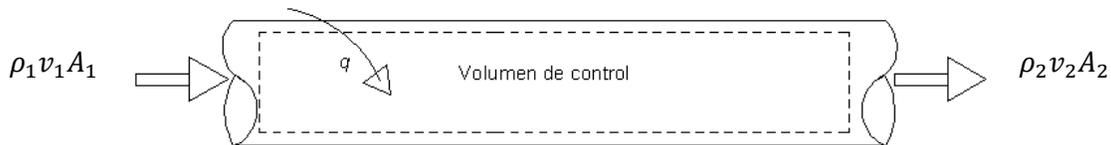


Figura 19 Entrada de agua y salida de vapor en tubo de cobre

$$\dot{m}_{ent} = \dot{m}_{sal} \quad (3.6.3),$$

$$\rho_1 v_1 A_1 = \rho_2 v_2 A_2 \quad (3.15.1.1)$$

Para un tubo de cobre cuya sección transversal es constante $A_1 = A_2 = A$ (3.15.1.2)

$$\rho_1 v_1 = \rho_2 v_2 \quad (3.15.1.3)$$

El flujo requerido de vapor sobrecalentado en las autoclaves visto en la unidad 6.3 es de $\dot{m} = 0.069 \text{ Kg_vapor / segundo}$ (3.15.1.4)

Se tiene un volumen de control a la presión atmosférica en la tubería, a la entrada con una temperatura del agua de $T_1 = 20^\circ\text{C}$, $P_1 = 1 \text{ atm}$, $\rho_1 = 998 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$

$$h_1 = 83.915 \text{Kj/Kg}$$

Igualando (3.6.3), (3.15.1.1) y resolviendo para v_2 :

$$v_2 = \frac{\dot{m}}{\rho_2 A} = \frac{0.069}{(2.242)(\pi \cdot 0.01^2)} = 97.96 \text{ m/s} \quad (3.15.1.5)$$

Resolviendo la ec. (3.15.1.3) ahora para v_1

$$v_1 = \frac{\rho_2 v_2}{\rho_1} = 0.22 \text{ m/s} \quad (3.15.1.6)$$

Las propiedades a la salida cuyos valores que se requieren son $T_2 = 145^\circ\text{C}$, de las tablas de vapor sobrecalentado se obtiene $\rho_2 = 2.242 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$, para hallar h_2 nos dirigimos a las tablas de vapor sobrecalentado Anexo A-6.

Tsat(°C)	P=0.10Mpa(99.01°C)
100	h=26758 KJ/Kg
145	h ₂ =2766.52 KJ/Kg
150	h=2776.6 KJ/Kg

Tabla 6 Temperaturas y entalpias del agua

Haciendo un balance de energía para un proceso de flujo estacionario

$$\dot{E}_{ent} = \dot{E}_{sal} \quad KW \quad (3.15.1.7)$$

$$\dot{Q}_{ent} + \dot{w}_{ent} + \sum \dot{m}\theta = \dot{Q}_{sal} + \dot{w}_{sal} + \sum \dot{m}\theta \quad (3.15.1.8)$$

$$\dot{Q}_{ent} + \dot{w}_{ent} + \sum \dot{m} \left(h + \frac{v^2}{2} + gz \right) = \dot{Q}_{sal} + \dot{w}_{sal} + \sum \dot{m} \left(h + \frac{v^2}{2} + gz \right) \quad (3.15.1.9)$$

Dado que la energía en un fluido en movimiento por unidad de masa $\theta = h + E_c + E_p =$

$$h + \frac{v^2}{2} + gz \quad [20pag, 234]$$

Para flujos de una sola corriente y $\Delta E_p = 0$, la ecuación de balance de energía de flujo estacionario es:

$$\dot{Q} - \dot{W} = \dot{m} \left[h_2 - h_1 + \frac{v_2^2 - v_1^2}{2} \right] \quad (3.15.1.10)$$

\dot{Q} Es la transferencia de calor entre el volumen de control y los alrededores.

Suponiendo que no entra trabajo $\dot{W} = 0$ nos queda calcular la cantidad de calor necesario para las condiciones del sistema.

$$h_1 = 83.915Kj/Kg$$

$$v_1 = 0.22m/s$$

$$h_2 = 2766.52 KJ/Kg$$

$$v_2 = 97.96 m/s$$

Aplicando la ecuación (7.15.1.10) resolviendo para \dot{Q} :

$$\dot{Q} = 185.430KW$$

Que corresponde a la cantidad de calor necesario para generar vapor con las condiciones establecidas para el sistema.

3.15.2 Determinación del número de tubos evacuados (heat pipe)

La configuración entre la tubería que contiene el agua y las puntas de los tubos de calor es la siguiente:

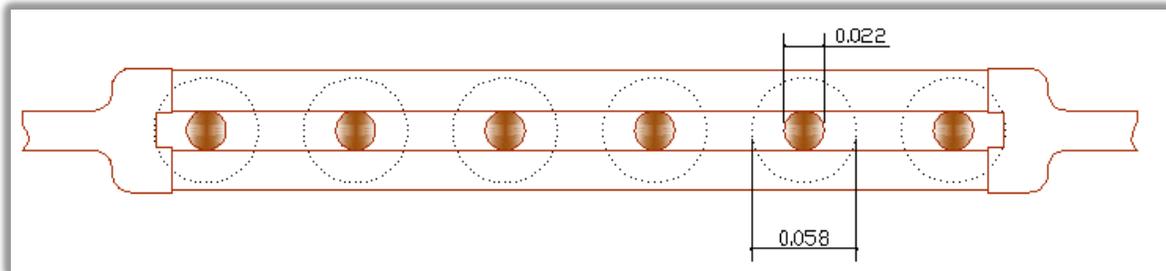


Figura 20 Configuración del condensador

Suponiendo un área de contacto mínima entre los tubos y aplicando una soldadura clasificada como soldadura fuerte: Aga fosco 750 Soldadura que sirve para remplazar a las soldaduras de plata, es de flujo capilar y alta resistencia a la tracción, temperaturas de 750°C. Se emplea en piezas de cobre y aleaciones del mismo metal; en juntas tope, a solapa y en tés. Uso de fundente Aga - 2800 [21]

$$A_c = 0.0085 \text{ m} \cdot 0.0085 \text{ m} = 7.225 \times 10^{-5} \text{ m}^2 \quad (3.15.2.1)$$

Esta área es multiplicada por los dos lados en contacto a soldar $A_{efec} = 2 \cdot A_c = 1.445 \times 10^{-4}$ (3.15.2.2)

Ahora recordando el flujo de calor del tubo y multiplicada por el área efectiva esto queda:

$$\dot{Q} = \dot{Q}/A \cdot A_{efec} = 35124825.1017 \cdot 1.445 \times 10^{-4} = 5075.5372 \text{ W} \quad (3.15.2.3)$$

Este flujo de calor es el aportado por cada tubo ahora si se necesita

185.430KW, ahora bien se obtiene:

No. Tubos = $185.430 \text{ KW} / 5.0755372 \text{ KW} = 36.53$ tubos redondeando a 37 tubos

La longitud de la tubería considerando una separación entre tubo y tubo de 2.5 cm es $(37 - 1) \cdot 0.083 + 0.058 = 3.046 \text{ m}$.

3.16 Determinación de la cantidad de líquido de trabajo en el tubo de calor

En el interior del tubo de calor se encuentra el fluido de trabajo es este caso es agua purificada, inerte. Para determinar la cantidad de líquido en su interior, haciendo el uso de la ecuación del gas ideal con una presión de trabajo máx. $P_2 = 25.193 \text{Kpa}$. La constante del vapor como gas ideal 0,4615 y a la temperatura de 178°C . El volumen es la suma de la tubería 1; de 8mm diámetro con 1.7m largo y la parte del condensador (tubería2) cuyo diámetro 22 mm y 70 mm de longitud.



Figura 21 tubos de cobre Heat pipe

Se tiene así $V = V_1 + V_2 = 5.641 \times 10^{-5} + 2.1991 \times 10^{-5} = 7.8401 \times 10^{-5} \text{m}^3$ (3.16.1)

$$PV = mRT \quad (3.16.2)$$

Presión máxima se obtuvo al suponer un sistema isométrico reversible en el interior del tubo Heat Hipe

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{T_1}{T_2} \quad (3.16.3)$$

Si la P_1 a 30°C es 4.246 kpa y la $T_2 = 178^\circ\text{C}$, resolviendo la ecuación 3.16.3 se tiene para $P_2 = 25.193 \text{ kpa}$

Resolviendo esta ecuación (3.16.2) para la cantidad de masa;(la constante del gas se obtiene de la tabla A-2 en anexos) se obtiene para m :

$m = 9.4897 \times 10^{-3} \text{Kg} = 9.4897 \text{ Gramos de agua}$.

3.17 Diseño de abastecimiento de agua al colector solar

En la figura 20 se presenta un diseño para abastecer de agua constante al colector solar, debido a que se necesita una velocidad constante de 0.22 m/s a la entrada del colector y descrito en la ecuación (7.15.1.6), el tamaño de la tubería del sistema de abastecimiento de agua que se usara para las conexiones, será tubería de CPVC de $\frac{1}{2}$ " cuyo diámetro interior es 13.4mm.que estará conectada en serie con la tubería del colector de 20mm diámetro interior.

El material CPVC pertenece a la familia de los termoplásticos. Un termoplástico es aquel plástico que al someterlo a altas temperaturas se vuelve deformable, es decir, podemos darle la forma que se requiera y que al enfriarlo este toma dicha forma y una gran resistencia.

Este material mantiene todas las características del PVC, pero por la cloración extra que tiene, ofrece un mayor rango de resistencia de uso cuando se trabaja a altas temperaturas. Actualmente se utiliza como un sustituto del cobre en la distribución de agua caliente y fría, al tener buenas propiedades también puede usarse en el manejo de algunos líquidos industriales, esto hace del CPVC un plástico de uso doméstico e industrial [26].

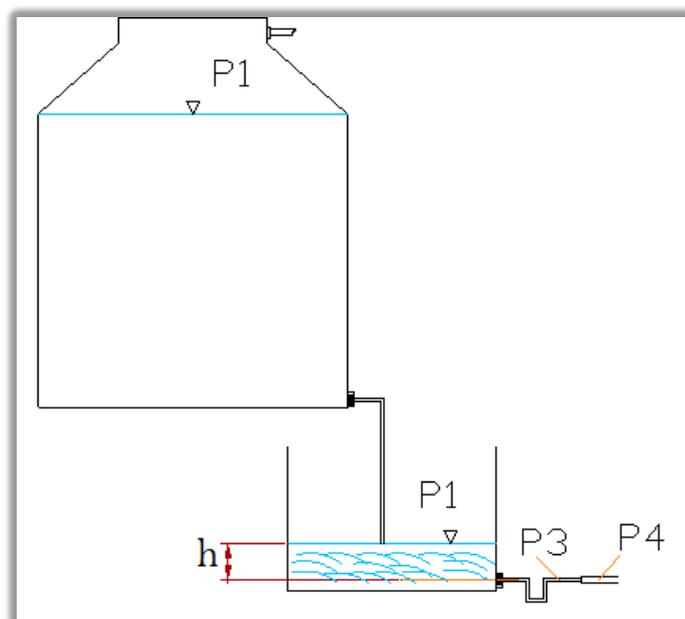


Figura 22 Configuración del sistema de abastecimiento de agua a colector.

Haciendo uso de la ecuación de continuidad para una tubería serie:

$$Q_3 = Q_4 \quad (3.17.1)$$

$$A_3V_3 = A_4V_4 \quad (3.17.2)$$

$$\pi \frac{D_3^2}{4} \cdot V_3 = \pi \frac{D_4^2}{4} \cdot V_4 \quad (3.17.3)$$

$$\pi \frac{0.0134^2}{4} \cdot V_3 = \pi \frac{0.020^2}{4} \cdot 0.22 \quad (3.17.4)$$

Resultando una velocidad 3 para la tubería de CPVC de $V_3 = 0.49$ m/s

Su número de Reynolds es $RE = \frac{D \cdot V_3}{\nu} = \frac{0.0134 \cdot 0.49}{1.007 \times 10^{-6}} = 6520.36$ (turbulento)

Analizando el tanque de la figura para garantizar un flujo de agua constante a la salida en el punto 3 por lo que hay que determinar una altura de carga.

Haciendo uso de la ecuación de Bernoulli en los puntos P1 y P3

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + z_1 = \frac{P_3}{\gamma} + \frac{V_3^2}{2g} + z_3 + H_t \quad (3.17.5)$$

Suponiendo que en el punto 3 está a presión de la atmosfera igual que en el punto 1 y que la velocidad, $V_1 \ll V_3$ por lo tanto, $V_1 = 0$ y H_t son las pérdidas totales por accesorios y tubería recta quedando la ecuación (3.17.5):

$$z_1 - z_3 = \frac{V_3^2}{2g} + H_t \quad (3.17.6)$$

Calculando las perdidas por accesorios de tubería lisa de CPCV

Accesorios	k
4 codo estándar 90°	0.9*3=3.6
De depósito a tubería a ras	0.5
Ensanchamiento brusco	$\frac{(V_3 - V_4)^2}{2g}$
Total	3.2

$$h_a = \sum k \frac{V_3^2}{2g} + \frac{(V_3 - V_4)^2}{2g} \quad (3.17.7)$$

$$h_a = \sum 3.2 \cdot \frac{0.49^2}{2 \cdot 9.81} + \frac{(0.49 - 0.22)^2}{2 \cdot 9.81} \quad (3.17.8)$$

$$h_a = 0.054 \text{ m} \quad (3.17.9)$$



Perdidas por tubería recta de CPVC

Si $RE = 6520.36$, $\varepsilon/d = 0$ (tubería lisa) según el diagrama de Moody el coeficiente de fricción de Darcy [22, pág. 345] es $f = 0.036$, por lo tanto se tienen todos los valores para hallar las pérdidas de carga haciendo uso de la ecuación:

$$h_l = f \cdot \frac{L}{D_3} \cdot \frac{V_3^2}{2g} \quad (3.17.10)$$

La longitud de tubería se estima de 2 metros, resolviendo para la ecuación (3.17.10) se tiene $h_l = 0.064m$, para $H_t = h_a + h_l = 0.054m + 0.064m = 0.118m$

Ahora sí, resolviendo para la ecuación (3.17.6):

$$z_1 - z_3 = \frac{0.49^2}{2 \cdot 9.81} + 0.118 = 0.13 \text{ m} = 13 \text{ cm} \quad (3.17.7)$$

Ya que se necesita abastecer $Q_3 = 0.0691 \text{ lts/s}$, el recipiente tendrá una capacidad para funcionamiento continuo de 4.42 horas para un tinaco rotoplas de 1100 litros. Su configuración será un llenado normal con 2 válvulas en la parte de arriba uno de llenado mientras la otra libera aire en el mismo proceso de llenado. En la parte de abajo se tiene la configuración con una tubería de descarga de $\frac{1}{2}$ " de CPVC a ras con el líquido receptor parte 3 con cierto nivel ya calculado (carga hidráulica) que garantiza una velocidad a la salida al colector solar

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES





CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En el presente proyecto de residencia profesional se empleó el análisis y diseño de un colector solar que fuese útil en la etapa de esterilización del proceso de producción de biodiesel, dicha etapa requiere vapor que es utilizado en unas autoclaves que en su ciclo contienen en su interior el fruto de la palma africana con pocas horas de ser cosechadas a fin de inactivar las enzimas que causan su descomposición.

Los datos recabados y necesarios para diseñar y determinar la cantidad de tubos evacuados, fueron los valores promedio de la insolación global de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas así como la orientación del sol para cada estación del año respectivamente. También se utilizó valores de radiación solar extraterrestre a la latitud norte de ésta ciudad. En base a esto se calculó la radiación instantánea incidente en un plano inclinado con el mismo valor de la latitud de la ciudad y su ubicación fija con orientación al sur.

Ya con el valor de la radiación se prosiguió a determinar la temperatura en el interior del tubo evacuado, es decir, en la superficie del tubo de cobre Heat Pipe. Este tubo de cobre delgado que almacena en su interior agua purificada con temperatura de saturación baja, con el fin de producir un exceso de temperatura en el agua, con lo cual se lleva a cabo el fenómeno de la ebullición nucleada. Como el tubo Heat Pipe es largo existe una sección de evaporación y condensación en su interior, en éste último se aprovecha el flujo de calor por contacto con una tubería de cobre que en su interior se hace circular agua, ésta agua absorberá el calor y debe pasar de estado líquido a vapor, con este estado de vapor se llega a el objetivo del colector.

Otra parte importante es mantener un flujo de vapor constante que en un estado anterior es agua, el diseño fue lo más pertinente debido a que el caudal es poco.

Luego de realizar los cálculos necesarios se llegó a determinar que se requiere 37 tubos evacuados considerando una radiación incidente de 722.632 w/m^2 a medio día para la época de verano. La temperatura en el tubo Heat Pipe que se logra es de 177.92°C , la configuración en el condensador es clave importante para el aprovechamiento de calor ya que si se aprovechara toda la área de condensador del tubo Heat Pipe el flujo de calor es de 80 KW por cada tubo, pero el contacto efectivo por tubo según la configuración tomada en este diseño es aprovechable solo 5.075 por tubo.



El agua suministrada al colector debe ser constante, para el cual se ha calculado un caudal de 0.069 litros/segundo para producir 270 kg de vapor en 65 minutos, esto alimenta a una sola autoclave.

Cabe mencionar que el análisis del tubo de calor Heat pipe, no se consideró en los cálculos su configuración interior una de las partes es la llamada mecha, las ranuras del tubo para el efecto de capilaridad, porosidad, conceptos como límite de arrastre no son incluidos en los cálculos debido a la complejidad y reducida información de esta tecnología reduciendo a calcular el flujo de calor con solo la ebullición nucleada que se produce en su interior.

Se logra apreciar la factibilidad en ahorro eléctrico, que en un principio es una inversión moderada y cuyo periodo de vida de los materiales como los tubos de evacuados puede llegar a los 15 años. Es recomendable para más de una autoclave aumentar el tamaño de tanque de almacenamiento, es prudente analizar y diseñar otra configuración en el área de condensado para su mejor aprovechamiento de energía térmica. Realizar una adaptación al sistema de la autoclave para hacer uso del colector en días soleados y cuando no halla sol desactivar el colector y que entre en funcionamiento normal la autoclave.

ANEXOS

TABLA A-1: RADIACIÓN SOLAR EXTRATERRESTRE

Lat.° Norte	HEMISFERIO NORTE Ra en MJ · m ⁻² · día ⁻¹											
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
0.0	36.1	37.6	38.0	36.8	34.8	33.4	33.8	35.5	37.1	37.4	36.5	35.7
2.0	35.3	37.1	37.9	37.1	35.4	34.2	34.5	36.0	37.2	37.1	35.8	34.8
4.0	34.5	36.6	37.7	37.4	36.0	34.9	35.2	36.4	37.3	36.8	35.1	33.9
6.0	33.6	36.0	37.5	37.6	36.6	35.6	35.8	36.8	37.3	36.4	34.3	33.0
8.0	32.7	35.4	37.3	37.8	37.1	36.3	36.4	37.2	37.2	35.9	33.5	32.1
10.0	31.8	34.7	37.0	38.0	37.5	36.9	37.0	37.5	37.1	35.4	32.7	31.1
12.0	30.9	34.0	36.7	38.0	38.0	37.5	37.6	37.8	37.0	34.9	31.8	30.1
14.0	29.9	33.3	36.3	38.1	38.4	38.1	38.0	38.0	36.8	34.3	30.9	29.0
16.0	28.9	32.5	35.8	38.1	38.7	38.6	38.5	38.2	36.6	33.7	30.0	27.9
18.0	27.8	31.7	35.4	38.1	39.0	39.1	38.9	38.3	36.4	33.0	29.1	26.9
20.0	26.7	30.8	34.8	38.0	39.3	39.5	39.3	38.4	36.0	32.3	28.1	25.7
22.0	25.6	29.9	34.3	37.8	39.5	39.9	39.6	38.4	35.7	31.6	27.0	24.6
24.0	24.5	29.0	33.7	37.7	39.7	40.3	39.9	38.5	35.3	30.8	26.0	23.4
26.0	23.4	28.1	33.0	37.4	39.8	40.6	40.2	38.4	34.9	30.0	24.9	22.3
28.0	22.2	27.1	32.4	37.2	39.9	40.9	40.4	38.3	34.4	29.2	23.8	21.1
30.0	21.1	26.1	31.6	36.9	40.0	41.1	40.6	38.2	33.9	28.3	22.7	19.8
32.0	19.9	25.0	30.9	36.5	40.0	41.3	40.7	38.1	33.3	27.4	21.6	18.6
34.0	18.7	24.0	30.1	36.1	39.9	41.5	40.8	37.9	32.7	26.4	20.4	17.4
36.0	17.4	22.9	29.3	35.7	39.9	41.7	40.9	37.6	32.0	25.5	19.2	16.2
37.0	16.8	22.3	28.8	35.4	39.8	41.7	40.9	37.5	31.7	25.0	18.7	15.5
38.0	16.2	21.7	28.4	35.2	39.8	41.7	40.9	37.3	31.4	24.5	18.1	14.9
39.0	15.6	21.2	27.9	34.9	39.7	41.8	40.9	37.2	31.0	24.0	17.5	14.3
40.0	15.0	20.6	27.5	34.7	39.6	41.8	40.9	37.0	30.6	23.4	16.9	13.7
41.0	14.4	20.0	27.0	34.4	39.5	41.8	40.9	36.8	30.3	22.9	16.3	13.1
42.0	13.8	19.5	26.6	34.1	39.4	41.8	40.8	36.6	29.9	22.4	15.7	12.4
43.0	13.2	18.9	26.1	33.8	39.3	41.8	40.8	36.4	29.5	21.9	15.1	11.8
45.0	11.9	17.7	25.1	33.2	39.1	41.8	40.7	36.0	28.7	20.8	13.8	10.6
46.0	11.3	17.1	24.6	32.9	39.0	41.8	40.6	35.8	28.3	20.2	13.2	10.0
47.0	10.7	16.5	24.1	32.6	38.8	41.8	40.6	35.6	27.8	19.6	12.6	9.4
48.0	10.1	15.9	23.6	32.2	38.7	41.8	40.5	35.3	27.4	19.1	12.0	8.8
49.0	9.5	15.3	23.0	31.9	38.5	41.7	40.4	35.1	27.0	18.5	11.4	8.2
50.0	8.9	14.7	22.5	31.5	38.4	41.7	40.3	34.8	26.5	17.9	10.8	7.6
60.0	3.3	8.5	16.8	27.5	36.5	41.2	39.3	31.9	21.6	12.0	4.9	2.2

Fuente: <http://ocw.upm.es/ingenieria-agroforestal/climatologia-aplicada-a-la-ingenieria-y-medioambiente/contenidos/tema-3/TABLA-RADIACION-SOLAR-EXTRATERRESTRE.pdf>



```

MATLAB 7.10.0 (R2010a)
File Edit Debug Parallel Desktop Window Help
Current Folder: C:\Users\chrisof\Documents\MATLAB
Shortcuts How to Add What's New
New to MATLAB? Watch this Video, see Demos, or read Getting Started.
Workspace
Command History
>> solve('722.632=(31.9325+(0.08*5.67e-8*(ts+273+308)*((ts+273)^2+308^2)))*(ts-35)', 'ts')
ans =
-2289.4121726436511203269366846897
57.219237539485974213596508988169
1672.8099267436585546667829284773*i + 570.09646755208257305667008785078
570.09646755208257305667008785078 - 1672.8099267436585546667829284773*i
>> %resolviendo la ecuacion se encuentra un valor real ts=57.219°C
>> %evaluando las propiedades @ ts Kf=0.0271 Prf=0.7238 para hallar h
>> %iteracion
>> solve('722.632=(30.3030+(0.08*5.67e-8*(ts+273+308)*((ts+273)^2+308^2)))*(ts-35)', 'ts')
ans =
-2256.4308872214937578447503354342
58.388696770827401539548013800511
1644.4510105573572795886646810685*i + 553.02109522533317815260116081683
553.02109522533317815260116081683 - 1644.4510105573572795886646810685*i
>> %obteniendo ts=58.389°C
fi >> |
Start OVR

```

A2* Fuente propia

Combinación fluido-superficie	C_{sf}	Combinación fluido-superficie	C_s
Agua-cobre	0.0130	Tetracloruro de carbón-cobre esmerilado	0.0070
Agua-platino	0.0130	Benceno-cromo	0.0100
Agua latón	0.0060	n-Butano-cobre	0.0030
Agua-cobre esmerilado	0.0128	Alcohol etílico-cromo	0.0270
Agua-acero inoxidable rectificado y pulido	0.0080	Alcohol isopropílico-cobre	0.0022
Agua-acero inoxidable atacado	0.0133	n-Pentano-cromo	0.0150
Agua-acero inox. pulido mecánicamente	0.0132	n-Pentano-cobre esmerilado	0.0154
Agua-cobre esmerilado y tratado con	0.0147	n-Pentano-níquel esmerilado	0.0127
Agua-cobre rayado	0.0068	n-Pentano-cobre tribopulido	0.0049
Agua-acero inoxidable punteado con	0.0058	35 % K_2CO_3 -cobre	0.0054
Tetracloruro de carbón-cobre	0.0130	50 % K_2CO_3 -cobre	0.0027

A3 Valores de C_{sf} para varias combinaciones líquido-superficie J.P. Holman. Transferencia de calor.ed. Mc Graw-hill 8ª edición

878
APÉNDICE 1

TABLA A-9

Propiedades del agua saturada

Temp., <i>T</i> °C	Presión de saturación, <i>P</i> _{sat} , kPa	Densidad, <i>ρ</i> kg/m ³		Entalpía de vaporización, <i>h</i> _{fg} , kJ/kg	Calor específico, <i>c</i> _p , J/kg · K		Conductividad térmica, <i>k</i> W/m · K		Viscosidad dinámica, <i>μ</i> kg/m · s		Número de Prandtl, Pr		Coeficiente de expansión volumétrica, <i>β</i> 1/K			
		Líquido	Vapor		Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	Líquido			
0.01	0.6113	999.8	0.0048	2 501	4 217	1 854	0.561	0.0171	1.792	10 ⁻³	0.922	10 ⁻⁵	13.5	1.00	0.068	10 ⁻³
5	0.8721	999.9	0.0068	2 490	4 205	1 857	0.571	0.0173	1.519	10 ⁻³	0.934	10 ⁻⁵	11.2	1.00	0.015	10 ⁻³
10	1.2276	999.7	0.0094	2 478	4 194	1 862	0.580	0.0176	1.307	10 ⁻³	0.946	10 ⁻⁵	9.45	1.00	0.733	10 ⁻³
15	1.7051	999.1	0.0128	2 466	4 185	1 863	0.589	0.0179	1.138	10 ⁻³	0.959	10 ⁻⁵	8.09	1.00	0.138	10 ⁻³
20	2.339	998.0	0.0173	2 454	4 182	1 867	0.598	0.0182	1.002	10 ⁻³	0.973	10 ⁻⁵	7.01	1.00	0.195	10 ⁻³
25	3.169	997.0	0.0231	2 442	4 180	1 870	0.607	0.0186	0.891	10 ⁻³	0.987	10 ⁻⁵	6.14	1.00	0.247	10 ⁻³
30	4.246	996.0	0.0304	2 431	4 178	1 875	0.615	0.0189	0.798	10 ⁻³	1.001	10 ⁻⁵	5.42	1.00	0.294	10 ⁻³
35	5.628	994.0	0.0397	2 419	4 178	1 880	0.623	0.0192	0.720	10 ⁻³	1.016	10 ⁻⁵	4.83	1.00	0.337	10 ⁻³
40	7.384	992.1	0.0512	2 407	4 179	1 885	0.631	0.0196	0.653	10 ⁻³	1.031	10 ⁻⁵	4.32	1.00	0.377	10 ⁻³
45	9.593	990.1	0.0655	2 395	4 180	1 892	0.637	0.0200	0.596	10 ⁻³	1.046	10 ⁻⁵	3.91	1.00	0.415	10 ⁻³
50	12.35	988.1	0.0831	2 383	4 181	1 900	0.644	0.0204	0.547	10 ⁻³	1.062	10 ⁻⁵	3.55	1.00	0.451	10 ⁻³
55	15.76	985.2	0.1045	2 371	4 183	1 908	0.649	0.0208	0.504	10 ⁻³	1.077	10 ⁻⁵	3.25	1.00	0.484	10 ⁻³
60	19.94	983.3	0.1304	2 359	4 185	1 916	0.654	0.0212	0.467	10 ⁻³	1.093	10 ⁻⁵	2.99	1.00	0.517	10 ⁻³
65	25.03	980.4	0.1614	2 346	4 187	1 926	0.659	0.0216	0.433	10 ⁻³	1.110	10 ⁻⁵	2.75	1.00	0.548	10 ⁻³
70	31.19	977.5	0.1983	2 334	4 190	1 936	0.663	0.0221	0.404	10 ⁻³	1.126	10 ⁻⁵	2.55	1.00	0.578	10 ⁻³
75	38.58	974.7	0.2421	2 321	4 193	1 948	0.667	0.0225	0.378	10 ⁻³	1.142	10 ⁻⁵	2.38	1.00	0.607	10 ⁻³
80	47.39	971.8	0.2935	2 309	4 197	1 962	0.670	0.0230	0.355	10 ⁻³	1.159	10 ⁻⁵	2.22	1.00	0.653	10 ⁻³
85	57.83	968.1	0.3536	2 296	4 201	1 977	0.673	0.0235	0.333	10 ⁻³	1.176	10 ⁻⁵	2.08	1.00	0.670	10 ⁻³
90	70.14	965.3	0.4235	2 283	4 206	1 993	0.675	0.0240	0.315	10 ⁻³	1.193	10 ⁻⁵	1.96	1.00	0.702	10 ⁻³
95	84.55	961.5	0.5045	2 270	4 212	2 010	0.677	0.0246	0.297	10 ⁻³	1.210	10 ⁻⁵	1.85	1.00	0.716	10 ⁻³
100	101.33	957.9	0.5978	2 257	4 217	2 029	0.679	0.0251	0.282	10 ⁻³	1.227	10 ⁻⁵	1.75	1.00	0.750	10 ⁻³
110	143.27	950.6	0.8263	2 230	4 229	2 071	0.682	0.0262	0.255	10 ⁻³	1.261	10 ⁻⁵	1.58	1.00	0.798	10 ⁻³
120	198.53	943.4	1.121	2 203	4 244	2 120	0.683	0.0275	0.232	10 ⁻³	1.296	10 ⁻⁵	1.44	1.00	0.858	10 ⁻³
130	270.1	934.6	1.496	2 174	4 263	2 177	0.684	0.0288	0.213	10 ⁻³	1.330	10 ⁻⁵	1.33	1.01	0.913	10 ⁻³
140	361.3	921.7	1.965	2 145	4 286	2 244	0.683	0.0301	0.197	10 ⁻³	1.365	10 ⁻⁵	1.24	1.02	0.970	10 ⁻³
150	475.8	916.6	2.546	2 114	4 311	2 314	0.682	0.0316	0.183	10 ⁻³	1.399	10 ⁻⁵	1.16	1.02	1.025	10 ⁻³
160	617.8	907.4	3.256	2 083	4 340	2 420	0.680	0.0331	0.170	10 ⁻³	1.434	10 ⁻⁵	1.09	1.05	1.145	10 ⁻³
170	791.7	897.7	4.119	2 050	4 370	2 490	0.677	0.0347	0.160	10 ⁻³	1.468	10 ⁻⁵	1.03	1.05	1.178	10 ⁻³
180	1 002.1	887.3	5.153	2 015	4 410	2 590	0.673	0.0364	0.150	10 ⁻³	1.502	10 ⁻⁵	0.983	1.07	1.210	10 ⁻³
190	1 254.4	876.4	6.388	1 979	4 460	2 710	0.669	0.0382	0.142	10 ⁻³	1.537	10 ⁻⁵	0.947	1.09	1.280	10 ⁻³
200	1 553.8	864.3	7.852	1 941	4 500	2 840	0.663	0.0401	0.134	10 ⁻³	1.571	10 ⁻⁵	0.910	1.11	1.350	10 ⁻³
220	2 318	840.3	11.60	1 859	4 610	3 110	0.650	0.0442	0.122	10 ⁻³	1.641	10 ⁻⁵	0.865	1.15	1.520	10 ⁻³
240	3 344	813.7	16.73	1 767	4 760	3 520	0.632	0.0487	0.111	10 ⁻³	1.712	10 ⁻⁵	0.836	1.24	1.720	10 ⁻³
260	4 688	783.7	23.69	1 663	4 970	4 070	0.609	0.0540	0.102	10 ⁻³	1.788	10 ⁻⁵	0.832	1.35	2.000	10 ⁻³
280	6 412	750.8	33.15	1 544	5 280	4 835	0.581	0.0605	0.094	10 ⁻³	1.870	10 ⁻⁵	0.854	1.49	2.380	10 ⁻³
300	8 581	713.8	46.15	1 405	5 750	5 980	0.548	0.0695	0.086	10 ⁻³	1.965	10 ⁻⁵	0.902	1.69	2.950	10 ⁻³
320	11 274	667.1	64.57	1 239	6 540	7 900	0.509	0.0836	0.078	10 ⁻³	2.084	10 ⁻⁵	1.00	1.97	—	—
340	14 586	610.5	92.62	1 028	8 240	11 870	0.469	0.110	0.070	10 ⁻³	2.255	10 ⁻⁵	1.23	2.43	—	—
360	18 651	528.3	144.0	720	14 690	25 800	0.427	0.178	0.060	10 ⁻³	2.571	10 ⁻⁵	2.06	3.73	—	—
374.14	22 090	317.0	317.0	0	—	—	—	—	0.043	10 ⁻³	4.313	10 ⁻⁵	—	—	—	—

Nota 1: La viscosidad cinemática ν y la difusividad térmica α se pueden calcular a partir de sus definiciones, $\nu = \mu/\rho$ y $\alpha = k/\rho c_p$. /Pr. Las temperaturas de 0.01°C, 100°C y 374.14°C son las temperaturas de los puntos triple, de ebullición y crítico del agua, respectivamente. Las propiedades cuya lista se da arriba (excepto la densidad del vapor) se pueden usar a cualquier presión con error despreciable, excepto a temperaturas cercanas al valor del punto crítico.

Nota 2: La unidad kJ/kg · °C, para el calor específico, es equivalente a kJ/kg · K y la unidad W/m · °C, para la conductividad térmica es equivalente a W/m · K.

Fuente: Los datos de la viscosidad y la conductividad térmica se tomaron de J. V. Sengers y J. T. R. Watson, *Journal of Physical and Chemical Reference Data* 15 (1986), pp. 1291-1322. Los otros datos se obtuvieron de diversas fuentes o se calcularon.



TABLA A-4

Agua saturada. Tabla de temperaturas

Temp., <i>T</i> °C	Volumen específico, <i>m</i> ³ / <i>kg</i>			Energía interna, <i>kJ/kg</i>			Entalpía, <i>kJ/kg</i>			Entropía, <i>kJ/kg · K</i>		
	Pres. sat., <i>P</i> _{sat} kPa	Líqu. sat., <i>v</i> _f	Vapor sat., <i>v</i> _g	Líqu. sat., <i>u</i> _f	Evap., <i>u</i> _{fg}	Vapor sat., <i>u</i> _g	Líqu. sat., <i>h</i> _f	Evap., <i>h</i> _{fg}	Vapor sat., <i>h</i> _g	Líqu. sat., <i>s</i> _f	Evap., <i>s</i> _{fg}	Vapor sat., <i>s</i> _g
0.01	0.6117	0.001000	206.00	0.000	2374.9	2374.9	0.001	2500.9	2500.9	0.0000	9.1556	9.1556
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	2634.6	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	57.868	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

918

TABLAS DE PROPIEDADES, FIGURAS Y DIAGRAMAS (UNIDADES SI)

TABLA A-6

Vapor de agua sobrecalentado

<i>T</i> °C	<i>v</i> m ³ /kg	<i>u</i> kJ/kg	<i>h</i> kJ/kg	<i>s</i> kJ/kg K	<i>v</i> m ³ /kg	<i>u</i> kJ/kg	<i>h</i> kJ/kg	<i>s</i> kJ/kg K	<i>v</i> m ³ /kg	<i>u</i> kJ/kg	<i>h</i> kJ/kg	<i>s</i> kJ/kg K
	<i>P</i> 0.01 MPa (45.81°C)*				<i>P</i> 0.05 MPa (81.32°C)				<i>P</i> 0.10 MPa (99.61°C)			
Sat.†	14.670	2437.2	2583.9	8.1488	3.2403	2483.2	2645.2	7.5931	1.6941	2505.6	2675.0	7.3589
50	14.867	2443.3	2592.0	8.1741								
100	17.196	2515.5	2687.5	8.4489	3.4187	2511.5	2682.4	7.6953	1.6959	2506.2	2675.8	7.3611
150	19.513	2587.9	2783.0	8.6893	3.8897	2585.7	2780.2	7.9413	1.9367	2582.9	2776.6	7.6148
200	21.826	2661.4	2879.6	8.9049	4.3562	2660.0	2877.8	8.1592	2.1724	2658.2	2875.5	7.8356
250	24.136	2736.1	2977.5	9.1015	4.8206	2735.1	2976.2	8.3568	2.4062	2733.9	2974.5	8.0346
300	26.446	2812.3	3076.7	9.2827	5.2841	2811.6	3075.8	8.5387	2.6389	2810.7	3074.5	8.2172
400	31.063	2969.3	3280.0	9.6094	6.2094	2968.9	3279.3	8.8659	3.1027	2968.3	3278.6	8.5452
500	35.680	3132.9	3489.7	9.8998	7.1338	3132.6	3489.3	9.1566	3.5655	3132.2	3488.7	8.8362
600	40.296	3303.3	3706.3	10.1631	8.0577	3303.1	3706.0	9.4201	4.0279	3302.8	3705.6	9.0999
700	44.911	3480.8	3929.9	10.4056	8.9813	3480.6	3929.7	9.6626	4.4900	3480.4	3929.4	9.3424
800	49.527	3665.4	4160.6	10.6312	9.9047	3665.2	4160.4	9.8883	4.9519	3665.0	4160.2	9.5682
900	54.143	3856.9	4398.3	10.8429	10.8280	3856.8	4398.2	10.1000	5.4137	3856.7	4398.0	9.7800
1000	58.758	4055.3	4642.8	11.0429	11.7513	4055.2	4642.7	10.3000	5.8755	4055.0	4642.6	9.9800
1100	63.373	4260.0	4893.8	11.2326	12.6745	4259.9	4893.7	10.4897	6.3372	4259.8	4893.6	10.1698
1200	67.989	4470.9	5150.8	11.4132	13.5977	4470.8	5150.7	10.6704	6.7988	4470.7	5150.6	10.3504
1300	72.604	4687.4	5413.4	11.5857	14.5209	4687.3	5413.3	10.8429	7.2605	4687.2	5413.3	10.5229
	<i>P</i> 0.20 MPa (120.21°C)				<i>P</i> 0.30 MPa (133.52°C)				<i>P</i> 0.40 MPa (143.61°C)			
Sat.	0.88578	2529.1	2706.3	7.1270	0.60582	2543.2	2724.9	6.9917	0.46242	2553.1	2738.1	6.8955
150	0.95986	2577.1	2769.1	7.2810	0.63402	2571.0	2761.2	7.0792	0.47088	2564.4	2752.8	6.9306
200	1.08049	2654.6	2870.7	7.5081	0.71643	2651.0	2865.9	7.3132	0.53434	2647.2	2860.9	7.1723
250	1.19890	2731.4	2971.2	7.7100	0.79645	2728.9	2967.9	7.5180	0.59520	2726.4	2964.5	7.3804
300	1.31623	2808.8	3072.1	7.8941	0.87535	2807.0	3069.6	7.7037	0.65489	2805.1	3067.1	7.5677
400	1.54934	2967.2	3277.0	8.2236	1.03155	2966.0	3275.5	8.0347	0.77265	2964.9	3273.9	7.9003
500	1.78142	3131.4	3487.7	8.5153	1.18672	3130.6	3486.6	8.3271	0.88936	3129.8	3485.5	8.1933
600	2.01302	3302.2	3704.8	8.7793	1.34139	3301.6	3704.0	8.5915	1.00558	3301.0	3703.3	8.4580
700	2.24434	3479.9	3928.8	9.0221	1.49580	3479.5	3928.2	8.8345	1.12152	3479.0	3927.6	8.7012
800	2.47550	3664.7	4159.8	9.2479	1.65004	3664.3	4159.3	9.0605	1.23730	3663.9	4158.9	8.9274
900	2.70656	3856.3	4397.7	9.4598	1.80417	3856.0	4397.3	9.2725	1.35298	3855.7	4396.9	9.1394
1000	2.93755	4054.8	4642.3	9.6599	1.95824	4054.5	4642.0	9.4726	1.46859	4054.3	4641.7	9.3396
1100	3.16848	4259.6	4893.3	9.8497	2.11226	4259.4	4893.1	9.6624	1.58414	4259.2	4892.9	9.5295
1200	3.39938	4470.5	5150.4	10.0304	2.26624	4470.3	5150.2	9.8431	1.69966	4470.2	5150.0	9.7102
1300	3.63026	4687.1	5413.1	10.2029	2.42019	4686.9	5413.0	10.0157	1.81516	4686.7	5412.8	9.8828
	<i>P</i> 0.50 MPa (151.83°C)				<i>P</i> 0.60 MPa (158.83°C)				<i>P</i> 0.80 MPa (170.41°C)			
Sat.	0.37483	2560.7	2748.1	6.8207	0.31560	2566.8	2756.2	6.7593	0.24035	2576.0	2768.3	6.6616
200	0.42503	2643.3	2855.8	7.0610	0.35212	2639.4	2850.6	6.9683	0.26088	2631.1	2839.8	6.8177
250	0.47443	2723.8	2961.0	7.2725	0.39390	2721.2	2957.6	7.1833	0.29321	2715.9	2950.4	7.0402
300	0.52261	2803.3	3064.6	7.4614	0.43442	2801.4	3062.0	7.3740	0.32416	2797.5	3056.9	7.2345
350	0.57015	2883.0	3168.1	7.6346	0.47428	2881.6	3166.1	7.5481	0.35442	2878.6	3162.2	7.4107
400	0.61731	2963.7	3272.4	7.7956	0.51374	2962.5	3270.8	7.7097	0.38429	2960.2	3267.7	7.5735
500	0.71095	3129.0	3484.5	8.0893	0.59200	3128.2	3483.4	8.0041	0.44332	3126.6	3481.3	7.8692
600	0.80409	3300.4	3702.5	8.3544	0.66976	3299.8	3701.7	8.2695	0.50186	3298.7	3700.1	8.1354
700	0.89696	3478.6	3927.0	8.5978	0.74725	3478.1	3926.4	8.5132	0.56011	3477.2	3925.3	8.3794
800	0.98966	3663.6	4158.4	8.8240	0.82457	3663.2	4157.9	8.7395	0.61820	3662.5	4157.0	8.6061
900	1.08227	3855.4	4396.6	9.0362	0.90179	3855.1	4396.2	8.9518	0.67619	3854.5	4395.5	8.8185
1000	1.17480	4054.0	4641.4	9.2364	0.97893	4053.8	4641.1	9.1521	0.73411	4053.3	4640.5	9.0189
1100	1.26728	4259.0	4892.6	9.4263	1.05603	4258.8	4892.4	9.3420	0.79197	4258.3	4891.9	9.2090
1200	1.35972	4470.0	5149.8	9.6071	1.13309	4469.8	5149.6	9.5229	0.84980	4469.4	5149.3	9.3898
1300	1.45214	4686.6	5412.6	9.7797	1.21012	4686.4	5412.5	9.6955	0.90761	4686.1	5412.2	9.5625

*La temperatura entre paréntesis es la temperatura de saturación a la presión especificada.

† Propiedades del vapor saturado a la presión especificada.



TABLA A-2

Calores específicos de gas ideal de varios gases comunes

a) A 300 K

Gas	Fórmula	Constante de gas, R kJ/kg · K	c_p kJ/kg · K	c_v kJ/kg · K	k
Aire	—	0.2870	1.005	0.718	1.400
Argón	Ar	0.2081	0.5203	0.3122	1.667
Butano	C ₄ H ₁₀	0.1433	1.7164	1.5734	1.091
Dióxido de carbono	CO ₂	0.1889	0.846	0.657	1.289
Etano	C ₂ H ₆	0.2765	1.7662	1.4897	1.186
Etileno	C ₂ H ₄	0.2964	1.5482	1.2518	1.237
Helio	He	2.0769	5.1926	3.1156	1.667
Hidrógeno	H ₂	4.1240	14.307	10.183	1.405
Metano	CH ₄	0.5182	2.2537	1.7354	1.299
Monóxido de carbono	CO	0.2968	1.040	0.744	1.400
Neón	Ne	0.4119	1.0299	0.6179	1.667
Nitrógeno	N ₂	0.2968	1.039	0.743	1.400
Octano	C ₈ H ₁₈	0.0729	1.7113	1.6385	1.044
Oxígeno	O ₂	0.2598	0.918	0.658	1.395
Propano	C ₃ H ₈	0.1885	1.6794	1.4909	1.126
Vapor	H ₂ O	0.4615	1.8723	1.4108	1.327

Nota: La unidad kJ/kg · K es equivalente a kJ/kg · °C.

Fuente: *Chemical and Process Thermodynamics* 3a. ed., por Kyle, B.G., © 2000. Adaptado con permiso de Pearson Education, Inc., Upper Saddle River, Nueva Jersey.

TABLA A 8

Características de los tubos de cobre comprendidos en la norma UNE 37.141-76

Diámetro exterior (mm)	Espesor (mm)	Diámetro interior (mm)	Peso lineal (Kg/m)	Superficie pared exterior (cm ² /m)	Sección interior (mm ²)	Capacidad (l/m)	Resistencia Útil (Kp/cm ²)	Recorrido Rotura (Kp/cm ²)
6	0,75	4,5	0,110	188	16	0,016	147	733
	1	4	0,140		13	0,013	220	1100
8	0,75	6,5	0,152	251	33	0,033	102	510
	1	6	0,196		28	0,028	147	733
10	0,75	8,5	0,194	314	57	0,057	78	388
	1	8	0,252		50	0,050	110	550
12	0,75	10,5	0,236	377	87	0,087	63	314
	1	10	0,308		78	0,078	88	440
15	0,75	13,5	0,299	471	143	0,143	49	244
	1	13	0,391		133	0,133	68	338
18	0,75	16,5	0,362	565	214	0,214	40	199
	1	16	0,475		201	0,201	55	275
22	1	20	0,587	691	314	0,314	44	220
	1,2	19,6	0,698		302	0,302	54	269
	1,5	19	0,860		284	0,284	69	347
28	1	26	0,753	880	531	0,531	34	169
	1,2	25,6	0,899		515	0,515	41	206
	1,5	25	1,111		491	0,491	53	264
35	1	33	0,951	1100	855	0,855	27	133
	1,2	32,6	1,134		835	0,835	32	162
	1,5	32	1,405		804	0,804	41	206
42	1	40	1,436	1319	1257	1,257	22	110
	1,2	39,6	1,369		1232	1,232	27	133
	1,5	39	1,699		1195	1,195	34	169
54	1,2	51,6	1,172	1696	2091	2,091	20	102
	1,5	51	2,202		2043	2,043	26	129
63	1,5	60	2,579	1979	2827	2,827	22	110
	2	59	3,411		2734	2,734	30	149
80	1,5	77	3,292	2513	4657	4,657	17	86
	2	76	4,362		4856	4,856	23	116
100	2	96	5,840	3142	7238	7,238	18	92
	2,5	95	6,815		7088	7,088	23	116

FUENTE <http://www.cleanergysolar.com/2012/02/03/tablas-para-saber-las-caracteristicas-de-las-tuberias-de-cobre/>

TABLA A7 PROPIEDADES DEL AGUA

Heptane									
Temp °C	Latent heat kJ/kg	Liquid density kg/m ³	Vapour density kg/m ³	Liquid thermal conductivity W/m °C	Liquid viscos. cP	Vapour viscos. cP × 10 ²	Vapour press. Bar	Vapour specific heat kJ/kg °C	Liquid surface tension N/m × 10 ²
-20	384.0	715.5	0.01	0.143	0.69	0.57	0.01	0.83	2.42
0	372.6	699.0	0.17	0.141	0.53	0.60	0.02	0.87	2.21
20	362.2	683.0	0.49	0.140	0.43	0.63	0.08	0.92	2.01
40	351.8	667.0	0.97	0.139	0.34	0.66	0.20	0.97	1.81
60	341.5	649.0	1.45	0.137	0.29	0.70	0.32	1.02	1.62
80	331.2	631.0	2.31	0.135	0.24	0.74	0.62	1.05	1.43
100	319.6	612.0	3.71	0.133	0.21	0.77	1.10	1.09	1.28
120	305.0	592.0	6.08	0.132	0.18	0.82	1.85	1.16	1.10

Water									
Temp °C	Latent heat kJ/kg	Liquid density kg/m ³	Vapour density kg/m ³	Liquid thermal conductivity W/m °C	Liquid viscos. cP	Vapour viscos. cP × 10 ²	Vapour press. Bar	Vapour specific heat kJ/kg °C	Liquid surface tension N/m × 10 ²
20	2448	998.2	0.02	0.603	1.00	1.00	0.02	1.00	7.28
40	2402	992.3	0.05	0.630	0.65	0.65	0.07	0.65	6.96
60	2359	983.0	0.13	0.649	0.47	0.47	0.20	0.47	6.62
80	2309	972.0	0.29	0.668	0.36	0.36	0.47	0.36	6.26
100	2258	958.0	0.60	0.680	0.28	0.28	1.01	0.28	5.89
120	2200	945.0	1.12	0.682	0.23	0.23	2.02	0.23	5.50
140	2139	928.0	1.99	0.683	0.20	0.20	3.90	0.20	5.06
160	2074	909.0	3.27	0.679	0.17	0.17	6.44	0.17	4.66
180	2003	888.0	5.16	0.669	0.15	0.15	10.04	0.15	4.29
200	1967	865.0	7.87	0.659	0.14	0.14	16.19	0.14	3.89

Fuente Heat Pipe Theory Design and Applications. Gran Bretaña. 1ª edición editorial oxford. Disponible en: <http://bookos.org/book/1137528/72ffec>

A-10 Insolación global media inclinación a latitud en México en kWh/m²-Día

Fuentes: Actualización de los Mapas de Irradiación Global solar en la República Mexicana (R. Almanza S., E. Cajal R., J. Barrientos A. 1997) Reportes de insolación de México. Southwest Technology Development Institute, NMSU, 1999

Estado	Ciudad	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Min	Max	Med
Aguascalientes	Aguascalientes	4.5	5.2	5.9	6.6	7.2	6.3	6.1	5.9	5.7	5.1	4.8	4.0	4.0	7.2	5.6
Baja CaliforniaSur	La Paz	4.4	5.5	6.0	6.6	6.5	6.6	6.3	6.2	5.9	5.8	4.9	4.2	4.2	6.6	5.7
Baja California	Mexicali	4.1	4.4	5.0	5.6	6.6	7.3	7.0	6.1	6.1	5.5	4.5	3.9	3.9	7.3	5.5
Baja California	San Javier	4.2	4.6	5.3	6.2	6.5	7.1	6.4	6.3	6.4	5.1	4.7	3.7	3.7	7.1	5.5
Baja California Sur	S. José del Cabo	5.0	5.6	5.8	5.9	6.9	6.1	5.8	6.2	5.8	5.8	5.2	4.4	4.5	6.3	5.7
Campeche	Campeche	4.8	5.7	6.0	5.3	5.4	4.9	4.9	5.3	5.2	5.4	5.0	4.3	4.4	6.0	5.2
Chiapas	Arriaga	5.1	5.4	5.5	5.9	5.6	5.2	5.9	5.5	5.1	5.3	5.1	4.7	4.7	5.9	5.4
Chiapas	Juan Aldama	4.4	5.1	4.9	4.5	4.5	4.1	4.4	4.5	4.1	4.3	4.4	4.2	4.1	5.1	4.5
Chiapas	San Cristóbal	4.0	4.3	4.5	4.5	4.8	4.7	5.4	5.3	4.6	4.2	3.9	3.7	3.7	5.4	4.5
Chiapas	Tapachula	5.4	4.9	4.8	4.6	4.7	4.7	5.2	5.1	4.6	4.1	4.3	4.1	4.1	5.4	4.7
Chiapas	Tuxtla Gutiérrez	3.8	4.4	4.6	4.8	5.3	5.1	5.4	5.3	4.9	4.4	4.1	3.7	3.7	5.4	4.7
Chihuahua	Chihuahua	5.8	6.4	6.8	6.9	6.9	6.4	6.4	6.5	6.8	6.8	6.0	5.2	5.3	8.9	5.9
Chihuahua	Guachochi	3.3	3.5	3.9	4.4	5.1	5.3	5.4	5.6	5.7	5.1	4.9	4.4	3.3	6.9	6.4
Chihuahua	Cd. Juárez	6.0	7.2	7.3	7.3	6.9	6.5	6.3	6.5	6.8	7.4	6.6	5.9	5.9	7.4	6.7
Coahuila	Piedras Negras	3.1	3.6	4.2	4.5	4.8	6.0	6.7	6.3	4.9	4.1	3.3	2.9	2.9	6.7	4.5
Coahuila	Saltillo	3.8	4.2	4.8	5.1	5.6	5.9	5.9	5.6	5.2	4.4	3.6	3.3	3.3	5.9	4.8
Colima	Colima	4.4	5.1	5.3	5.8	6.0	5.2	4.9	5.0	4.6	4.4	4.4	3.9	3.9	6.0	4.9
D.F.	Tacubaya	5.4	6.0	6.4	5.9	5.3	5.1	4.5	4.9	4.5	4.8	5.2	5.2	4.5	6.4	5.3
Durango	Durango	4.4	5.4	6.5	7.0	7.5	6.8	6.0	5.6	5.7	5.1	4.8	3.9	3.9	7.5	5.7
Guanajuato	Guanajuato	4.4	5.1	6.1	6.3	6.6	6.0	6.0	5.9	5.8	5.2	4.8	4.6	4.4	6.6	5.6
Guerrero	Acapulco	4.8	5.3	6.1	5.9	5.6	5.1	5.3	5.4	4.9	5.2	5.0	4.7	4.7	6.1	5.3
Guerrero	Aguas Blancas	5.8	5.9	6.0	5.8	5.8	5.4	5.6	5.8	5.5	5.6	5.5	5.5	5.4	6.0	5.7
Guerrero	Chilpancingo	4.1	4.5	4.9	5.2	5.2	5.2	5.1	5.1	4.7	4.4	4.1	3.8	3.8	5.2	4.7
Hidalgo	Pachuca	4.6	5.1	5.6	6.8	6.0	5.7	5.9	5.8	5.3	4.9	4.6	4.2	4.2	6.8	5.4
Jalisco	Colotlán	4.6	5.7	6.5	7.5	8.2	6.6	5.8	5.6	5.8	5.3	4.9	4.1	4.1	8.2	5.9
Jalisco	Guadalajara	4.6	5.5	6.3	7.4	7.7	5.9	5.3	5.3	5.2	4.9	4.8	4.0	4.0	7.7	5.6
Jalisco	L. de Moreno	4.5	5.3	6.1	6.7	7.2	6.1	5.8	5.6	5.5	5.0	4.7	4.0	4.0	7.2	5.5
Jalisco	Puerto Vallarta	5.2	5.7	6.0	5.8	5.7	5.5	5.6	5.7	5.5	5.6	5.2	4.7	4.7	6.0	5.5
México	Chapingo	4.5	5.1	5.6	5.8	5.9	5.4	5.2	5.2	5.0	4.7	4.6	3.9	3.9	5.9	5.1
Michoacán	Morelia	4.2	4.9	5.5	5.8	5.9	5.2	5.0	5.1	4.9	4.6	4.3	3.7	3.7	5.9	4.9
Nayarit	Tepic	3.9	4.3	4.8	5.5	6.1	5.3	4.9	5.3	4.4	4.4	4.0	4.8	3.9	6.1	4.8
Nuevo León	Monterrey	3.2	3.6	4.1	4.3	4.8	5.5	6.1	5.6	5.0	3.8	3.3	3.0	3.0	6.1	4.4
Oaxaca	Oaxaca	4.9	5.7	5.8	5.5	6.0	5.4	5.9	5.6	5.0	4.9	4.8	4.4	4.4	6.0	5.3
Oaxaca	Salina Cruz	5.4	6.3	6.6	6.4	6.1	5.0	5.6	5.9	5.2	5.9	5.7	5.2	5.0	6.6	5.8
Puebla Que rétaro	Puebla	4.9	5.5	6.2	6.4	6.1	5.7	5.8	5.8	5.2	5.0	4.7	4.4	4.4	6.4	5.5
QuintanaRoo	Querétaro	5.0	5.7	6.4	6.8	6.9	6.4	6.4	6.4	6.3	5.4	5.0	4.4	4.4	6.9	5.9
QuintanaRoo	Chetumal	3.9	4.7	5.4	5.7	5.3	4.7	4.9	5.0	4.5	4.4	4.0	3.7	3.7	5.7	4.7
QuintanaRoo	Cozumel	3.9	4.6	5.3	5.7	5.2	4.8	4.9	4.9	4.6	4.4	4.0	3.8	3.8	5.7	4.7
San Luis Potosí	Río Verde	3.6	4.0	4.6	4.9	5.4	5.6	5.8	5.8	5.1	4.3	3.7	3.3	3.3	5.8	4.7
San Luis Potosí	San Luis Potosí	4.3	5.3	5.8	6.4	6.3	6.1	6.4	6.0	5.5	4.7	4.2	3.7	3.7	6.4	5.4
Sinaloa	Culiacán	3.6	4.2	4.8	5.4	6.2	6.2	5.4	5.1	5.2	4.6	4.2	3.4	3.4	6.2	4.9
Sinaloa	Los Mochis	4.9	5.4	5.8	5.9	5.8	5.8	5.3	5.5	5.5	5.8	4.9	4.3	4.3	5.9	5.4
Sinaloa	Mazatlan	3.9	4.8	5.4	5.7	5.7	5.6	4.8	4.9	4.7	5.0	4.5	3.9	3.9	5.7	4.9
Sonora	Ciudad Obregón	5.8	6.4	6.8	6.9	6.9	6.7	6.4	6.5	6.8	7.3	6.0	5.2	5.3	7.26	6.5
Sonora	Guaymas	4.5	5.7	6.5	7.2	7.3	6.8	5.9	5.8	6.3	5.9	5.1	5.6	4.5	7.3	6.0
Sonora	Hermosillo	4.0	4.6	5.4	6.6	8.3	8.6	6.9	6.6	6.7	6.0	4.7	3.9	3.9	8.6	6.0
Tamaulipas	Soto la Marina	3.4	4.2	4.9	4.9	5.1	5.3	5.4	5.4	4.9	4.6	3.7	3.2	3.2	5.4	4.6
Tamaulipas	Tampico	3.3	4.1	4.7	6.4	5.0	4.9	4.9	4.9	4.6	4.6	3.7	3.2	3.2	6.4	4.5
Tlaxcala	Tlaxcala	4.6	5.1	5.5	5.4	5.6	5.2	5.3	5.2	5.1	4.9	4.7	4.0	4.0	5.6	5.1
Veracruz	Córdoba	3.1	3.3	3.6	3.8	4.1	4.4	4.6	4.5	4.1	3.5	3.1	2.8	2.8	4.6	3.7
Veracruz	Jalapa	3.2	3.5	3.8	4.3	4.6	4.4	4.9	5.0	4.4	3.7	3.3	3.0	3.0	5.0	4.0
Veracruz	Veracruz	3.7	4.5	4.9	5.1	5.1	4.8	4.7	5.1	4.6	4.8	4.1	3.6	3.6	5.1	4.6
Yucatán	Mérida	3.7	4.0	4.6	5.2	5.7	5.5	5.7	5.5	5.0	4.2	3.8	3.4	3.4	5.7	4.7
Yucatán	Progreso	4.1	4.9	5.4	5.5	5.3	5.1	5.3	5.3	5.0	5.0	4.4	4.0	4.0	5.5	4.9
Yucatán	Valladolid	3.7	4.1	3.1	5.4	5.7	5.3	5.4	5.4	4.9	4.2	3.8	3.5	3.1	5.7	4.5
Zacatecas	Zacatecas	4.0	5.7	6.6	7.5	7.8	6.2	6.2	5.9	5.4	4.8	4.8	4.1	4.1	7.8	5.8

NOMENCLATURA

δ	Declinación del sol a la fecha especificada
ϕ	Coordenadas cartesianas en latitud norte de la localidad
ω	Horas del día en grados
RB	Cociente entre una superficie inclinada y la radiación directa en plano horizontal
Ibc	Superficie inclinada a la radiación directa
Ibh	Radiación directa sobre un plano horizontal
Kt	Cociente de radiación promedio
H_G	Radiación global diaria promedio en un mes
H_0	Radiación diaria promedio extraterrestre
Id_h	Componente de la radiación
H_t	Radiación total diaria promedio en un mes
T_d	Número de horas de sol al día
E_{ent}	Energía entrante al sistema
E_{sal}	Energía saliente del sistema
$\Delta E_{sistema}$	Cambio de energía del sistema
\dot{m}_{ent}	Flujo másico entrante
\dot{m}_{sal}	Flujo másico saliente
Δh	Cambio de energía interna
h_{conv}	Coefficiente de conductividad térmica por convección
h_{rad}	Coefficiente de conductividad térmica por radiación
T_{alred}	Temperatura de los alrededores
σ	Constante de radiación solar
Nu	Numero de Nusselt
K_f	Conductividad térmica del líquido saturado
ν_f	Viscosidad cinemática del líquido saturado
Pr_f	Numero de prandtl del líquido saturado
C_{pl}	Calor específico del líquido saturado, J/kg.°C
ΔT_{sat}	Exceso de temperatura, °C
L	Entalpía de vaporización, J/kg.
q/A	Flujo de calor por unidad de área, W/m ²
μ_l	Viscosidad del líquido, kg/m.s



σ_l	Tensión superficial del líquido-vapor, N/m
G	Aceleración de la gravedad, m/s ²
ρ_v	Densidad del vapor saturado, kg/m ³
ρ_l	Densidad del líquido saturado, kg/m ³
C_{sf}	Constante determinada a partir de datos experimentales ver anexo
s	1.0 para el agua y 1.7 para otros líquidos
G	Radiación solar
C	Velocidad sónica
M	Numero de mach
γ	Razón de calores específicos
R_0	Constante de los gases
A_c	Área de contacto
A_{efec}	Área efectiva de contacto
CPVC	Policloruro de vinilo clorado



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Jans Rau (1984) Energía solar aplicaciones prácticas. (traducción por Roberto fuchs). Barcelona España. 2ª edición. Editorial Marcobo
- [2] Jaime, ribot i Martin (1995) curso de energía solar, Badalona (Barcelona) España tercera edición
- [3] Biodiesel Chiapas (2013. disponible en:
www.rctecnologia.com.mx/upaep/images/ponencias_pdf/7.pdf)
- [4] Vargas, Gonzales (2007. biosiesel. disponible en
<http://www.conae.gob.mx/work/sites/CONAE/resources/LocalContent/466/2/biodiesel.pdf>)
- [5] Alfaro y Ortiz (2006. Proceso de Producción de la Palma. disponible en:
<http://galeon.com/subproductospalma/proceso1.pdf>)
- [6] Producción de biodiesel a partir de palma de aceite o palma africana (2011. disponible en: <http://www.bioenergeticos.gob.mx/index.php/biodiesel/produccion-a-partir-de-palma-de-aceite-o-palma-africana.html>)
- [7] Ríos, et. al., (2009, producción de biodiesel de aceite de palma con catalizadores Básicos heterogéneos comparados con los homogéneos convencionales. Disponible en: Disponible en: <http://redalyc.uaemex.mx/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=147012854005>)
- [8] Jacipt. et. al., (bogota, sin fecha. Automatización del proceso de esterilización en la extracción de aceite de palma africana. Disponible en:
<http://eventos.saber.ula.ve/eventos/getFile.py/access?contribId=15&resId=1&materialId=per&confId=47>).
- [9] Guadalupe, et. al., (2009. COLECTORES SOLARES, USOS Y VENTAJAS. Disponible en: <http://www.arqhys.com/noticias/2009/12/colectores-solares-usos-y-ventajas.html>)
- [10] Todas las ciudades de Mexico, disponible en; www.ocdeMexico.org.mx/chiapas/tuxtla-Gutierrez.
- [11] Insolación global media inclinación a la latitud en México, disponible en:
http://solar.nmsu.edu/wp_guide/Apen_A.htm
- [12] Jaime, Gonzales Velazco (2009). Energías Renovables disponible en: http://books.google.com.mx/books?id=bl6L8E_9t1kC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false
- [13] José A. Manrique, (1984). Energía solar –fundamentos y aplicaciones foto térmicas. Mexico ed. Harla 1ª edición.
- [14] schott, vidrio hecho de ideas disponible en:
http://www.schott.com/tubing/spanish/download/schotttubing_brochure_duran_spanish.pdf



- [15] Yunus A. Cengel. transferencia de calor. (traducido por José Hernán Pérez).mexico df. ed Mc Graw-hill 4ª edición (pag:550,26)
- [16] J.P. Holman. Transferencia de calor.(traducción: Pablo de Assas Martínez de Morentín, Teresa de J. Leo Mena,Isabel Pérez Grande).españa.ed. Mc Graw-hill 8ª edición (pag.206)
- [17] M.necati özisik.Heat Transfer a basic approach.estados unidos.ed Mc Graw-hill (1985).
- [18] Abegoa Solar New Technologies,S.A.Solicitud de patente(2009).disponible en: <https://www.scribd.com/doc/13900856/Recubrimiento-absorbente-selectivo-solar-y-metodo-de-fabricacion>
- [19]David Reay, Peter Kew (2006)Heat Pipe Theory Design and Applications. Gran Bretaña.1ª edición editorial oxford. Disponible en: <http://bookos.org/book/1137528/72ffec>
- [20]Junus A. Cengel(2009) Termodinámica.(traducción: Virgilio Gonzales y poso, Sergio M. Sarmiento).mexico. ed. Mc Graw-hill 6ª edición
- [21] Nacobre. Manual técnico de cobre. Productos Nacobre S.A. de C.V. disponible en http://www.nacobre.com.mx/pdf/manual_tecnico_cobre.pdf
- [22] Junus A. Cengel(2012) Mecánica de fluidos fundamentos y aplicaciones.(traducción: Víctor Campos Olguín, Sergio Sarmiento Ortega, Francisco Sánchez Fragoso).México. ed. Mc Graw-hill 2ª edición
- [23] Imagen radiación disponible en http://www.bvsde.paho.org/cursoa_meteoro/lecc2/lecc2_1.html
- [24]Aceite de palma: usos, orígenes e impactos <http://taninos.tripod.com/aceitepalma.htm>
- [25] palma de aceite disponible en: <http://www.skyscraperlife.com/honduras/21547honduras-energia-|-hidro%3B-eolica%3B-solar%3B-geotermica%3B-biomasa%3B-otros-2.html>
- [26] GSL plásticos, disponible en: <http://www.plasticosgls.com/cpvc.html>
- [27] Aceites S.A. disponible en: <http://www.aceitesa.com/index.php/es/departamentos-aceites-sa/produccionlink/60-extraccion-de-aceite-crudo-de-palma.html>
- [28] cosmetología, disponible en: <http://entendendocosmetologia.blogspot.mx/2012/11/esmaltes-e-nanotecnologia-productos.html>