

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA**



**“SISTEMA DE CALEFACCIÓN SOLAR TÉRMICO CONTROLADO PARA  
MANTENER EL CONFORT TÉRMICO EN UN AMBIENTE DE LA FIQ”**

**TESIS**

**PRESENTADA POR:**

**EDGARDO MERCADO CALAPUJA**

**HELBERT MACHACA CUTIPA**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO QUÍMICO**

**PUNO – PERÚ**

**2017**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA**

**“Sistema de calefacción solar térmico controlado para mantener el confort térmico en un ambiente de la FIQ”**

**TESIS PRESENTADA POR:**

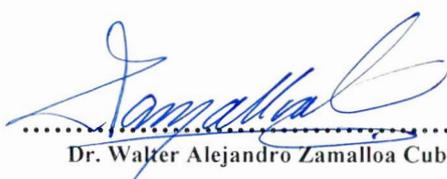
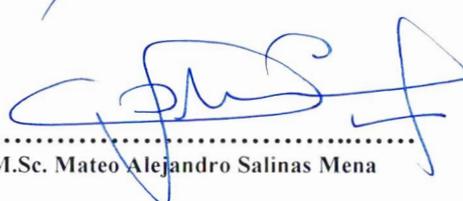
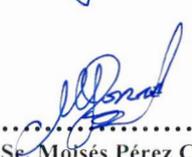
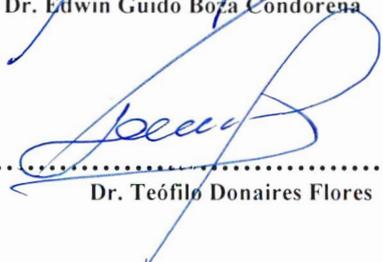
**Edgardo Mercado Calapuja  
Helbert Machaca Cutipa**



**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE: INGENIERO QUÍMICO**

**FECHA DE SUSTENTACION: 21 DE JULIO 2017**

**APROBADA POR EL JURADO REVISOR CONFORMADO POR:**

<b>PRESIDENTE</b>	:	 ..... Dr. Walter Alejandro Zamalloa Cuba
<b>PRIMER MIEMBRO</b>	:	 ..... M.Sc. Mateo Alejandro Salinas Mena
<b>SEGUNDO MIEMBRO</b>	:	 ..... M.Sc. Moisés Pérez Capa
<b>DIRECTOR DE TESIS</b>	:	 ..... Dr. Edwin Guido Boza Condorena
<b>ASESOR DE TESIS</b>	:	 ..... Dr. Teófilo Donaires Flores

**Área: Tecnología ambiental**

**Tema: Diseño de equipo de proceso**

**Línea: Automatización y control de procesos industriales**

## DEDICATORIA

*Con mucho afecto dedico este trabajo de tesis a mis padres Juan B. Mercado Condori. y Vicentina Calapuja Palli., quienes fueron el ejemplo a seguir, por hacerme vivir en un ambiente de perseverancia, de estudio de superación hasta lograr los objetivos trazados en el largo trajín de mi vida; y lograr uno de mis ansiados objetivos, mi tesis de Ingeniero Químico,*

*A mis tres amores: mi esposa Carmen Rosa Arapa Ramos, mi hija Andrea Ivon Mercado Arapa y mi hijo Said Enrrique Mercado Arapa, que tanto los amo en mi vida, que fueron la fuerza que han motivado para concluir el presente trabajo.*

*Edgardo.*

*Dedico el presente trabajo de investigación a los seres más queridos e importantes de mi vida:*

*A dios quien inspiró mi espíritu para la conclusión de esta tesis.*

*A mis padres Nicanor Machaca Apaza y Agripina Cutipa Lima, quienes fueron mi apoyo en todo momento y pilares fundamentales en mi vida.*

*A mis hermanos que con su aliento me dieron la fuerza para alcanzar este objetivo.*

*A mi esposa Benilda y mis hijos Rodrigo Andree y Lía Bryanna, quienes fueron mi inspiración para la conclusión de esta tesis.*

*Helbert.*

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco infinitamente a mis padres Juan B. Mercado Condori y Vicentina Calapuja quienes has confiado plenamente en mi desarrollo personal y profesional guiándome sabiamente por el sendero de la vida-

A mi esposa Carmen Rosa Arapa Ramos, Andrea Ivon Mercado Arapa y Said Enrique Mercado Arapa, quienes fueron el aliento para seguir adelante con la presente tesis.

A toda la plana Docente de la Facultad de Ingeniería Química, por haber compartido sus sabias enseñanzas durante los años de nuestra formación académica profesional y por haber permitido descubrir nuestras vocaciones de Ingeniero Químico, presto a enfrentar los retos en la sociedad en el campo que nos corresponde.

A todas aquellas personas que nos dieron la confianza y la motivación en la culminación de la Tesis.

## INDICE

	Pág.
DEDICATORIA .....	2
AGRADECIMIENTOS .....	5
RESUMEN .....	12
INTRODUCCIÓN .....	14
<b>CAPITULO I.....</b>	<b>16</b>
<b>PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA, ANTECEDENTES, OBJETIVOS, JUSTIFICACION E HIPOTESIS.....</b>	<b>16</b>
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	16
1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA .....	16
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA .....	18
1.2.1. Problema General: .....	18
1.2.2. Problemas Específicos: .....	18
1.3. ANTECEDENTES.....	18
1.3.1. A nivel local:.....	18
1.3.2. A nivel regional: .....	18
1.3.3. A nivel nacional:.....	19
1.4. OBJETIVOS .....	20
1.4.1. Objetivo General:.....	20
1.4.2. Objetivos Específicos: .....	20
1.5. JUSTIFICACIÓN .....	20
1.5.1. Energética .....	20
1.5.2. Climatológica.....	20
1.5.3. Científica y Tecnológica.....	21
1.5.4. Ambiental.....	21
1.5.5. Económica .....	21
1.5.6. Social y Cultural .....	22
1.6. HIPÓTESIS .....	23
1.6.1. Hipótesis General:.....	23
1.6.2. Hipótesis Específicas: .....	23
1.7. DEFINICIÓN DE VARIABLES E INDICADORES.....	24
1.7.1. Variables Independientes .....	24

1.7.2.	VARIABLES DEPENDIENTES .....	24
1.7.3.	VARIABLES DE CONTROL .....	24
1.7.4.	VARIABLES INTERVINIENTES .....	25
1.7.5.	INDICADORES .....	25
<b>CAPITULO II .....</b>		<b>26</b>
<b>MARCO TEORICO Y MARCO CONCEPTUAL.....</b>		<b>26</b>
2.	MARCO TEÓRICO .....	26
2.1.	ENERGÍA SOLAR .....	26
2.2.	RADIACIÓN SOLAR .....	26
2.3.	APLICACIONES DE LA ENERGÍA SOLAR.....	27
2.3.1.	Generación Fotovoltaica .....	27
2.3.2.	Energía Solar Térmica .....	27
2.4.	CLASIFICACIÓN DE LA ENERGÍA SOLAR TÉRMICA .....	29
2.4.1.	Energía térmica de baja temperatura. ....	29
2.5.	EFFECTO TERMOSIFÓN DEL AGUA EN LOS COLECTORES SOLARES .....	33
2.5.1.	Circuito termosifón no presurizado .....	33
2.5.2.	Circuito de circulación forzada.....	35
2.6.	FUNDAMENTOS DE CALEFACCIÓN .....	35
2.6.1.	Calefacción .....	35
2.6.2.	Confort Térmico .....	36
2.6.3.	Parámetros del confort térmico.....	36
2.7.	RADIADORES DE AGUA CALIENTE.....	37
2.8.	TIPOS DE RADIADORES.....	38
2.8.1.	Radiadores Bimetalicos o de Aluminio .....	38
2.8.2.	Radiadores de Hierro fundido.....	38
2.8.3.	Radiadores de chapa y acero.....	38
2.8.4.	Funcionamiento del radiador .....	38
2.8.5.	Sistema de instalación de los radiadores.....	39
2.9.	CARGA TÉRMICA.....	40
2.9.1.	Ambiente no climatizado .....	41
2.9.2.	Ambiente climatizado en verano .....	41
2.9.3.	Ambiente climatizado en invierno.....	42
2.10.	TIPOS DE CARGA TÉRMICA EN CALEFACCIÓN .....	42
2.10.1.	Carga térmica por transmisión .....	43

2.10.2.	Carga térmica por renovación de aire .....	43
2.10.3.	Carga térmica por infiltración de aire .....	43
2.10.4.	Carga térmica interna .....	44
2.10.5.	Inercia térmica.....	44
2.11.	FUNDAMENTOS TERMODINÁMICOS .....	44
2.11.1.	Calor.....	44
2.11.2.	Balance de energía .....	44
2.11.3.	Transferencia de energía .....	45
2.11.4.	Energía interna(u).....	46
2.11.5.	Cambios en la energía interna(u) .....	46
2.11.6.	Entalpia (h).....	47
2.11.7.	Cambios en la entalpia (h).....	47
2.11.8.	Calores específicos de gases, líquidos y sólidos .....	48
2.11.9.	Ecuación de estado de un gas ideal .....	48
2.11.10.	Energía interna y entalpia de un gas ideal.....	49
2.11.11.	Balance de energía en sistema de flujo estacionario .....	50
2.11.12.	Balance de energía para sistemas cerrados .....	50
2.12.	INDICE METABÓLICO .....	51
2.13.	SUPERFICIE DEL CUERPO HUMANO .....	51
2.14.	FUNDAMENTOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR .....	52
2.14.1.	Mecanismos de transferencia de calor .....	52
2.15.	FUNDAMENTOS DE MECÁNICA DE FLUIDO .....	57
2.15.1.	Rapidez de flujo de fluidos .....	57
2.15.2.	Ecuación de continuidad .....	58
2.15.3.	Ecuación general de energía.....	58
2.15.4.	Sistema de control automático .....	59
2.15.5.	Elementos de control.....	59
<b>CAPITULO III.....</b>		<b>61</b>
<b>METODOLOGIA DE INVESTIGACION .....</b>		<b>61</b>
3.	METODOLOGÍA.....	61
3.1.	UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL AMBIENTE DE INVESTIGACIÓN .	61
3.2.	IMPLEMENTACIÓN DE LAS TERMAS SOLARES Y COSTOS.....	61
3.3.	IMPLEMENTACIÓN DE LOS ELEMENTOS DE CONTROL AUTOMÁTICO .....	62
3.4.	OPERALIZACIÓN DE VARIABLES .....	63

3.5. CÁLCULOS DE INGENIERÍA .....	64
3.5.1. SUB SISTEMA I .....	64
3.5.1.1. CALENTAMIENTO DEL AGUA CON ENERGÍA SOLAR .....	64
3.5.2. SUBSISTEMA II .....	71
3.5.2.1. CALEFACCIÓN DE UN AMBIENTE (BIBLIOTECA) .....	71
3.5.3. SUBSISTEMA III .....	90
3.5.3.1. RECIRCULACIÓN DEL FLUIDO CALOPORTADOR (AGUA)..	90
<b>CAPITULO IV .....</b>	<b>94</b>
<b>RESULTADOS Y DISCUSIONES .....</b>	<b>94</b>
4. RESULTADOS .....	94
4.1. PRIMERO: .....	94
4.1.1. IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE CALEFACCIÓN SOLAR ..	94
4.2. SEGUNDO: .....	96
4.2.1. RESULTADOS EN EL SUBSISTEMA DE CALENTAMIENTO DE AGUA	96
4.3. TERCERO: .....	97
4.3.1. RESULTADOS EN EL SUBSISTEMA DE CALEFACCIÓN DEL AMBIENTE (BIBLIOTECA) .....	97
CONCLUSIONES .....	100
RECOMENDACIONES .....	101
BIBLIOGRAFÍA .....	102
ANEXOS .....	106

## INDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Rango de las temperaturas de los locales a temperar .....	37
Tabla 2 Índice metabólico de actividades comunes.....	51
Tabla 3 Ecuaciones que describen la rapidez de flujo de fluidos .....	58
Tabla 4 Registro de $\Delta T$ del agua en la terma solar .....	67
Tabla 5 Registro Caudal en los conductos de calefacción.....	75
Tabla 6 energía liberada por una persona en promedio .....	78
Tabla 7 valores de coeficiente globales de transmisión de calor para zonas altoandinas. .....	79
Tabla 8 Pérdidas de carga térmica al exterior.....	80
Tabla 9 Registro de temperatura en el ambiente entre noviembre y junio 2016 -2017..	84
Tabla 10 $T_{comfort} = f(Q_{total}, calefacción)$ , teórico.....	86
Tabla 11 Tiempo de calentamiento y salto térmico experimental en el ambiente de estudio.....	86
Tabla 12 tiempo teórico para calentar el ambiente de $245.31m^3$ .....	90
Tabla 13 resumen de la energía absorbida por el agua. ....	96
Tabla 14 tiempo teórico para calentar el ambiente de $245.31m^3$ .....	99

## INDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 Utilización de energía solar térmica .....	28
Figura 2: Colector de placa plana y sus componentes .....	30
Figura 3: Colector solar de tubo de vacío .....	31
Figura 4: Concentrador lineal parabólico .....	32
Figura 5: Concentradores de alta temperatura – central solar térmica.....	33
Figura 6 Concentradores de alta temperatura – discos parabólicos.....	33
Figura 7 Circuito termosifón no presurizado .....	34
Figura 8 Circuito termosifón presurizado .....	35
Figura 9 Flujo de aire en contacto con los radiadores de agua caliente.....	39
Figura 10 Configuración en serie en la instalación de radiadores .....	39
Figura 11 Configuración en paralelo los de radiadores .....	40
Figura 12 Local que se adapta a la temperatura del ambiente .....	41
Figura 13 Extracción de calor en verano .....	41
Figura 14 Adición de calor en invierno .....	42
Figura 15 Contenido de energía de un volumen de control.....	45
Figura 16 Energía interna y entalpía.....	49
Figura 17 Ganancia y pérdida de calor por los materiales.....	53
Figura 18 Red de resistencia térmicas .....	55
Figura 19 Sensor de temperatura y nivel de agua, modelo TK-7 .....	62
Figura 20 Temporizador digital.....	62
Figura 21 Temporizador digital.....	63
Figura 22 Terma solar en proceso de calentamiento .....	68
Figura 23 Plano tridimensional de la biblioteca - FIQ.....	72
Figura 24 Ambiente de investigación .....	73
Figura 25 implementación de termas solares en la FIQ.....	94
Figura 26 Implementación de termas solares en la FIQ. ....	95
Figura 27 Tablero de control en la FIQ. ....	95
Figura 28 implementación de termas solares en la FIQ.....	96

## RESUMEN

El presente proyecto de investigación denominado CALEFACCIÓN SOLAR TÉRMICO CONTROLADO PARA MANTENER EL CONFORT TÉRMICO EN UN AMBIENTE DE LA FIQ, consiste en aprovechar la energía solar como Fuente energética.

Para la respectiva investigación del sistema de calefacción, se ha dividido en tres subsistemas: el de calentamiento de agua con energía solar, la calefacción del ambiente(biblioteca) y la recirculación del caloportador(agua).

En el primer subsistema se calienta agua empleando la energía solar con una radiación de  $5.24\text{KWh/m}^2.\text{dia}$ . según los cálculos, la terma solar absorbe el 95% de la radiación y en 8 horas de calentamiento alcanza a  $80^\circ\text{C}$  desde  $22^\circ\text{C}$  que es la temperatura inicial del agua en la recirculación acumulando en ese tiempo  $135\ 221.569\ \text{KJ}$  de energía calorífica con un flujo de absorción de  $4.693\ \text{KJ/s}$ . aun flujo másico de  $19.348\text{g/s}$ .

En el segundo subsistema se trata de la calefacción del ambiente(biblioteca), se empleó el método de los radiadores de agua caliente, se instalaron tres conjuntos de radiadores cada una de ellas lleva diez secciones de disipación por el agua fluye el agua caliente. La temperatura de ingreso al ambiente es de  $68^\circ\text{C}$  y de salida  $47^\circ\text{C}$ , siendo la caída de temperatura  $\Delta T = 21^\circ\text{C}$  este calor es disipado al ambiente a razón de  $1.941\text{kJ/s}$ , este valor es el calor generado por los tres radiadores, es decir  $0.65\text{KJ/s}$  por radiador.

Las condiciones del ambiente en estudio para calefaccionar presentan características muy desfavorables en cuanto se refiere a aislamiento, se encontró una pérdida de carga de  $1.757\text{KJ/s}$ , es esta la cantidad de energía que se debe suministrar al interior del ambiente conocido como carga térmica para alcanzar el confort térmico tres a cuatro horas.

Para el dimensionamiento, se analizó en dos casos: el primer caso consiste en implementar directamente los equipos de calefacción con criterios técnicos con el objetivo de observar el comportamiento de los equipos y las necesidades de otros componentes que en el momento se requiere, la observación de todas las cargas térmicas de perdida y ganancia de energía y verificar el comportamiento de las variables de investigación que contempla el presente trabajo que finalmente nos ayudara a encontrar los parámetros para poder dimensionar para un caso específico de calefacción solar. En el segundo caso se pretende implementar los equipos de calefacción, con estudio previo de los parámetros significativos como las pérdidas de energía por diferentes medios, las

ganancias de energía por diferentes mecanismos, es decir realizar un análisis del ambiente para luego dimensionar la capacidad de los equipos para un óptimo funcionamiento. Con este criterio se logra responder a la pregunta planteada cumplir los objetivos y validar las hipótesis contempla la presente tesis de investigación.

Entonces el ambiente requiere de los siguientes parámetros para calefaccionar  $245.31 \text{ m}^3$ , debe fluir agua caliente a razón de  $0.03 \text{ Kg/s}$  con un caudal de  $30.47 \text{ ml/s}$ , esto consumirá  $548.53 \text{ L}$  de agua.

En cuanto a la cantidad de radiadores de agua caliente se dispondrán de 5 conjuntos, cada conjunto consta de 10 secciones, esta cantidad es en relación a la eficiencia que presente cuyo valor puede variar de acuerdo al flujo de agua caliente.

En el tercer sub sistema se trata de la recirculación del agua caliente, esto es muy importante en el sistema puesto que se trata de un circuito cerrado y no demanda gastos en el consumo de agua. La pérdida de carga en los conductos de agua caliente es mínima según cálculos se obtiene  $0.63 \text{ m}$ , puesto que el fluido fluye con una velocidad de recirculación muy baja casi laminar.

La autonomía del sistema de calefacción consiste en el modo de trabajo sin la intervención del hombre, está programado por medio de un temporizador que especifica las horas de trabajo, el sistema se enciende de forma automática a las 8:00 am y detiene a las 2:00 pm, haciendo 5h de trabajo por día, el resto de las horas se emplea para recuperar la temperatura del agua.

**Palabras clave:** Calentador solar, Sistema de calefacción.

## INTRODUCCIÓN

Para todo este desarrollo, ha sido importante conocer la energía en sus diferentes formas, pero esto ha ido cambiando a través del tiempo, no sólo en el tipo de energía empleada sino también en la forma de aplicación; en la actualidad se trata de ahorrar la mayor cantidad de energía, en comparación con el pasado, no solo por el ahorro económico que genera sino también por el impacto ambiental, ya que la mayor fuente energética en la actualidad es el combustible fósil. El uso de este tipo de combustible genera daños en nuestro medio ambiente, puesto que al quemarlos se producen gases que generan la contaminación del aire, como el efecto invernadero, la lluvia ácida, entre otros.

Por lo expuesto anteriormente, muchas organizaciones, universidades, empresas están destinando fondos para desarrollar tecnologías que aprovechen energías alternativas, entre ellas se encuentran las energías renovables tales como la energía solar, eólica, mareomotriz, etc. De todas las energías mencionadas, la energía solar es la que se encuentra disponible en cualquier parte del mundo y de manera gratuita y en gran cantidad, la cual se puede aprovechar de las siguientes tres maneras:

Formación de biomasa por fotosíntesis, este es un proceso fundamental y natural existente en nuestro planeta, gracias a ello las plantas pueden realizar su ciclo de vida y generar la biomasa, en este caso la leña, que en países no desarrollados puede ser de vital importancia. Por ejemplo, en algunos países africanos el uso de energía por leña representa el 90% de la energía a nivel nacional.

La energía solar fotovoltaica es otra forma de captar energía por medio de células constituidos básicamente de silicio para generar electricidad. En la actualidad este tipo de aprovechamiento de energía es muy importante para la electrificación en zonas donde no se tiene acceso a la red eléctrica.

Energía solar térmica, es empleada para poder calentar un fluido para múltiples aplicaciones, como puede ser la climatización de un ambiente por transferencia de energía, la deshidratación de los alimentos, usos sanitarios o simplemente para poder aumentar la temperatura del agua.

En nuestro país, las regiones con mayores valores de radiación solar son: Arequipa, Puno y Cuzco en un promedio de irradiación de (5.2 kWh/m<sup>2</sup>) las cuales, paradójicamente, son regiones afectadas por las bajas temperaturas en los meses de junio, julio y agosto.

Además, Cuzco y Puno son parte de las regiones más pobres del Perú con 57.4% y 67.2% de pobreza (según el sondeo realizado por el INEI en el 2007).

Estas razones son importantes para que se tomen acciones tales como aprovechar los recursos que se tienen disponibles en la zona, en este caso aprovechar la energía solar disponible de la mejor forma para poder disminuir los efectos de las bajas temperaturas y cuidar el bienestar de la salud del hombre como el medio ambiente.

## CAPITULO I

### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA, ANTECEDENTES, OBJETIVOS, JUSTIFICACION E HIPOTESIS

#### 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

##### 1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Respecto a la realidad de nuestra región y el país, aún no se han dado aplicaciones que pueden resolver muchos problemas, tiene poca aplicación en nuestra localidad por falta de conocimientos técnicos entre otros. En la actualidad se sigue empleando Fuentes de energía que provienen de la combustión de hidrocarburos y la energía convencional para realizar diferentes operaciones y procesos: como es el caso de calentar agua, calefaccionar, iluminar ambientes, generar energía eléctrica, entre otros, ocasionando efectos en el desequilibrio ecológico y la contaminación ambiental por los residuos liberados, acompañado por un gasto energético y económico innecesario. En el caso mencionado anteriormente en la calefacción y el calentamiento de agua se requiere energía, es decir elevar la temperatura de agua y del aire, entonces esto conlleva a interrogantes como: ¿Cuánta energía se requiere?, ¿Cuál será la Fuente de energía?, ¿Cuáles serán los costos de operación?, ¿En qué magnitud será rentable?, entre otras preguntas. Muchos ambientes de establecimientos: industriales, hospitales, colegios, bibliotecas y viviendas domésticas, entre otros, requieren un ambiente adecuado en lo que se refiere al confort térmico para realizar sus actividades con la comodidad posible. Los establecimientos mencionados no consideran los parámetros de confort térmico establecido por las normas técnicas del reglamento técnico de edificaciones del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, por lo que cabe la posibilidad de adquirir enfermedades respiratorias.

Las infraestructuras modernas construidas en la región Puno y en otras localidades, no se considera a la energía solar como alternativa para mejorar las condiciones de confort térmico y la calidad de vida. Existen deficiencias técnicas en la captación de energía solar

e implementación de sistemas foto-térmicos o calentadores solares, por no aplicar adecuadamente los principios de los fenómenos de transporte en lo que respecta a la transferencia de calor, termodinámica y mecánica de fluidos como base fundamental. Por tanto, el Ingeniero Químico no debe de estar ajeno ante esta situación. En tal sentido, la facultad de Ingeniería Química de la UNA - Puno, cuenta con un ambiente denominado biblioteca especializada, que no posee el confort en cuanto se refiere a la temperatura. La temperatura interna de la biblioteca especializada es alterada bruscamente por la temperatura exterior al abrir las puertas y en mayor grado si este se encuentra abierta con mayor frecuencia, es decir, el poco calor acumulado en el interior de la biblioteca por efecto de la radiación solar es desplazado al ingresar el aire frío del exterior, de esta observación se encuentra la deficiencia en el confort térmico.

El ambiente de investigación (biblioteca) no cuenta con un aislamiento adecuado las paredes, ventanas, techo, piso, por lo que las pérdidas de calor son aún mayores, estableciendo un equilibrio de temperatura exterior e interior. Las condiciones de temperatura interna en la que se encuentra el ambiente (biblioteca) no permiten a los lectores sentirse en un ambiente agradable y adecuado para realizar actividades académicas, cuyo efecto será abandonar de pronto el lugar. Por tal motivo, es oportuno realizar una investigación experimental aplicada, para determinar la magnitud en la que se pueda implementar un sistema de calefacción solar controlado para alcanzar el confort térmico en un rango de 18° a 22°C, como lo menciona el reglamento nacional de edificaciones (RNE). Se pretende conseguir estas temperaturas con la manipulación del flujo de agua caliente, para tal efecto se emplearán equipos foto-térmicos como las termas solares o calentadores solares, con colectores de tubos al vacío para elevar la temperatura del fluido caloportador (agua) al punto de ebullición y el calor absorbido por el fluido pueda ser disipada mediante radiadores de agua caliente de tal forma que el sistema de calefacción pueda ser controlado automáticamente por dispositivos electrónicos.

## 1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

### 1.2.1. Problema General:

- ¿En qué magnitud la implementación de un sistema de calefacción solar térmico controlado permite acondicionar y mantener el confort de temperatura en un ambiente de la FIQ – UNA?

### 1.2.2. Problemas Específicos:

- ¿Cuál es la cantidad de energía calorífica necesaria que permite alcanzar la temperatura de confort en un ambiente de investigación de la FIQ-UNA?
- ¿Cuál es el flujo de calor de los radiadores de agua caliente que permite encontrar el tiempo necesario para alcanzar el confort de temperatura en un ambiente de investigación de la FIQ-UNA?
- ¿Cuáles son los elementos de control para automatizar el tiempo de autonomía del sistema de calefacción solar en un ambiente de investigación de la FIQ-UNA?

## 1.3. ANTECEDENTES

### 1.3.1. A nivel local:

Con el apoyo junto a la Oficina de Infraestructura Educativa (OINFE), que es la entidad normativa del sector educación en el tema de infraestructura, lograron implementar un sistema de calefacción solar a tres salones con un área total de 227.00 m<sup>2</sup>, en el marco del convenio interinstitucional entre el MINAM, el MINEDU, y la GIZ (Cooperación Técnica Alemana). Estos ambientes cuentan con un sistema de aislamiento en techos y paredes, pisos de madera y calefacción solar (empleando colectores solares planos y un acumulador de agua caliente de 1,000 L de capacidad), vidrios dobles para aislar el frío y dar mayor acceso de luz natural, iluminación eficientes y sistema de renovación de aire con recuperación de calor y control de CO<sub>2</sub>. (*Laar & Olortegui del Castillo, 2014*)

### 1.3.2. A nivel regional:

El muro Trombe es un colector de energía solar compuesto de una superficie vidriada o de plástico transparente, una cámara de aire y una masa térmica, el sol incide en la

superficie vidriada produciendo, el calentamiento del aire de la cámara. La masa de tierra (adobe) ubicada de debajo de la cámara de aire, impide el enfriamiento y fuga del aire caliente. El aire calentado en la cámara circula por convención y se introduce en la vivienda por un sistema de tuberías. El calor se distribuye en la vivienda por radiación. (*Kuroiwa H. & SENCICO, 2009*).

Los “muros Trombe” en paredes verticales (incluyendo mirando al norte) tienen poca utilidad en el Perú, debido a la limitada radiación solar incidente sobre estas paredes durante casi todo el año. Para captar más energía solar en el Perú durante todo el año, se debe aprovechar la radiación solar incidente sobre el techo, preferiblemente con una orientación al norte y inclinada 0 – 40. (*Natividad Alvarado & Ocupa Florián, 2010*).

### **1.3.3. A nivel nacional:**

Durante los meses de junio, julio y agosto, las temperaturas bajan considerablemente durante la noche, se registran temperaturas alrededor de  $-15^{\circ}\text{C}$ , y a veces a temperaturas más bajas como los  $-20^{\circ}\text{C}$ , generando serios problemas en los niños y los ancianos hasta que podría causarles la muerte. El suelo radiante, es un sistema donde se hace pasar agua caliente por medio de tuberías que se encuentran debajo del piso, logrando de esa manera aumentar la temperatura de la habitación, pero es muy poco conocido en nuestro país. El tesista Olivera, empleo un sistema de colectores solares planos, utilizó la energía solar como aporte térmico por lo que en ese lugar no se cuenta con electricidad como para emplear radiadores y emplear una caldera sería complicado por el costo de conseguir combustibles fósiles. Por lo tanto, se llegó a las siguientes conclusiones: El sistema funcionó, si bien es cierto la tesis no contempla construcción, pero se logró instalar y probar. La temperatura alcanzada no fue la deseada (se alcanzó  $13^{\circ}\text{C}$ , lo deseado era  $18^{\circ}\text{C}$ ), esto se debió a que el agua de ingreso al sistema no ingresaba la temperatura que se esperaba. (*Olivera Oliva, 2011*)

## 1.4. OBJETIVOS

### 1.4.1. Objetivo General:

- Implementar un sistema de calefacción solar térmico controlado para acondicionar y mantener el confort de temperatura en un ambiente de la FIQ – UNA.

### 1.4.2. Objetivos Específicos:

- Calcular la cantidad de energía calorífica necesaria para alcanzar la temperatura de confort en el ambiente de investigación de la FIQ-UNA.
- Calcular el flujo de calor de los radiadores de agua caliente y encontrar el tiempo necesario para alcanzar el confort de temperatura en un ambiente de investigación de la FIQ-UNA.
- Identificar los elementos de control para automatizar el tiempo de autonomía del sistema de calefacción solar en un ambiente de investigación de la FIQ-UNA.

## 1.5. JUSTIFICACIÓN

En la actualidad una de las aplicaciones de la energía solar que recibe mayor aceptación es en los calentadores de agua y la calefacción de interiores de edificaciones, estos sistemas se han convertido en una alternativa ecológica y económica. El confort térmico es un aspecto muy importante en los ambientes de múltiples usos. (VIVIENDA, 2006),

### 1.5.1. Energética

El territorio peruano, por estar mucho más próximo al Ecuador, cuenta con radiación solar durante la mayor parte del año. Según el Atlas Solar del Perú elaborado por el Ministerio de Energía y Minas, el Perú tiene una elevada radiación solar anual siendo en la sierra de aproximadamente 5.2 a 6.5 KWh/m<sup>2</sup>; 5.0 a 6.0 KWh/m<sup>2</sup> en la Costa y en la Selva de aproximadamente 4.5 a 5.0 KWh/m<sup>2</sup>. (SENAMHI, 2003)

### 1.5.2. Climatológica

Considerando la ubicación de la región puno, las temperaturas más bajas son registradas en los meses de junio, julio y agosto con temperaturas de -10 °C y estos valores de temperatura van en contra a la salud del hombre por lo que esta fuera del valor recomendado por las normas técnicas mencionadas. (SENAMHI, 2003), ver Anexo N° 01.

### 1.5.3. Científica y Tecnológica

El Ingeniero químico también está en la capacidad de realizar investigaciones que conlleven a la aplicación de los principios básicos de los fenómenos de transporte en lo que respecta a la transferencia de calor, termodinámica y mecánica de fluidos entre otras disciplinas contribuyendo así al desarrollo de tecnologías basados en la energía solar en la Región Puno.

En la Facultad de Ingeniería Química se implementará un sistema de calefacción solar para realizar las investigaciones sobre el comportamiento de las variables mencionadas.

Contar con un ambiente térmicamente aceptable estimula a los lectores (estudiantes y docentes) a desarrollar con comodidad el trabajo del día, y además puedan ser motivados a investigar y buscar nuevas aplicaciones de la energía solar en diferentes procesos físicos-químicos e incluso biológicos y ampliar la visión del Ingeniero Químico.

### 1.5.4. Ambiental

El mecanismo de desarrollo limpio o mecanismo para un desarrollo limpio (MDL) es un acuerdo suscrito en el Protocolo de Kioto (11 de diciembre de 1997) establecido en su artículo 12, que permite a los gobiernos de los países industrializados y a las empresas (personas naturales o jurídicas, entidades públicas o privadas) desarrollar proyectos para cumplir con metas de reducción de gases de efecto invernadero.

El objetivo del MDL es promover las reducciones de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y el desarrollo sustentable y, al mismo tiempo, crear flexibilidad en la manera de cumplir las metas del Protocolo.

Ésta alternativa nos permitirá tener un futuro cercano en presencia de un mundo más limpio con la utilización de energías renovables al consumir menos combustible fósil, nuestra región es un punto de radiación privilegiado que debemos aprovechar como fuente alterna de energía, para disminuir las emisiones de contaminantes, colaborar con el cuidado y preservación del medio ambiente.

### 1.5.5. Económica

Implementar un sistema de calefacción convencional se consigue mediante la quema de combustibles fósiles o la electricidad, esto conlleva a un gasto reiterado económicamente. Pero si se emplea la energía solar como alternativa frente a este sistema de calefacción

los costos de operación reducirían considerablemente hasta un 80% de consumo de energía convencional, es más, la región del altiplano que se encuentran a una altitud de (3827 m.s.n.m.), cuenta con una radiación que garantiza la implementación y el funcionamiento de la calefacción solar.

Esta tecnología representa una serie de ventajas como la distribución ideal de temperatura, máximo ahorro de energía, estética, entre otros. Y las desventajas: poseen mayor inercia térmica, es decir, primero se calienta el agua para luego transferir, mayor costo inicial de instalación.

La calefacción tradicional habitualmente funciona a base de electricidad o la quema de cualquier clase de combustible fósil, que lo hace un sistema inaccesible para familias con condiciones de mediana economía debido a su alto costo de manutención, a diferencia del sistema de calefacción solar que solo necesita una inversión inicial y mantenimiento mínimo. Al tomar en cuenta que esta tecnología tiene un tiempo de vida de aproximadamente 20 años, entonces, empieza a ser considerada una alternativa sostenible.

#### **1.5.6. Social y Cultural**

Es inaceptable asumir que en pleno siglo XXI nuestro país este atrasado hablando tecnológicamente y la sociedad se ha dedicado paulatinamente al consumismo o al conformismo y culturalmente se piensa que la tecnología del exterior es la mejor, el que se pueda desarrollar en nuestro país, pensando que nunca podremos hacerlo. A pesar de que existen centros de investigación que poco o nada se hacen frente al desarrollado de tecnologías innovadoras. El conocimiento existe, pero estos conocimientos faltan aplicarlos.

Se tienen investigaciones teóricas, piloto que no tienen continuismo para obtener resultados e implementar y convertirse en una tecnología que pueda solucionar problemas de la sociedad. Entonces social y culturalmente se debe entender que contamos con todas las posibilidades para mejorar la calidad de vida por lo que la naturaleza nos entregó. La energía solar es una de las alternativas de las energías renovables que pueden solucionar varios problemas de la sociedad, reduciendo costos del consumo de energía y de la contaminación del medio ambiente.

Desde un principio se sabe que la energía es algo que provoca trabajo o movimiento, y al aplicar correctamente la energía, se habla de desarrollo tecnológico, y es eso es precisamente en lo que se debe pensar, buscar la manera correcta y eficaz en lo que se pueda emplear la energía solar.

La energía solar se puede aplicar en las siguientes tecnologías: invernaderos, biodigestores, temperado de piscinas, sistema de riego, calefacción, calefacción por piso radiante, compostaje, refrigeración, entre otros.

Las alternativas mencionadas, precisamente están en la capacidad de desarrollar grandes empresas, capitales y desarrollo tecnológico el cual generaría empleos entre otros beneficios.

Desde la perspectiva del presente trabajo muy implícitamente se pretende motivar a abrir nuevos campos en la ingeniería Química.

## 1.6. HIPÓTESIS

### 1.6.1. Hipótesis General:

- La implementación de un sistema de calefacción solar térmico controlado permitirá acondicionar y mantener el confort de temperatura en un ambiente de la FIQ – UNA.

### 1.6.2. Hipótesis Específicas:

- La energía calorífica necesaria permitirá alcanzar la temperatura de confort, en el ambiente de investigación de la FIQ-UNA.
- El flujo de calor de los radiadores de agua caliente permitirá encontrar el tiempo necesario para alcanzar el confort de temperatura en un ambiente de investigación de la FIQ-UNA.
- El elemento de control permitirá automatizar el tiempo de autonomía del sistema de calefacción solar en un ambiente de investigación de la FIQ-UNA.

### 1.7. DEFINICIÓN DE VARIABLES E INDICADORES

- La temperatura de confort está en función al calor total ( $Q_T$ ) necesario que se almacena en el ambiente, este calor almacenado también es conocido como carga térmica.

$$T^{\circ}_{confort} = f(Q_T)$$

- El flujo de calor está en función al flujo másico del agua en los radiadores.

$$\dot{Q}_{radiadores} = f(\dot{m}_{agua})$$

- El tiempo para alcanzar la temperatura de confort, está en función al flujo de calor por donde circula el aire.

$$t_{calefacción,ambiente} = f(\dot{m}_{aire,ambiente})$$

$$\dot{m}_{aire,ambiente} = f(\dot{Q}_{radiador})$$

- Identificar los elementos de control para automatizar el tiempo de autonomía del sistema de calefacción solar en un ambiente de investigación de la FIQ-UNA.

#### 1.7.1. Variables Independientes

- Calor acumulado en el ambiente ( $Q_T$ )
- Flujo másico de agua en los radiadores ( $\dot{m}_{agua}$ )
- Flujo de masa de aire en el ambiente ( $\dot{m}_{aire,ambiente}$ )

#### 1.7.2. Variables Dependientes

- Temperatura de confort ( $T^{\circ}_{confort}$ )
- Flujo de calor disipado por los radiadores ( $\dot{Q}_{radiadores}$ )
- Tiempo de calefacción en el ambiente ( $t_{calefacción,ambiente}$ )

#### 1.7.3. Variables de Control

- VARIABLES MANIPULABLES. - Flujo de agua caliente.
- VARIABLES CONTROLADAS. – Tiempo de autonomía.

#### 1.7.4. Variables Intervinientes

- Flujo de agua caliente proveniente de un calentador solar.
- Condiciones climatológicas (temperatura, presión, latitud, altitud, humedad).
- Perdidas de calor en conductos.
- Abertura de la puerta con una variación de:  $0^\circ$  y  $90^\circ$ .

#### 1.7.5. Indicadores

- Caudal:  $Q$  [ $m^3/s$ ]
- Temperatura:  $T$  [ $^\circ C$ ]
- Tiempo:  $t$  [s]
- Presión:  $P$  [atm]
- Humedad relativa [%Hr]

## CAPITULO II

### MARCO TEORICO Y MARCO CONCEPTUAL

#### 2. MARCO TEÓRICO

##### 2.1. ENERGÍA SOLAR

La energía solar directa es la energía del sol sin transformar que calienta e ilumina. Necesita sistemas de captación y de almacenamiento y aprovecha la radiación del sol de maneras diferentes: (*Méndes Muñis & Cuervo García, 2010, págs. 35,36*)

- **Utilización directa.** Mediante la incorporación de acristalamientos y otros elementos arquitectónicos con elevada masa y capacidad de absorción de energía térmica, es la llamada energía solar térmica pasiva.
- **Transformación en calor.** Es la llamada energía solar térmica, que consiste en el aprovechamiento de la radiación que proviene del sol para calentar fluidos que circulan por el interior de captadores solares térmicos. Este fluido se puede destinar para el agua caliente sanitaria (ACS), dar apoyo a la calefacción para atemperar piscinas, etc.
- **Transformación en electricidad.** Es la llamada energía solar fotovoltaica que permite transformar en electricidad la radiación solar por medio de cédulas fotovoltaicas integradas en nódulos solares. Esta electricidad se puede utilizar de manera directa, se puede almacenar en acumuladores para su uso posterior, e incluso se puede introducir en la red de distribución eléctrica.

##### 2.2. RADIACIÓN SOLAR

El sol es una estrella que se encuentra a una temperatura media de 5,500 °C en cuyo interior tiene lugar a una serie de reacciones que producen una pérdida de masa que se transforma en energía. Esta energía liberada del Sol se transmite al exterior mediante la

denominada radiación solar. La radiación en el sol es de  $63,450,720 \text{ W/m}^2$ . Si se supone que el sol emite en todas las direcciones y se construye una esfera que llegue hasta la atmósfera terrestre, es decir, que tenga un radio de distancia de 149.6 millones de Km, se podrá determinar cuál es la radiación en ese punto. Este valor de la radiación solar recibida fuera de la atmósfera sobre una superficie perpendicular a los rayos solares es conocido como constante solar ( $1,353 \text{ W/m}^2$ ), variable durante el año  $\pm 3\%$  a causa de la elipticidad de la órbita terrestre. (*Méndes Muñis & Cuervo García, 2010, pág. 37*)

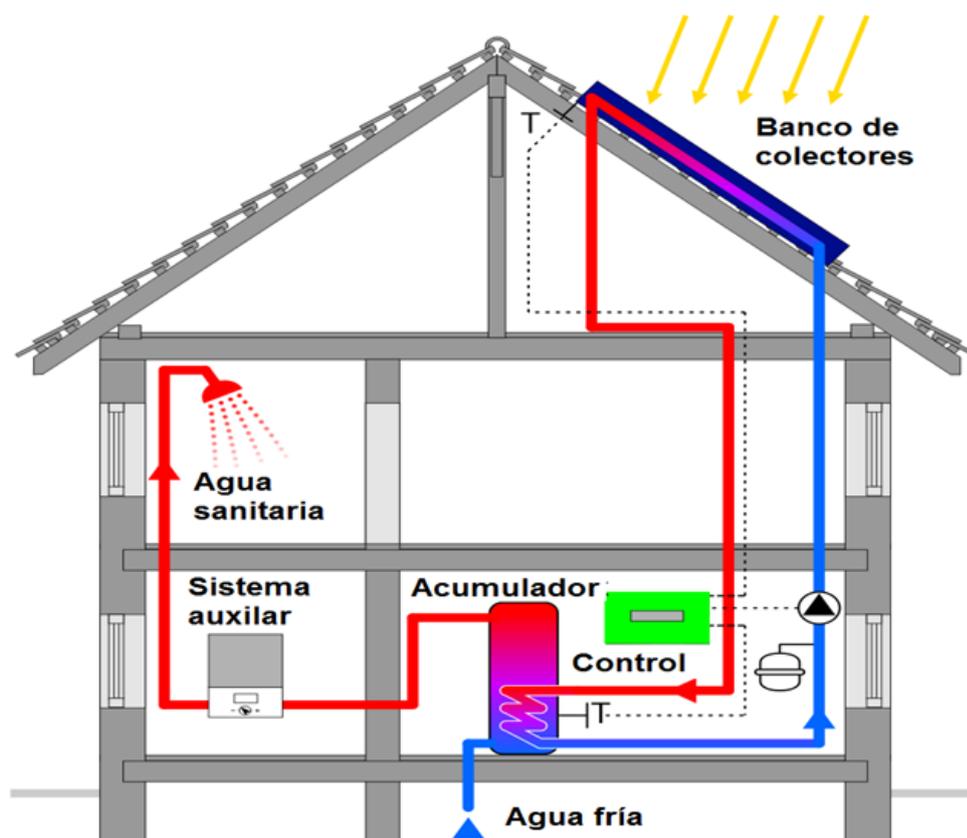
## 2.3. APLICACIONES DE LA ENERGÍA SOLAR

### 2.3.1. Generación Fotovoltaica

Se define como energía solar fotovoltaica al proceso de obtención de energía eléctrica por medio de paneles fotovoltaicos. Los módulos o colectores fotovoltaicos están conformados por dispositivos semiconductores tipo “diodo”, los cuales al recibir radiación solar mediante un proceso químico se excitan y provocan saltos electrónicos; esto se conoce como efecto fotoeléctrico. Al producirse este fenómeno se genera una pequeña diferencia de potencial en sus extremos. El acoplamiento en serie de varios de estos fotodiodos nos permite la obtención de voltajes mayores en configuraciones muy sencillas para el uso de pequeños dispositivos electrónicos. En resumen, cuando estos electrones son capturados, el resultado obtenido es una corriente eléctrica continua que puede ser aprovechada y transformada en corriente alterna, y así ser inyectada a la red eléctrica o sistema interconectado. (*Arenas Sánchez & Zapata Castaño, 2011, pág. 29*)

### 2.3.2. Energía Solar Térmica

La energía solar térmica consiste en el aprovechamiento del calor solar mediante el uso de paneles solares térmicos, colectores o captadores. El funcionamiento de un sistema de energía solar térmica se muestra de la siguiente manera: el colector o panel solar capta los rayos del sol, absorbiendo de esta manera su energía en forma de calor, a través del panel solar hacemos pasar un fluido (normalmente agua) de manera que parte del calor absorbido por el panel es transferido a dicho fluido, el fluido eleva su temperatura y es almacenado, o es llevado directamente al punto de consumo. Ver Figura 1 (*Arenas Sánchez & Zapata Castaño, 2011, pág. 42*).



**Figura 1 Utilización de energía solar térmica**

Fuente. (Arenas Sánchez & Zapata Castaño, 2011, pág. 42)

Según Méndes Muñis & Cuervo García, (2010, págs. 43,44) las aplicaciones y ventajas son:

#### A. Aplicaciones:

- **Producción de agua caliente sanitaria.** En viviendas, hoteles, residencias, instalaciones deportivas, etc.
- **Climatización de piscinas.** Tanto cubiertas como descubiertas, mediante el calentamiento del vaso del agua.
- **Apoyo a sistemas de calefacción.** Especialmente a aquellos de suelo radiante o de baja temperatura.
- **Producción de frío.** - aplicable a la climatización de aire e incluso a algunos procesos industriales.
- **Procesos industriales.** - que precisen agua caliente a temperaturas no excesivas.

## B. Ventajas

- No produce polución ni contaminación ambiental.
- Es silenciosa.
- Tiene una vida útil superior a 20 años.
- Es resistente a condiciones climáticas externas: granizo, viento, etc.
- No requiere mantenimiento complejo, solo limpieza del módulo solar y mantenimiento de las instalaciones hidráulicas, similar al resto de las instalaciones.

## 2.4. CLASIFICACIÓN DE LA ENERGÍA SOLAR TÉRMICA

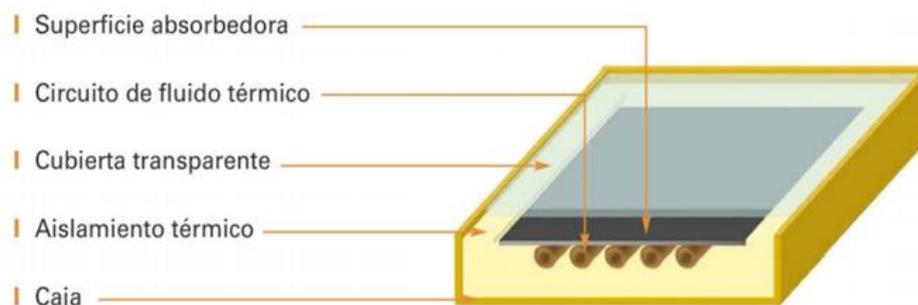
### 2.4.1. Energía térmica de baja temperatura.

Es la Conversión de la temperatura inferior a 80° C. siendo generalmente su temperatura de trabajo entre 40° y 60° C. es adecuada para cubrir un alto porcentaje de la demanda de agua caliente, en los sectores residencial, industrial y de servicios, esta Fuente de energía precisa una tecnología sencilla y una inversión inicial reducida, que puede ser amortizada en pocos años. Es la Fuente de energía más barata. El principio de funcionamiento consiste en utilizar el calentamiento de una superficie sobre las que incide el sol. El calor transferido a la superficie es recogido por un líquido que al pasar por ella se calienta, este líquido transporta el calor que es utilizado para diferentes usos. (Román Gómez, 2008)

#### A. Colectores de placa plana.

Un colector de placa plana se compone básicamente de una caja metálica con aislamiento con una cubierta de vidrio o de plástico y de una placa absorbadora de color oscuro. La radiación solar es absorbida por la placa que está construida de un material que transfiere rápidamente el calor a un fluido que circula a través de tubos en el colector. Este tipo de colectores calienta el fluido que circula a una temperatura considerablemente inferior a la del punto de ebullición del agua y son los más adecuados para aplicaciones donde la demanda de temperatura es de 30 a 70 °C. La cubierta transparente transmite una gran cantidad de la luz de onda corta del espectro solar y al mismo tiempo, solo deja pasar muy poca radiación de onda (calor emitido por el absorbedor) produciendo un efecto invernadero. El aislamiento de la parte posterior del absorbedor y las paredes laterales reduce las pérdidas de calor por conducción. Este aislamiento es por lo general de espuma de poliuretano, lana mineral, fibra de lana de vidrio, entre otros. Estos colectores

indican poseer una muy buena relación precio calidad y tienen una amplia gama de posibilidades para su montaje. (Camargo Macías, 2013) (Figura 2)

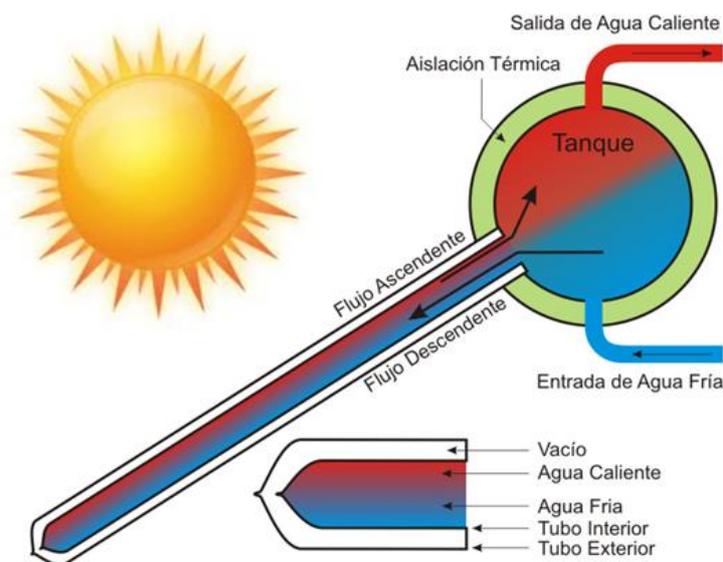


**Figura 2: Colector de placa plana y sus componentes**

Fuente. (Camargo Macías, 2013)

### B. Colectores de tubo de vacío.

El funcionamiento del tubo de vacío es digno de consideración. Se trata de una evolución tecnológica que otorga al sistema un rendimiento extremadamente alto. Este rendimiento está dado principalmente por la cantidad de calor del sol que puede ser transferido al agua (restando aquello que se pierde en reflejos y en disipaciones al aire circundante). Los tubos de vacío funcionan como una trampa donde casi el 90% de la radiación incidente queda en el agua que circula por el interior. Están contruidos a partir de dos tubos concéntricos de boro silicato separados entre sí por una cámara de alto vacío. Este aislante ideal confiere al sistema la propiedad de retener la energía calórica en su interior sin ser afectada por las condiciones climáticas del exterior. Por el interior del tubo interior circula el agua. Está recubierto por una película con propiedades absorbentes de la totalidad del espectro lumínico e infrarrojo de la radiación solar. El tanque de almacenamiento también cuenta con un sistema de aislación para garantizar que la temperatura del agua permanezca invariable aun cuando el sistema no recibe energía del exterior. (Vercelli, 2013) (Ver Figura 3)



**Figura 3: Colector solar de tubo de vacío**

Fuente. (Vercelli, 2013)

### C. Energía térmica de media temperatura.

La energía solar de térmica de media temperatura va destinada a aquellas aplicaciones que requieran temperaturas de agua comprendidas entre 80 y 250° C, teniendo entre sus aplicaciones: producción de vapor para procesos industriales, producción de energía eléctrica a pequeña escala, desalinización del agua de mar, refrigeración mediante energía solar. El colector solar de concentración por reflexión son los sistemas de concentración más comunes. (Ver Figura 2.4) para que se produzca la concentración se utilizan espejos. Para este rango de temperaturas, se utilizan normalmente concentradores lineales con superficie reflexiva parabólica. La estructura corresponde a un espejo parabólico, que refleja toda la radiación solar recibida, sobre un tubo de virio dispuesto a lo largo de la línea focal del espejo (línea donde se concentra toda la energía) en cuyo interior se encuentra la superficie absorbente en contacto con el fluido caloportador (también llamado fluido térmico). (Román Gómez, 2008)

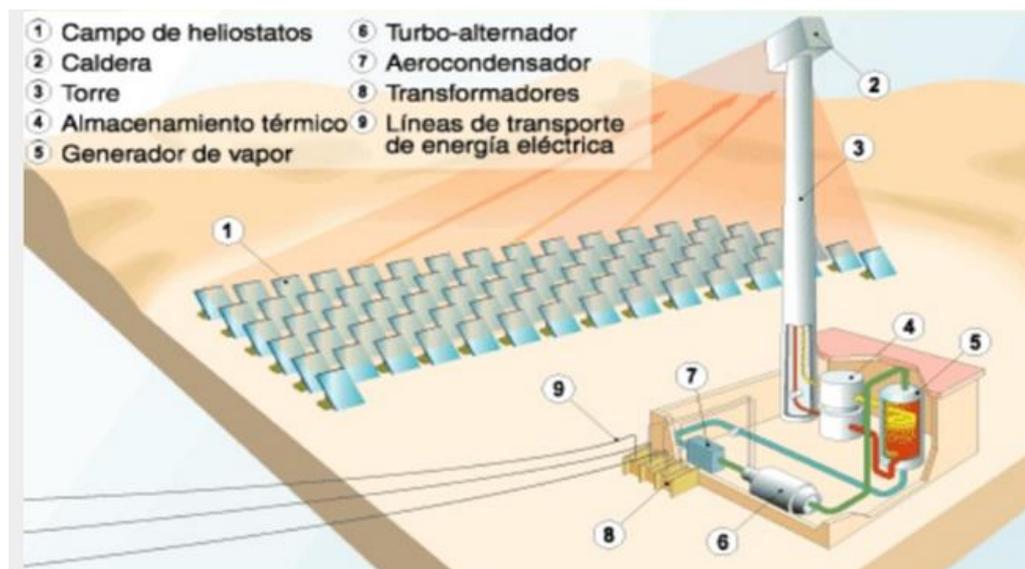


**Figura 4: Concentrador lineal parabólico**

Fuente. (Román Gómez, 2008)

#### **D. Energía térmica de alta temperatura.**

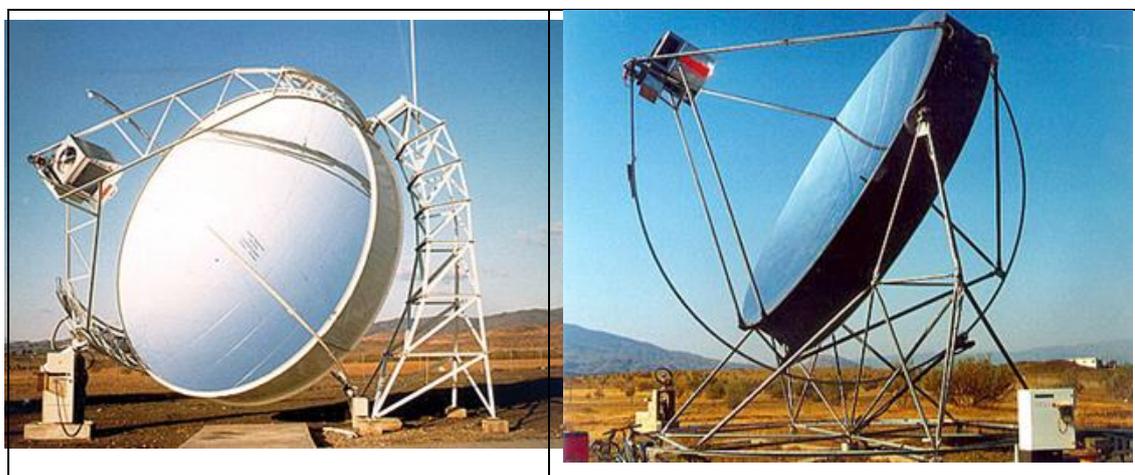
La energía solar térmica de alta temperatura es la que va destinada a aquellas aplicaciones que requieran temperaturas de agua superiores a los 250° C. su principal aplicación es la generación de vapor para la generación de electricidad a gran escala. Requiere: mayor concentración de la radiación solar, realizar un seguimiento de la posición del sol en dos ejes para hacer incidir la radiación mediante reflexión sobre un área reducida en donde se encuentra el receptor, permite conseguir temperaturas de más de 4,000 °C. Los sistemas de captación son: sistemas de receptor central (grandes campos de espejos planos con seguimiento del sol en dos ejes) y los sistemas de discos parabólicos. El primero se caracteriza porque el sistema colector está compuesto por un grupo de concentradores individuales llamados heliostatos que dirigen la radiación solar concentrada hacia un receptor central, normalmente situado a una cierta altura sobre el suelo en una torre. Ver Figura 5 (Román Gómez, 2008)



**Figura 5: Concentradores de alta temperatura – central solar térmica**

Fuente. (Román Gómez, 2008)

El segundo se compone básicamente de un reflector (o un conjunto de reflectores) con forma de paraboloide de revolución, un receptor situado en el foco de dicho paraboloide y un sistema de generación eléctrica compacto (motor o turbina más alternador). Estos sistemas se remasterizan por un alto rendimiento, modularidad y autonomía, aunque su tecnología es muy cara. Ver Figura 6 (Román Gómez, 2008)



**Figura 6 Concentradores de alta temperatura – discos parabólicos**

Fuente. (Román Gómez, 2008)

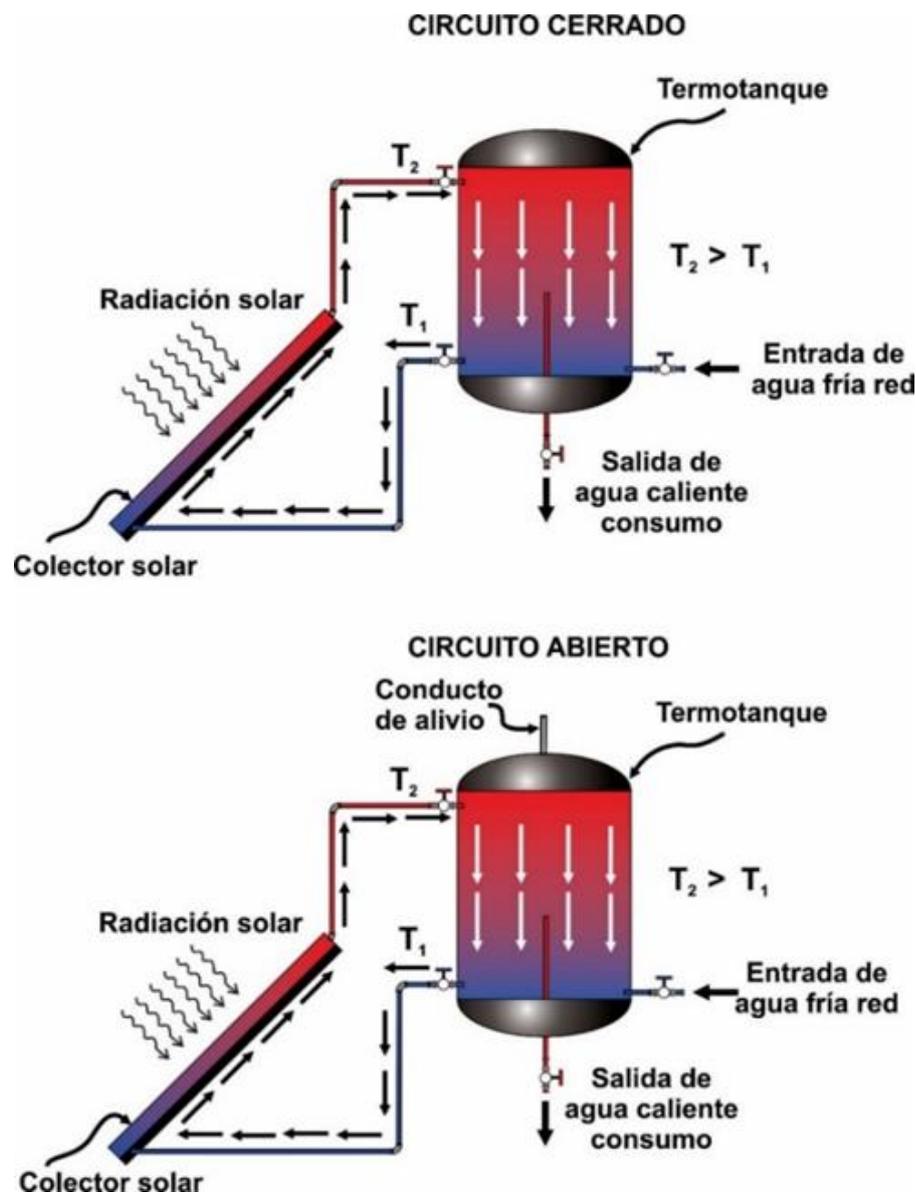
## 2.5. EFECTO TERMOSIFÓN DEL AGUA EN LOS COLECTORES SOLARES

### 2.5.1. Circuito termosifón no presurizado

Este sistema funciona sin aporte externo de energía, aprovecha el efecto termosifón, el movimiento del agua se produce por la diferencia de densidades del agua fría y caliente.

El agua que está dentro del colector se calienta por la acción de la energía solar, este proceso de transferencia de calor al fluido se realiza simultáneamente por las tres formas de transferencia de calor: radiación, conducción y convección.

Entonces se dice circuito no presurizado por el mismo hecho de que no se utiliza un medio externo como una bomba para generar la circulación del fluido en calentador solar. El sistema termosifón no presurizado se clasifican en dos tipos: circuito cerrado y abierto. (Ver Figura 7) (Restrepo & Savogal, XII)



**Figura 7** Circuito termosifón no presurizado  
Fuente. Restrepo & Savogal, XII

### 2.5.2. Circuito de circulación forzada

Este sistema funciona con un aporte externo de energía, la implementación de una bomba es necesario para hacer circular el agua entre el colector y el acumulador. El sistema termosifón presurizado se clasifican en dos tipos: circuito cerrado y abierto. (Ver Figura 8). (Restrepo & Savogal, XII)

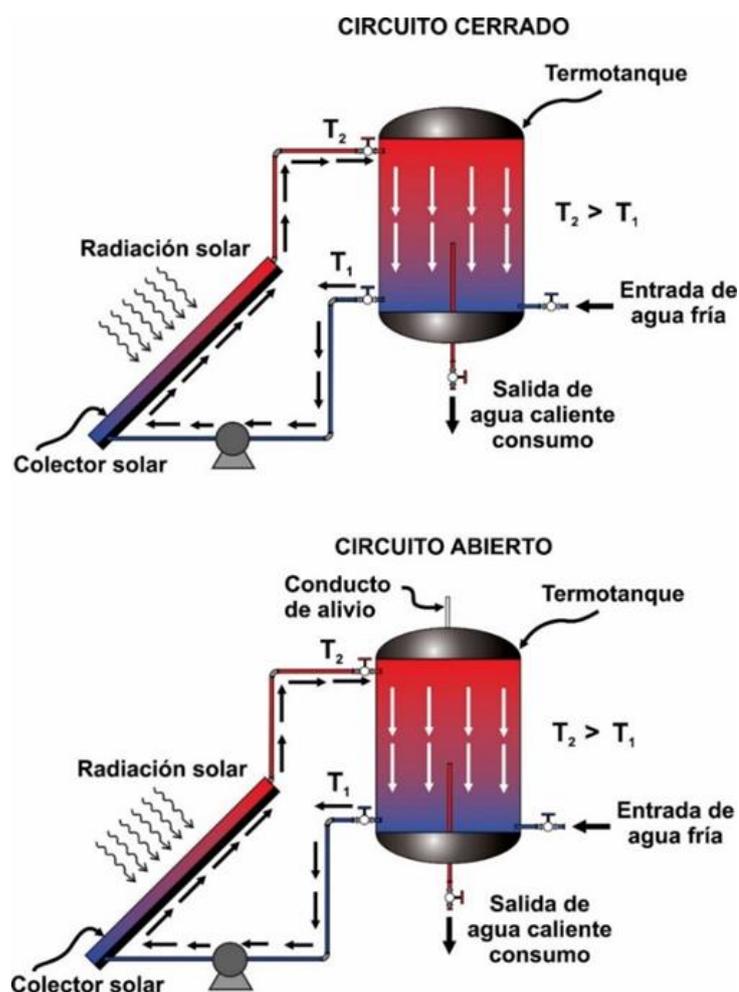


Figura 8 Circuito termosifón presurizado

Fuente. Restrepo & Savogal, XII

## 2.6. FUNDAMENTOS DE CALEFACCIÓN

### 2.6.1. Calefacción

Calefacción es el método o sistema, mediante el cual se aporta calor a alguien o algo con el fin de mantener o elevar su temperatura. Se puede mencionar que, son las acciones que

se pueden llevar a cabo sobre el clima interior, o como se ha visto, los parámetros externos a las personas para alcanzar un determinado nivel de confort, y, por otro lado, la calefacción es el conjunto de medios que disponen para alcanzar dicho nivel de confort. Los radiadores, por lo general se sitúan bajo las ventanas, compensando así la pérdida de calor producida por los cristales, y para mejorar (por convección) la distribución de calor en el ambiente. (*Jutglar, Miranda, & Villarubia, 2011*)

### 2.6.2. Confort Térmico

El hombre siempre se ha esforzado por crear un ambiente térmicamente cómodo, esto se refleja en las construcciones tradicionales alrededor del mundo desde la historia antigua hasta el presente. Hoy, crear un ambiente térmicamente cómodo todavía es uno de los parámetros más importantes a ser considerado cuando se diseñan edificios entonces, el confort térmico es una sensación neutra de la persona respecto a un ambiente térmico determinado. Confort es una condición básica para el éxito en la enseñanza. Las temperaturas muy bajas o muy altas, una iluminación inadecuada, ruido y reverberación acústica inapropiada perjudican seriamente el aprendizaje. En lo siguiente serán introducidos los aspectos más importantes en relación al confort en salas de aula y revistado la situación normativa en el Perú. La percepción del confort térmico es relativamente parecida entre los seres humanos. La zona de confort térmico se encuentra entre 21°C a 27°C. Existen variaciones por la adaptación climática – una persona en la selva amazónica acepta con facilidad una temperatura de 28°C, lo que sería muy caliente para una persona de la zona andina alta. Una temperatura de 19°C es aceptable para personas climatizadas en las alturas de los andenes, pero para personas climatizadas a la selva baja ya sería frío. Temperaturas en torno de los 23°C son considerados agradables por la mayoría de personas, independientemente de su zona climática. (*Laar & Olortegui del Castillo, 2014*).

### 2.6.3. Parámetros del confort térmico

Los parámetros más importantes a considerar en un ambiente térmico son: la temperatura del aire (interior y exterior), humedad relativa y velocidad de aire. Existen otros factores que acompañan al confort como es: calidad de aire, Luz y nivel de ruido, la actividad física desarrollada, la cantidad de ropa o el metabolismo de cada individuo. El reglamento nacional de edificaciones ubicado en la tabla N° 17 anexo N° 6 de dicho documento que

contempla los rangos de temperaturas para las edificaciones o locales a temperar, como se muestra en la tabla 1. (VIVIENDA, 2006)

**Tabla 1 Rango de las temperaturas de los locales a temperar**

EDIFICACIÓN O LOCAL	TEMPERATURA DEL AMBIENTE INTERIOR (T) EN °C
Vivienda	18
Locales de trabajo	18 – 20
Salas de exposiciones	15 – 18
Bibliotecas, archivos	15 – 18
Oficinas	20
Restaurantes	20
Cantinas	18
Grandes almacenes	20
Cines y teatros	20
Hospitales	
- Salas de reconocimiento y de tratamiento	24
- Salas de hospitalización	20 – 22
Cocinas	20
Tiendas	20
Escuelas	
- Aula	20
- Gimnasios	15 – 18
- Piscinas de aprendizaje cubiertas	24
Salas de actos	20
Salas de juntas	18

**Fuente. Tabla N° 17 anexo N° 4 del reglamento nacional de edificaciones.**

Considerando un ambiente donde se realiza actividades de lectura, en el presente trabajo de investigación se considera la temperatura de confort en un intervalo de temperatura en 18°C y 22°C en un gradiente de temperatura de abajo hacia arriba Y con respecto a la humedad, mientras la temperatura del aire no sea elevada la humedad del aire no será elevada y del otro lado una baja humedad podría generar que las vías respiratorias se irriten. Por ello se recomienda que la humedad no baje del 25% ni que exceda del 65%.

## 2.7. RADIADORES DE AGUA CALIENTE

Estos dispositivos conciben diferentes nombres, académicamente se denomina intercambiadores de calor, técnicamente llamados disipadores de calor y comercialmente denominados “radiadores de agua caliente”, este último término se empleará a lo largo del presente trabajo de investigación, estos dispositivos fueron diseñados para climatizar o elevar la temperatura de un ambiente. Cuando se inventaron los radiadores se suponía que el calor se intercambiaba por radiación (propagación de energía en forma de ondas

electromagnéticas o partículas subatómicas), de ahí la palabra. Pero este fenómeno, a grandes rasgos, solamente es cierto en los casos en los que la temperatura superficial supera los 70° C. (*Quadri, 1987*)

## **2.8. TIPOS DE RADIADORES**

### **2.8.1. Radiadores Bimetalicos o de Aluminio**

Es el radiador más solicitado, ya que se puede instalar en módulos y se adapta a todos los rincones. La gran ventaja que tiene es que se calienta muy rápido cuando se inicia el sistema., aunque de igual modo el calor dura muy poco cuando no circular el agua por que la disipación de calor es más rápida. (*UPONOR, 2015*)

### **2.8.2. Radiadores de Hierro fundido**

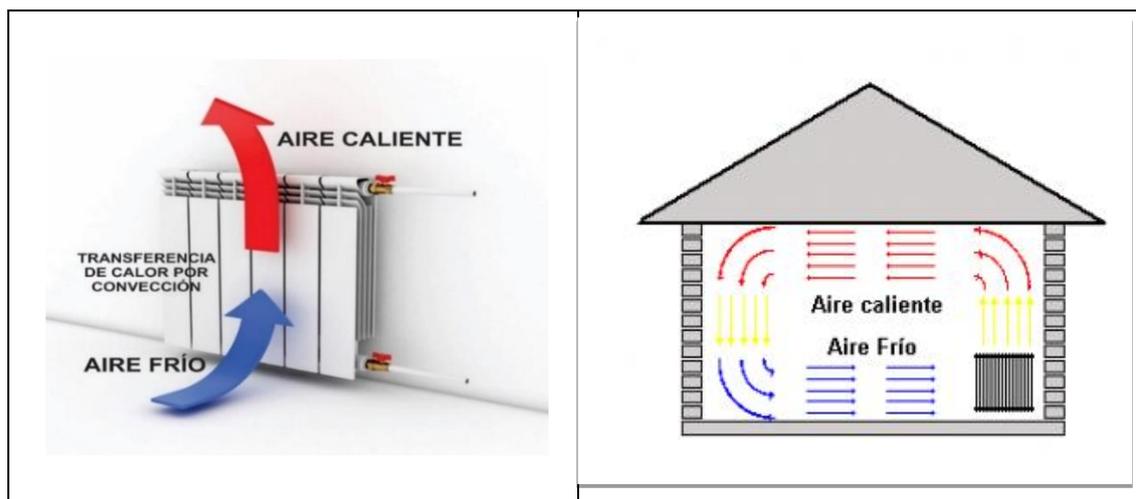
Son los primeros emisores que se han fabricado, como punto a favor esta clase de emisores térmicos logran conservar el calor aun cuando se han cumplido dos horas desde que se apagó el sistema de calefacción. Los radiadores de hierro fundido tardan más tiempo en alcanzar la temperatura adecuada y son muy pesados. (*UPONOR, 2015*)

### **2.8.3. Radiadores de chapa y acero**

Los primeros no pueden instalarse por módulos, son los radiadores más económicos y se utilizan poco (aunque su rendimiento es bueno). Por su parte, los emisores de acero y chapa se calientan rápido y conservan mejor el calor que los dispositivos hechos con aluminio. (*UPONOR, 2015*)

### **2.8.4. Funcionamiento del radiador**

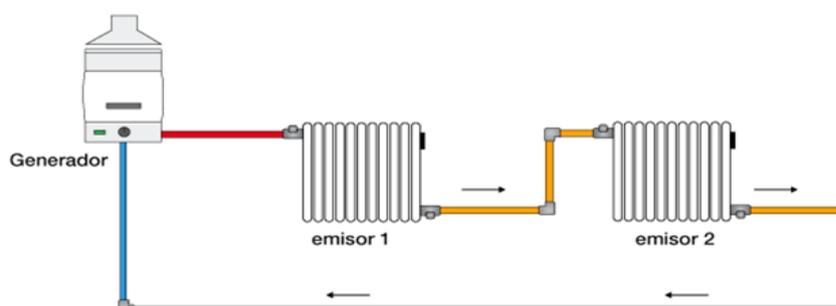
La convección es un principio de transferencia de calor que se caracteriza porque se produce a través de un fluido (aire o agua) y una superficie caliente. La superficie caliente transfiere la energía calorífica al fluido, cuando el fluido se encuentra en movimiento natural o forzado, al que se denomina transferencia de calor por convección natural o forzado, este último se desarrolla utilizando un medio mecánico como un ventilador que acelere la velocidad del fluido. Así, el aire de una habitación, al calentarse, aumenta de volumen de modo que disminuye su densidad y asciende, desplazando el fluido que se encuentra en la parte superior y que está a menor temperatura. Ver Figura 2.9. (*BECARGAS, 2015*)



**Figura 9 Flujo de aire en contacto con los radiadores de agua caliente**  
Fuente. (BECARGAS, 2015)

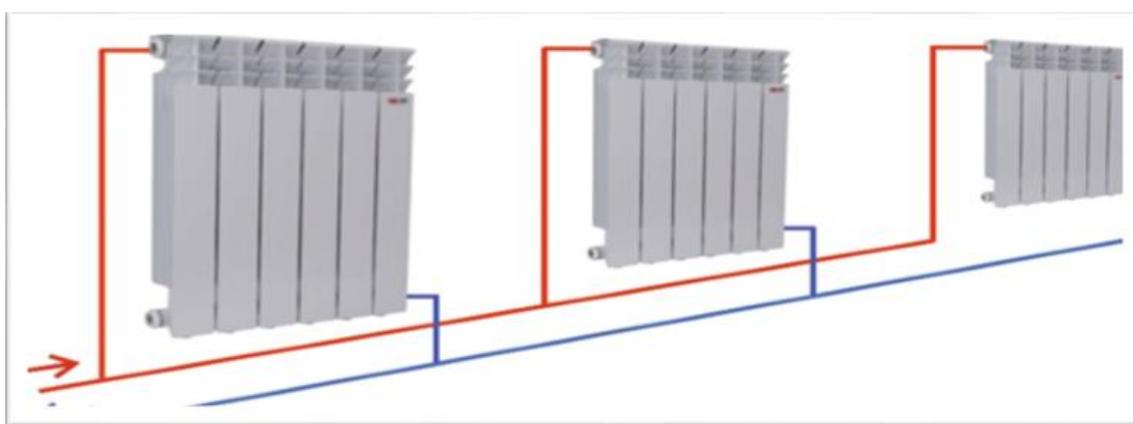
### 2.8.5. Sistema de instalación de los radiadores

Básicamente las configuraciones para la instalación de los radiadores de agua caliente se tienen de dos tipos: en serie y paralelo. La instalación en serie como se observa en la Figura 2.10, el agua ingresa al primer radiador por el extremo superior izquierdo y sale por el extremo inferior derecho, el cual se conecta al siguiente radiador por el extremo izquierdo superior y volviendo a salir por el extremo inferior derecho, lo mismo sucederá con el tercer radiador. Esta configuración tiene desventajas cuando se instalan más de tres radiadores. En esta configuración el agua caliente se disipa con gran potencia en el primer radiador en el ingreso y llegando agua tibia al último radiador, su eficiencia no es tan buena por lo tanto no es recomendable hacer este tipo de instalación para mayores de tres radiadores en serie. (BECARGAS, 2015)



**Figura 10 Configuración en serie en la instalación de radiadores**  
Fuente. (BECARGAS, 2015)

La instalación en paralelo como se ve en la Figura 2.11, tiene ventajas muy superiores a la anterior, porque el agua caliente se distribuye uniforme y simultáneamente a cada radiador con la misma temperatura, esto es conveniente porque los radiadores disipan por igual el calor. El ingreso del agua caliente es por la parte superior extremo izquierdo, ingresa el agua caliente para inundar todo el radiador en contra corriente del aire frío que siempre está presto en ganar calor y aumentar su temperatura para luego ascender por la diferencia de densidades, luego el agua al disipar su calor por ende baja la temperatura descende a la parte inferior saliendo por la parte inferior extremo derecho para luego dirigirse al circuito de recirculación. (BECARGAS, 2015)



**Figura 11 Configuración en paralelo los de radiadores**

Fuente. (BECARGAS, 2015)

Los radiadores, por lo general se sitúan bajo las ventanas, compensando así la pérdida de calor producida por los cristales, y para mejorar la distribución de calor en el ambiente.

## 2.9. CARGA TÉRMICA

La carga térmica o también conocido como demanda térmica, es la cantidad de energía que se necesita en un área o ambiente para conservar determinadas condiciones de temperatura y humedad para una aplicación específica de calentamiento o enfriamiento como también depende de las características térmicas del ambiente, su orientación, condiciones de uso y clima del lugar de emplazamiento. En los siguientes casos, se describirán el comportamiento de la temperatura en estaciones diferente como en verano e invierno (Gonzales Valiente & Ferrando Perez, 2013)

### 2.9.1. Ambiente no climatizado

Si un local no dispone de climatización, su temperatura se adaptará a la del ambiente, si hace frío estará helado y cuando haga calor será caluroso, es decir llegará a un estado de equilibrio entre el ambiente y el exterior. Ver Figura 2.12. En el momento que queremos que su temperatura se mantenga en un valor distinto al del exterior, y a voluntad de sus ocupantes, hay que sacar o meter calorías del local al exterior. Al crear una diferencia de temperatura entre el local y el exterior, se inicia una transferencia de calor por las paredes, suelos, ventanas, y aire de ventilación, que tiende de nuevo a igualar su temperatura con el exterior. (Gonzales Valiente & Ferrando Perez , 2013)



**Figura 12 Local que se adapta a la temperatura del ambiente**

Fuente. (Gonzales Valiente & Ferrando Perez , 2013)

### 2.9.2. Ambiente climatizado en verano

En verano para enfriar el local con un climatizador, hay que extraer calorías, y la transmisión de calor por las paredes es hacia el interior. Ver figura 13



**Figura 13 Extracción de calor en verano**

Fuente. (Gonzales Valiente & Ferrando Perez , 2013)

### 2.9.3. Ambiente climatizado en invierno

*Gonzales Valiente & Ferrando Perez, (2013)*. En invierno hay que introducir calorías, y las pérdidas de calor son hacia el exterior. Ver Figura 2.13. Al final se alcanza un equilibrio entre la potencia del equipo acondicionador, y las transmisiones que, por las paredes, techo, etc., tienden a restablecer la temperatura inicial. En ambos casos las calorías que entran o salen del local las llamamos “pérdidas de calor”, y hay que calcularlas para determinar la potencia del aparato climatizador a instalar. El total de calor necesario a meter o sacar del local lo denominaremos “demanda térmica” del local. Vemos que hay al menos tres datos necesarios:

- Temperatura interior, que dependen del uso del local.
- Temperatura exterior, que dependen de la zona en la que se ubique, si es más fría o calurosa.
- Condiciones de las paredes y techos del local, si está más o menos aislado térmicamente



**Figura 14 Adición de calor en invierno**  
Fuente. (Gonzales Valiente & Ferrando Perez , 2013)

### 2.10. TIPOS DE CARGA TÉRMICA EN CALEFACCIÓN

La carga térmica se puede distinguir en cuatro tipos: Carga térmica por transmisión, renovación de aire, infiltración y carga térmica interna.

### 2.10.1. Carga térmica por transmisión

Se produce por el paso del calor a través de un cerramiento desde el local de temperatura más elevada hacia el de temperatura más baja. La expresión para evaluar la pérdida de calor, por algún cerramiento determinado (Gonzales Valiente & Ferrando Perez , 2013)

$$Q_T = UA(T_i - T_e) \quad (01)$$

Siendo:

$Q_T$  = Pérdidas por transmisión de calor a través de cada cerramiento.

$U$  = Transmitancia térmica del cerramiento.

$A$  = Superficie del cerramiento.

$T_i$  = Temperatura interior de diseño.

$T_e$  = Temperatura de diseño al otro lado del cerramiento

### 2.10.2. Carga térmica por renovación de aire

Denominada también carga térmica por renovación. En este punto se considera la pérdida de calor debido a la renovación de aire del ambiente. Esta carga térmica desfavorable es necesaria para asegurar la calidad del aire en el interior del ambiente. Se compensa el aire que se expulsa hacia el exterior con el que se introduce en el recinto a temperatura exterior.

$$\dot{Q}_{p,re} = \dot{m}_{ren} * C_p * (T_{diseño} - T_{exterior}) \quad (02)$$

### 2.10.3. Carga térmica por infiltración de aire

Al igual que la carga térmica de renovación del aire se podría calcular del mismo modo en este punto un caudal de aire infiltrado. Sin embargo, dicha estimación resulta dificultosa, ya que es complicado determinar el caudal que entra hacia el interior de la vivienda a través de las rendijas de puertas o ventanas. Por tanto, se supone que la carga térmica debida a infiltraciones será igual al 30 % de la carga térmica de renovación de aire:

$$\dot{Q}_{p,in} = 0.3 * \dot{Q}_{renovación} \quad (03)$$

#### **2.10.4. Carga térmica interna**

Esta carga térmica es debida a los ocupantes del ambiente, así como la iluminación de la misma o los equipos electrodomésticos conectados.

#### **2.10.5. Inercia térmica**

Es la capacidad que tiene la masa de conservar la energía térmica recibida e ir liberándola progresivamente. Debido a esta capacidad, teniendo en cuenta la inercia térmica de los cerramientos de un edificio, puede disminuirse la necesidad de climatización, con la consecuente reducción de consumo energético y de emisiones contaminantes. (*EICA, 2017*)

### **2.11. FUNDAMENTOS TERMODINÁMICOS**

#### **2.11.1. Calor**

La cantidad de calor transmitido no puede medirse directamente, pero el concepto tiene significado físico porque está relacionado con una cantidad medible llamada temperatura. (*Holman, 1998*)

El calor es una forma de energía que se puede transferir de un sistema a otro como resultado de la diferencia en la temperatura. La ciencia que trata de la determinación de las razones de esta transferencia es la transferencia de calor. (*Cengel & Boles, 2006*)

A partir de las observaciones experimentales la primera ley de la termodinámica establece que la energía no se puede crear ni destruir durante un proceso; sólo puede cambiar de forma. Por lo tanto, cada cantidad de energía por mínima que sea debe justificarse (*Cengel & Boles, 2006*)

#### **2.11.2. Balance de energía**

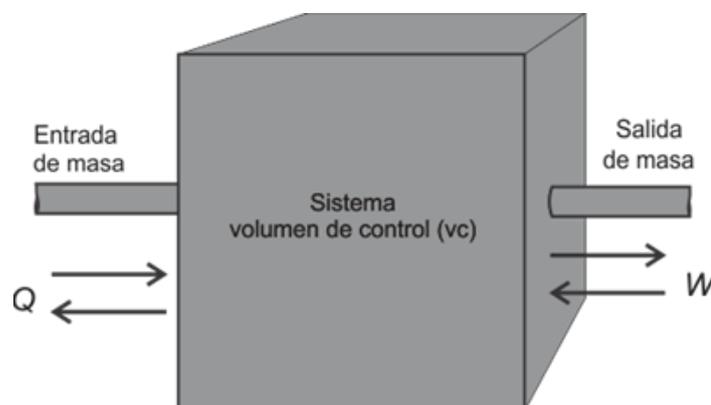
El principio de conservación de la energía se expresa como: el cambio neto (aumento o disminución) de la energía total del sistema durante un proceso es igual a la diferencia entre la energía total que entra y la energía total que sale del sistema durante el proceso. (*Cengel & Boles, 2006*)

$$\left[ \begin{array}{c} \text{Energía total} \\ \text{que entra al} \\ \text{sistema} \end{array} \right] - \left[ \begin{array}{c} \text{Energía total} \\ \text{que sale del} \\ \text{sistema} \end{array} \right] = \left[ \begin{array}{c} \text{Cambio en la} \\ \text{energía total del} \\ \text{sistema} \end{array} \right]$$

### 2.11.3. Transferencia de energía

Es la energía que sale y entra al sistema, se transfiere por medio de calor, trabajo y flujo másico. Las interacciones de energía se reconocen en las fronteras del sistema cuando lo cruzan, y representan la energía que gana o pierde un sistema durante un proceso. Las únicas dos formas de interacción de la energía relacionadas con una masa fija o sistema cerrado son: transferencias de calor y trabajo. (Cengel & Boles, 2006)

La transferencia de calor hacia un sistema (ganancia de calor) incrementa la energía de las moléculas y por lo tanto la del sistema; asimismo, la transferencia de calor desde un sistema (pérdida de calor) la disminuye, ya que la energía transferida como calor viene de las moléculas del sistema; la transferencia de trabajo es una interacción de energía que no es causada por una diferencia de temperatura si no la interacción por medios mecánicos entre el sistema y el exterior, como un émbolo ascendente, un eje rotatorio y un alambre eléctrico que cruzan la frontera del sistema se relacionan con interacciones de trabajo; y el flujo másico que entra y sale del sistema funciona como un mecanismo adicional de transferencia de energía. Cuando entra masa a un sistema, la energía de éste aumenta debido a que la masa lleva consigo energía (de hecho, la masa es energía. Ver Figura 2.14 (Cengel & Boles, 2006)



**Figura 15 Contenido de energía de un volumen de control**

Fuente. (Cengel & Boles, 2006)

El balance de energía es la base fundamental para describir la cantidad de energía requerida por un sistema. La ecuación de balance de energía se aplica a cualquier proceso, se expresa de manera compacta como:

$$\underbrace{E_{\text{entrada}} - E_{\text{salida}}}_{\substack{\text{Transferencia neta de} \\ \text{energía mediante calor,} \\ \text{trabajo y masa}}} = \underbrace{\Delta E_{\text{sistema}}}_{\substack{\text{Cambio de energías} \\ \text{interna, cinética,} \\ \text{potencial, etcétera}}} \quad (\text{KJ}) \quad (04)$$

O en la forma de tasa, como:

$$\underbrace{\dot{E}_{\text{entrada}} - \dot{E}_{\text{salida}}}_{\substack{\text{Tasa de transferencia} \\ \text{neta de energía} \\ \text{mediante calor, trabajo}}} = \underbrace{\frac{dE_{\text{sistema}}}{dt}}_{\substack{\text{Tasa de cambio de} \\ \text{energías interna,} \\ \text{cinética, potencial,}}} \quad (05)$$

#### 2.11.4. Energía interna(u)

En experimentos tales como los efectuados por Joule, se añade energía al agua como trabajo, pero se extrae de ésta como calor. Con esto surge la pregunta de qué es lo que le sucede a la energía entre el momento en que se añade al agua como trabajo y el momento en que se extrae como calor. La lógica sugiere que esta energía se encuentra contenida en el agua, en otra forma, la cual se define como energía interna. (Smith, Van Ness, & Abbot, 1997)

#### 2.11.5. Cambios en la energía interna(u)

Al igual que los gases ideales, los calores específicos de sustancias incompresibles dependen sólo de la temperatura. Para pequeños intervalos de temperatura, un valor de  $C_e$  a la temperatura promedio se puede usar y tratar como una constante. (Cengel & Boles, 2006)

$$\Delta U = C_{\text{prom}} (T_2 - T_1) \quad (\text{kJ/kg}) \quad (06)$$

Entonces para un proceso que se efectúa a volumen constante se tiene:

$$\Delta U = Q_s = m * C_V * (T_2 - T_1) \quad (\text{kJ/s}) \quad (07)$$

Siendo:

$Q_s$  = Calor sensible.

$m$  = masa (kg)

$C_v$  = calor específico a volumen constante (kJ/kg °C)

$T_2$  = Temperatura final (°C)

$T_1$  = Temperatura final (°C)

### 2.11.6. Entalpia (h)

Para cualquier sistema, la entalpía está definida explícitamente por la expresión matemática (*Smith, Van Ness, & Abbot, 1997*)

$$H = U + PV \quad (08)$$

Siendo:

$U$  = energía interna [J]

$P$  = presión absoluta [Pa]

$V$  = volumen [ $m^3$ ]

### 2.11.7. Cambios en la entalpia (h)

El análisis de los sistemas que comprenden el flujo de fluido, con frecuencia se encuentra la combinación de las propiedades  $U$  y  $Pv$ . En beneficio de la sencillez y por conveniencia, a esta combinación se le define como entalpia  $h$ , ( $h = u + Pv$ ), en donde el término  $Pv$  representa la energía de flujo. Si se emplea la definición de entalpia y observado que  $v$  es constante, la forma diferencial del cambio de entalpia de sustancias incompresible se denomina mediante derivación. (*Cengel & Boles, 2006*)

$$dh = du + vdP + Pdv \quad , \text{ si } Pdv = 0$$

Al integrar:  $dh = du + vdP$

$$\Delta h = \Delta u + v\Delta P \cong C_{prom}\Delta T + v\Delta P \quad (\text{kJ/kg}) \quad (09)$$

### 2.11.8. Calores específicos de gases, líquidos y sólidos

Se define como la energía requerida para elevar en un grado la temperatura de una unidad de masa de una sustancia. Se tiene el calor específico a volumen constante y a presión constante. El calor específico a volumen constante ( $C_v$ ), se puede concebir como la energía requerida para elevar en un grado la temperatura de una unidad de masa de una sustancia mientras el volumen se mantiene constante. La energía requerida para hacer lo mismo cuando la presión se mantiene constante es el calor específico a presión constante ( $C_p$ ). Para sólidos y líquidos, los subíndices en  $C_p$  y  $C_v$ , se eliminan, y ambos calores específicos se pueden representar mediante un solo símbolo  $C_e$ . (Cengel & Boles, 2006)

$$C_p = C_v = C_e$$

Entonces para sólidos y líquidos se tiene:

$$Q_s = m * C_e * (T_2 - T_1) \quad (\text{kJ/s}) \quad (10)$$

Respecto a las unidades:

$$1\text{kJ/kg} \cdot ^\circ\text{C} \equiv 1\text{J/g} \cdot ^\circ\text{C} \equiv 1\text{kJ/kg} \cdot \text{K} \equiv 1\text{J/g} \cdot \text{K}$$

### 2.11.9. Ecuación de estado de un gas ideal

Cualquier ecuación que relacione la presión, temperatura y el volumen específico de una sustancia se denomina ecuación de estado. Las relaciones de propiedades que comprenden a otras pertenecientes a una sustancia que se halla en estado de equilibrio, también se conocen como ecuaciones de estado. Hay varias ecuaciones de estado, algunas sencillas y otras muy complejas: la más sencilla y mejor conocida para sustancias en la fase gaseosa es la ecuación de estado de gas ideal, la cual predice el comportamiento P-V-T de un gas con bastante exactitud, dentro de cierta región elegida adecuadamente. (Cengel & Boles, 2006)

$$Pv = RT \quad (11)$$

Siendo:

R = Es la constante de proporcionalidad, e denomina constante del gas.

P = Es la presión absoluta.

$T$  = Es la temperatura absoluta.

$v$  = Es el volumen específico ( $v = \frac{V}{m}$ ) o es la inversa de la densidad.

La constante  $R$  es diferente para cada gas y se determina a partir de:

$$R = \frac{R_u}{M} \quad (\text{kJ/kg}\cdot\text{K} \text{ o } \text{kPa}\cdot\text{m}^3/\text{kg}\cdot\text{K})$$

Así para el aire es:  $0.2870 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K}$  (Cengel & Ghajar, 2011)

Siendo:

$R_u$  = Constante universal de los gases =  $8.31447 \text{ kJ/kmol}\cdot\text{K}$

$$= 0.082057 \text{ (atm}\cdot\text{L/mol}\cdot\text{K)} \text{ o } \text{(atm}\cdot\text{m}^3/\text{kmol}\cdot\text{K)}$$

$M$  = Peso o masa molecular.

$$n = \frac{m}{M}, \quad m = \text{masa}, \quad n = \text{número de moles.}$$

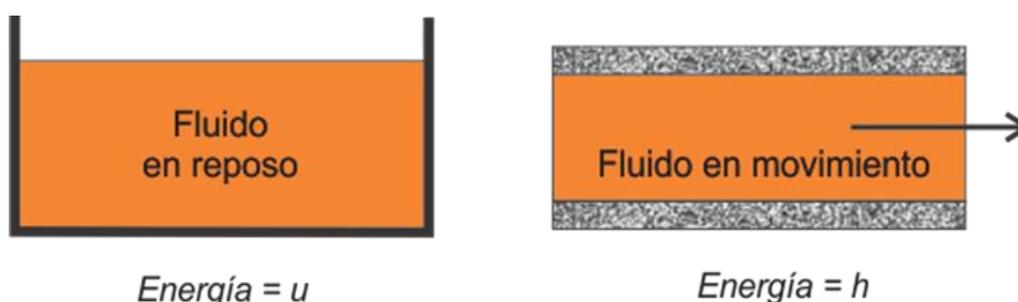
### 2.11.10. Energía interna y entalpía de un gas ideal

Los cambios finitos en la energía interna y la entalpía de un gas ideal durante un proceso se pueden expresar aproximadamente usando valores de los calores específicos a la temperatura promedio. (Cengel & Boles, 2006)

$$\Delta u = mC_{v,prom}\Delta T \quad y \quad \Delta h = mC_{p,prom}\Delta T \quad (\text{J/g}) \quad (12)$$

$$\Delta U = mC_{v,prom}\Delta T \quad y \quad \Delta H = mC_{p,prom}\Delta T \quad (\text{J}) \quad (13)$$

La energía interna  $u$  ( $\text{U/m}$ ) representa la energía microscópica de un fluido que no está fluyendo, en tanto que la entalpía  $h$  ( $\text{H/m}$ ) representa la energía microscópica de fluido que fluye, como se observa en la figura 2.15. (Cengel & Boles, 2006).



**Figura 16 Energía interna y entalpía**

Fuente. (Cengel & Boles, 2006)

### 2.11.11. Balance de energía en sistema de flujo estacionario

Un gran número de dispositivos de ingeniería como turbinas, compresores y toberas funcionan durante largos periodos bajo las mismas condiciones una vez completado el periodo de inicio transitorio y establecido la operación estacionaria; y se clasifican como dispositivos de flujo estacionario, como un proceso durante el cual un fluido fluye de manera estacionaria por un volumen de control. Es decir, la propiedad del fluido puede cambiar de un punto a otro dentro del volumen de control, pero en cualquier punto permanecen constantes durante todo el proceso (estacionario significa ningún cambio en el tiempo). Durante un proceso de flujo estacionario, ninguna propiedad intensiva o extensiva dentro del volumen de control cambia con el tiempo. Por lo tanto, el volumen, la masa y el contenido de energía total  $E$  del volumen de control permanecen constantes. Entonces para un proceso de flujo estacionario ( $dE_{sistema}/dt = 0$ ), por lo tanto, la ecuación (9) se reduce obteniendo la ecuación (15). (Cengel & Boles, 2006)

$$\dot{E}_{entrada} = \dot{E}_{salida} \quad (\text{kW}) \quad (14)$$

*Tasa de transferencia neta de energía de entrada por calor, trabajo y masa*      *Tasa de transferencia neta de energía de entrada por calor, trabajo y masa*

### 2.11.12. Balance de energía para sistemas cerrados

Un sistema cerrado consta de una masa fija. La energía total “E” para la mayor parte de los sistemas que se encuentran en la práctica consiste en la energía interna  $U$ , este es en especial el caso para los sistemas estacionario, ya que no comprenden cambios en la velocidad o elevación durante el proceso. (Cengel & Boles, 2006)

$$E_{entrada} - E_{salida} = \Delta U = mC_v\Delta T \quad (\text{J}) \quad (15)$$

Cuando el sistema sólo comprende transferencia de calor y ninguna interacción de trabajo cruza su frontera, la relación del balance de energía se reduce a un sistema cerrado estacionario sin trabajo: (Cengel & Boles, 2006)

$$Q = mC_v\Delta T \quad (\text{J}) \quad (16)$$

## 2.12. INDICE METABÓLICO

El Índice metabólico se utiliza en climatización para aproximarse a la sensación de comodidad térmica, evaluando la cantidad de calor que el cuerpo humano necesita disipar al ambiente, según la actividad realizada. El cuerpo humano consume energía para su mantenimiento, y la obtiene en la digestión de los alimentos. El residuo energético es calor, que el cuerpo aprovecha para mantener una temperatura adecuada para los procesos orgánicos que en él se producen (metabolismo basal).

**Tabla 2 Índice metabólico de actividades comunes.**

PRODUCCIÓN DE ENERGÍA METABÓLICA			
ACTIVIDAD	VALOR		
	MET	W/m <sup>2</sup>	kcal/h.m <sup>2</sup>
Tendido y en reposo	0,8	46,5	40
Sentado y en reposo	1,0	58,2	50
Actividad ligera, sentado (oficina, hogar, escuela, laboratorio)	1,2	69,8	60
Actividad ligera, de pie (de compras, laboratorio, industria ligera)	1,6	93,0	80
Actividad media, de pie (vendedor, tareas domésticas, trabajo con máquinas)	2,0	116,3	100
Marcha en llano a 2 km/h	1,9	110,5	95
Marcha en llano a 3 km/h	2,4	139,6	120
Marcha en llano a 4 km/h	2,8	162,8	140
Marcha en llano a 5 km/h	3,4	197,7	170

Fuente. (SOTO, 2008)

Como el cuerpo está produciendo calor continuamente, necesita disipar el sobrante. El órgano encargado de mantener la temperatura interior del cuerpo es la piel y lo hace disipando más o menos calor, lo cual depende de la producción de calor y de la temperatura del ambiente. Se produce más calor, cuanto mayor sea la actividad física, pero también varía dependiendo de la edad (mayor cuanto más joven), el tamaño, el peso o el sexo del sujeto. Al relacionar la unidad del índice con la unidad de superficie de piel, se aproximan los valores para una parte de estas diferencias. En la tabla 2.2 se puede observar el índice metabólico de varias actividades comunes. (Cengel & Boles, 2006)

## 2.13. SUPERFICIE DEL CUERPO HUMANO

En fisiología y medicina el área de superficie corporal (ASC) es la medida o cálculo de la superficie del cuerpo humano. Para distintos propósitos el área superficial corporal es el mejor indicador metabólico que el peso dado que está menos afectado por la masa

adiposa anormal. El cálculo de la ASC es más simple que muchas medidas de volumen. El área superficial de un cuerpo desnudo fue expresada por D. DuBois, en 1916. (*Cengel & Boles, 2006*)

$$A_s = 0.202 m^{0.425} h^{0.725} m^2 \quad (17)$$

Donde:

- Asc = área de la superficie corporal
- m = masa del cuerpo en (Kg).
- h = altura en (m)
- Los valores normales de As (ASC):
- "Normal" ASC es generalmente 1.7 m<sup>2</sup>.
- Media para hombre de ASC: 1.9 m<sup>2</sup>
- Media para mujeres de ASC: 1.6 m<sup>2</sup>
- Niños (9 años): 1.07 m<sup>2</sup>
- (10 años): 1.14 m<sup>2</sup>
- (12-13 años): 1.33 m<sup>2</sup>
- Neonatos: 0.25 m<sup>2</sup>
- Media para niños de 2 años: 0.5 m<sup>2</sup>

## 2.14. FUNDAMENTOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR

La transferencia de calor es la ciencia que trata de predecir el intercambio de energía que puede tener lugar entre cuerpos materiales, como resultado de una diferencia de temperatura. (*Holman, 1998*)

### 2.14.1. Mecanismos de transferencia de calor

#### A. Conducción

La conducción es el mecanismo de transferencia de calor en escala atómica a través de la materia por actividad molecular, por el choque de unas moléculas con otras, donde las partículas más energéticas le entregan energía a las menos energéticas, produciéndose un flujo de calor desde las temperaturas más altas a las más bajas. Los mejores conductores de calor son los metales. Los objetos malos conductores como el aire o plásticos se llaman aislantes. Para un volumen de espesor  $\Delta x$ , con área de sección transversal A y cuyas caras opuestas se encuentran a diferentes  $T_1$  y  $T_2$ , con  $T_2 > T_1$ . Por tanto, se concluye que la

razón de la conducción de calor a través de una capa plana es proporcional a la diferencia de temperatura a través de ésta y al área de transferencia de calor, pero es inversamente proporcional al espesor de esa capa, está dada por la ley de la conducción de calor de Fourier. (Kern, 1999)

$$Q_{cond} = kA \frac{T_1 - T_2}{\Delta x} = -kA \frac{\Delta T}{\Delta x} \quad (18)$$

Donde:

- $Q_{cond}$  = Flujo de calor por conducción [W]
- $A$  = Área o superficie de transferencia de calor [m<sup>2</sup>]
- $K$  = Conductividad térmica del material [W/m\*K]
- $-\frac{\Delta T}{\Delta x}$  = Gradiente de temperatura

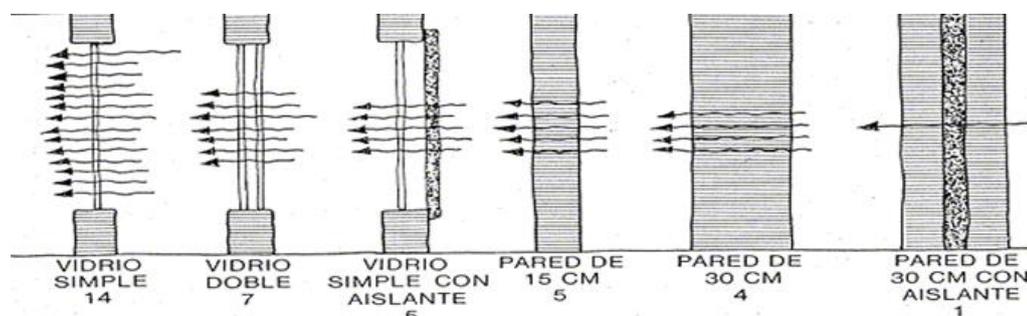
El calor transferido por unidad de tiempo “ $\dot{Q}$ ”, se define como:

$$Q = \frac{\dot{Q}}{\Delta t} \quad [\text{W/s}] \quad (19)$$

Siendo:

- $\dot{Q}$  = Rapidez de flujo de calor [W]
- $\Delta t$  = tiempo [s]

Si las leyes físicas dicen que los flujos de calor van de lo más caliente a lo más frío, es inevitable concluir que en el invierno las habitaciones tienden a perder calor desde adentro de la casa hacia afuera y en verano a ganar calor de afuera hacia adentro. La calefacción se inventó para calentar ambientes cuya temperatura era demasiado baja para vivir con confort; en consecuencia, se logró inyectar calor con una estufa para que la temperatura subiera a niveles agradables. De igual manera, el aire acondicionado fue creado para extraer calor de un ambiente demasiado caluroso. Ver Figura 2.16. (Kern, 1999)



**Figura 17 Ganancia y pérdida de calor por los materiales**

Fuente. (Kern, 1999)

### B.- Convección

La convección es el modo de transferencia de energía entre una superficie sólida y el líquido o gas adyacentes que están en movimiento y comprende los efectos combinados de la conducción y el movimiento de fluidos. Existen dos tipos de convección: natural y forzada. La primera se da cuando hay una variación de temperatura, en ausencia de cualquier movimiento masivo de fluido, la transferencia de calor entre una superficie sólida y el fluido adyacente es por conducción pura. La convección recibe el nombre de convección forzada si el fluido es forzado a fluir sobre la superficie mediante medios externos como un ventilador, una bomba o el viento. A pesar de la complejidad de la convección, se observa que la rapidez de la transferencia de calor por convección es proporcional a la diferencia de temperatura y se expresa en forma conveniente por la ley de Newton del enfriamiento. (Kern, 1999)

$$Q_{conv} = h_c A_s (T_s - T_\infty) \quad (20)$$

Donde:

$Q_{conv}$  = Transferencia de calor por convección (W).

$h_c$  = Coeficiente de convección  $W/(m^2 K)$ .

$A_s$  = Es la superficie que entrega calor con una temperatura  $T_s$  al fluido adyacente, que se encuentra a una temperatura  $T_\infty$ . ( $m^2$ ).

$T_s$  = Temperatura de la superficie (K).

$T_\infty$  = Temperatura del fluido (K).

El flujo de calor por convección es positivo ( $Q_{conv} > 0$ ) si el calor se transfiere desde la superficie de área  $A$  al fluido ( $T_s > T_\infty$ ) y negativo si el calor se transfiere desde el fluido hacia la superficie ( $T_s < T_\infty$ ).

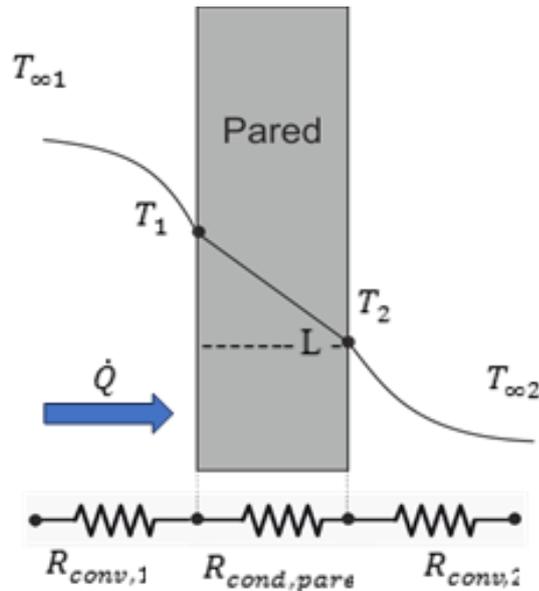
### C.- Coeficiente global de transferencia (u)

La determinación del coeficiente convectivo no es sencilla, ya que depende de las condiciones geométricas de los cuerpos involucrados, la velocidad y el tipo de flujo, además de las propiedades termo físicas de los cuerpos. La ecuación (24), describe el calor transferido por un coeficiente global. (Bird & Stewart, 2006)

$$Q_{conv} = UA_s (T_s - T_\infty) \quad (21)$$

**D.- Resistencias térmicas**

Esta ecuación permite determinar el coeficiente global de transferencia de calor, empleando el concepto de resistencias térmicas, que consiste en determinar la resistencia en la transferencia de calor por un material y la resistencia térmica del fluido cercano a la superficie sólida. Figura 2.17 (Bird & Stewart, 2006)



**Figura 18 Red de resistencia térmicas**  
Fuente. (Bird & Stewart, 2006)

$$\dot{Q} = \frac{T_{\infty 1} - T_{\infty 2}}{R_{Total}} \quad (W)$$

$$R_{Total} = R_{conv,1} + R_{cond,pared} + R_{conv,2}$$

$$R_{Total} = \frac{1}{h_1 A} + \frac{L}{kA} + \frac{1}{h_2 A} \quad (^\circ C/W)$$

$$UA = \frac{1}{R_{total}} \quad (22)$$

**E.- Radiación**

La radiación es la energía emitida por la materia en forma de ondas electromagnéticas (o fotones) como resultado de los cambios en las configuraciones electrónicas de los átomos o moléculas. A diferencia de la conducción y la convección, la transferencia de calor por radiación no requiere la presencia de un medio interventor. De hecho, la transferencia de

calor por radiación es la más rápida (a la velocidad de la luz) y no sufre atenuación en un vacío. Ésta es la manera en la que la energía del Sol llega a la Tierra. En los estudios de transferencia de calor es de interés la radiación térmica, que es la forma de radiación emitida por los cuerpos debido a su temperatura, es diferente de las otras formas de radiación, como los rayos x, los rayos gamma, las microondas, las ondas de radio y de televisión, que no están relacionadas con la temperatura. Todos los cuerpos a una temperatura arriba del cero absoluto emiten radiación térmica. La razón máxima de la radiación que se puede emitir desde una superficie a una temperatura termodinámica  $T_s$  (en K o R) es expresada por la ley de Stefan-Boltzmann. (Cengel & Ghajar, 2011)

$$Q_{emitida,max} = \sigma A_s T_s^4 \quad (23)$$

La superficie idealizada que emite radiación a esta razón máxima se llama cuerpo negro y la radiación emitida por éste es la radiación del cuerpo negro. La radiación emitida por todas las superficies reales es menor que la emitida por un cuerpo negro a la misma temperatura. (Cengel & Ghajar, 2011)

$$Q_{emitida} = \varepsilon \sigma A_s T_s^4 \quad (24)$$

Donde:

$Q_{emitida,max}$	=	Calor máximo emitido por radiación [W]
$A_s$	=	Superficie de emisión [m <sup>2</sup> ]
$T_s$	=	Temperatura de la superficie [K]
$\sigma$	=	Constante de Stefan – Boltzmann [5,67 x 10 <sup>-8</sup> W/m <sup>2</sup> . K <sup>4</sup> ]
$\varepsilon$	=	Emisividad de la superficie (adimensional)

La emisividad cuyo valor está en el intervalo  $0 \leq \varepsilon \leq 1$ , es una medida de cuán próxima está una superficie de ser un cuerpo negro, para el cual  $\varepsilon = 1$ . Otra importante propiedad relativa a la radiación de una superficie es su absorptividad ( $\alpha$ ), la cual es la fracción de la energía de radiación incidente sobre una superficie que es absorbida por ésta. Como la emisividad, su valor está en el intervalo  $0 \leq \alpha \leq 1$ . Un cuerpo negro absorbe toda la radiación incidente sobre él. Es decir, un cuerpo negro es un absorbente perfecto ( $\alpha = 1$ ) del mismo modo que es un emisor perfecto. En general, tanto  $\varepsilon$  como  $\alpha$  de una superficie dependen de la temperatura y de la longitud de onda de la radiación. La ley de Kirchhoff de la radiación afirma que la emisividad y la absorptividad de una superficie a una

temperatura y longitud de onda dadas son iguales. En muchas aplicaciones prácticas, las temperaturas de la superficie y de la Fuente de radiación incidente son del mismo orden de magnitud, y la absorptividad promedio de una superficie se considera igual a su emisividad promedio. La razón a la cual una superficie absorbe la radiación se determina a partir de la siguiente relación. (Cengel & Ghajar, 2011)

$$Q_{absorbida} = \alpha Q_{incidente} \quad (W) \quad (25)$$

Siendo  $Q_{incidente}$  es la razón a la cual la radiación incide sobre la superficie y  $\alpha$  es la absorptividad de la superficie. Para las superficies opacas (no transparentes), la parte de la radiación incidente no absorbida por la superficie se refleja. La diferencia entre las razones de la radiación emitida por la superficie y la radiación absorbida es la transferencia neta de calor por radiación. Si la razón de absorción de la radiación es mayor que la de emisión, se dice que la superficie está ganando energía por radiación. De lo contrario, se dice que la superficie está perdiendo energía por radiación. (Cengel & Ghajar, 2011)

En general, la determinación de la razón neta de la transferencia de calor por radiación entre dos superficies es un asunto complicado, ya que depende de las propiedades de las superficies, de la orientación de una con respecto a la otra y de la interacción del medio que existe entre ellas con la radiación. Cuando una superficie de emisividad  $\varepsilon$  y área superficial  $A_s$ , a una temperatura termodinámica  $T_s$ , está por completo encerrada por una superficie mucho más grande (o negra), a una temperatura termodinámica  $T_{alred}$ , y separada por un gas (como el aire) que no interfiere con la radiación, la razón neta de la transferencia de calor por radiación entre estas dos superficies se da por la siguiente ecuación: (Cengel & Ghajar, 2011)

$$Q_{rad} = \varepsilon \sigma A_s (T_s^4 - T_{alred}^4) \quad [W] \quad (26)$$

## 2.15. FUNDAMENTOS DE MECÁNICA DE FLUIDO

### 2.15.1. Rapidez de flujo de fluidos

Es la cantidad de fluido que fluye en un sistema por unidad de tiempo, se puede expresar en tres términos: rapidez de flujo de volumen, peso y masa. Cuyas ecuaciones y unidades se expresan en la tabla 2.1. (Mott, 2006)

- Rapidez de flujo de volumen (Q). - Es el volumen del flujo de fluido que pasa por una sección (A) por unidad de tiempo (s).
- Rapidez de flujo de peso (W). - Está relacionado con Q y el peso específico ( $\gamma$ ) del fluido.
- Rapidez de flujo de masa ( $\dot{m}$ ). - Está relacionada Q y la densidad ( $\rho$ ) del fluido.

**Tabla 3 Ecuaciones que describen la rapidez de flujo de fluidos**

Símbolo	Nombre	Definición	Unidades SI
Q	Rapidez de flujo de volumen	$Q = Av$	$m^3/s$
W	Rapidez de flujo de peso	$W = \gamma Q$	N/s
$\dot{m}$	Rapidez de flujo de masa	$\dot{m} = \rho Q$	Kg/s

Fuente. Mecánica de fluidos Mott. 4ta ed.

### 2.15.2. Ecuación de continuidad

La ecuación de continuidad no es más que un caso particular del principio de conservación de la masa. Se basa en que el caudal (Q) del fluido ha de permanecer constante a lo largo de toda la conducción. Dado que el caudal es el producto de la superficie de una sección del conducto por la velocidad con que fluye el fluido, tendremos que en dos puntos de una misma tubería se debe cumplir que el flujo de masa en la entrada debe ser igual al de la salida. (Mott, 2006)

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2$$

$$\rho_1 Q_1 = Q_2 \rho_2 \tag{27}$$

### 2.15.3. Ecuación general de energía

La ecuación general de la energía es una expansión de la ecuación de Bernoulli, que hace posible resolver problemas en los que se presentan pérdidas y adiciones de energía a lo largo del flujo de fluidos en conductor cerrados. En la ecuación de Bernoulli se muestra la adición de tres factores:  $h_A, h_R$  y  $h_L$  (Mott, 2006)

$$\frac{p_1}{\gamma} + z_1 + \frac{v_1^2}{2g} + h_A - h_R - h_L = \frac{p_2}{\gamma} + z_2 + \frac{v_2^2}{2g} \tag{28}$$

Donde:

$$z_1, z_2 = \text{Cabeza de elevación (m)}$$

- $p_1, p_2$  = Cabeza de presión (atm)
- $v_1^2, v_2^2$  = Cabeza de velocidad (m/s)
- $h_A$  = Energía añadida o agregada al fluido mediante un dispositivo mecánico como puede ser una bomba.
- $h_R$  = Energía removida o retirada del fluido mediante un dispositivo mecánico como podría ser un motor de fluido
- $h_L$  = Pérdida de energía por parte del sistema, debida a fricción en los conductos, o pérdidas menores debidas a la presencia de válvulas y conectores.

#### 2.15.4. Sistema de control automático

El control automático ha desempeñado un papel vital en el avance de la ingeniería y la ciencia. El control automático se ha convertido en una parte importante e integral en los sistemas de vehículos espaciales, en los sistemas robóticos, en los procesos modernos de fabricación y en cualquier operación industrial que requiera el control de temperatura, presión, humedad, flujo, etc. Es deseable que la mayoría de los ingenieros y científicos estén familiarizados con la teoría y la práctica del control automático. (Ogata, 2010)

#### 2.15.5. Elementos de control

Los elementos de control están conformados por:

1. Sensor, que también se conoce como elemento primario.
2. Transmisor, el cual se conoce como elemento secundario.
3. Controlador, que es el “cerebro” del sistema de control.
4. Elemento final de control, frecuentemente se trata de una válvula de control, aunque no siempre. Otros elementos finales de control comúnmente utilizados son las bombas de velocidad variable, los transportadores y los motores eléctricos. (Smith & Corripio, 1991)

La importancia de estos componentes estriba en que realizan las tres operaciones básicas que deben estar presentes en todo sistema de control; estas operaciones son:

1. Medición (M): la medición de la variable que se controla se hace generalmente mediante la combinación de sensor y transmisor.

2. Decisión (D): con base en la medición, el controlador decide qué hacer para mantener la variable en el valor que se desea.
3. Acción (A): como resultado de la decisión del controlador se debe efectuar una acción en el sistema, generalmente ésta es realizada por el elemento final de control.

## CAPITULO III

### METODOLOGIA DE INVESTIGACION

#### 3. METODOLOGÍA

En el presente proyecto optaremos por el método experimental para determinar valores reales por medio de mediciones directas y mediciones indirectas, como también se empleará ecuaciones que permiten encontrar valores teóricos para contrastar con los valores experimentales.

##### 3.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL AMBIENTE DE INVESTIGACIÓN

El departamento de Puno está ubicado en la parte sureste del territorio peruano entre los 13° 00' y 17° 08' latitud Sur y en los 71° 08' y 68° 50' longitud Oeste del meridiano de Greenwich, en un territorio de aproximadamente 72,000 km<sup>2</sup>, representa el 5.6% del territorio peruano, con una población de 1'200,000 habitantes, de los cuales el 60% es rural y el 40% es urbano. El 70% del territorio está situado en la meseta del Collao y el 30% ocupa la región amazónica. La capital del departamento es la ciudad de Puno, a orillas del lago Titicaca, el lago navegable más alto del mundo, a 3,810 m.s.n.m. Las principales ciudades son: Puno, Juliaca, Juli, Azángaro, Lampa y Ayaviri. (<http://www.enperu.org/donde-se-ubica-puno-geografia-ubicacion-puno-peru-sitios-turisticos-puno.html>)

##### 3.2. IMPLEMENTACIÓN DE LAS TERMAS SOLARES Y COSTOS

Consta en la disponibilidad de los siguientes recursos: económicos, materiales, herramientas, accesorios de instalación, mano de obra, y lo más importante los equipos a instalar. Los costos de implementación se muestran en el anexo 15.

### 3.3. IMPLEMENTACIÓN DE LOS ELEMENTOS DE CONTROL AUTOMÁTICO

- **El sensor de temperatura y nivel:** permite visualizar en la temperatura y el nivel del agua en el calentador solar. El modelo del sensor es el TK – 7, como se observa en la figura 3.1.



**Figura 19 Sensor de temperatura y nivel de agua, modelo TK-7**  
Fuente. Elaboración propia

- **El temporizador:** permitirá definir el tiempo de trabajo del sistema, se estima que las horas de trabajo desde las 9:00 am hasta la 1:00 pm, siendo cinco horas de calefacción.

El resto del día el agua recupera la temperatura de trabajo aproximadamente a 85°C, listos para almacenar y utilizar al día siguiente. De esta forma se garantiza el trabajo autónomo del sistema. Ver figura 3.2.



**Figura 20 Temporizador digital.**  
Fuente. Elaboración propia

- **La válvula motorizada (normalmente cerrado):** permitirá controlar el paso del agua en las horas indicadas, esta configuración (normalmente cerrado) se opta por la siguiente razón.
- Se envía la señal eléctrica a la válvula para que esta esté en estado abierto (ON) y cuando no hay señal retorna al estado cerrado (OFF), esta última parte garantiza de que la válvula siempre estará cerrada a pesar de que puede haber corte de energía y no se active por error. Ver figura 3.3



**Figura 21 Temporizador digital.**  
Fuente. Elaboración propia

### 3.4. OPERALIZACIÓN DE VARIABLES

De acuerdo con las hipótesis planteadas se pretende demostrar las siguientes expresiones:

- La temperatura de confort está en función al calor total necesario que se almacena en el ambiente, este calor almacenado también es conocido como carga térmica.

$$T^{\circ}_{confort} = f(Q) \quad (29)$$

- El flujo de calor está en función al flujo másico del agua en los radiadores.

$$\dot{Q}_{radiadores} = f(\dot{m}) \quad (30)$$

- El tiempo para alcanzar la temperatura de confort, está en función al flujo de calor por donde circula el aire.

$$t_{calefacción,ambiente} = f(\dot{m}_{aire,ambiente}) \quad (31)$$

$$\dot{m}_{aire,ambiente} = f(\dot{Q}_{radiador}) \quad (32)$$

### 3.5. CÁLCULOS DE INGENIERÍA

Para el análisis del sistema de calefacción, se dividirá en tres subsistemas:

- Sub Sistema(I), calentamiento del agua con energía solar.
- Sub Sistema (II), calefacción de un ambiente(biblioteca).
- Sub Sistema (III), recirculación del fluido caloportador.

#### 3.5.1. SUB SISTEMA I

##### 3.5.1.1. CALENTAMIENTO DEL AGUA CON ENERGÍA SOLAR

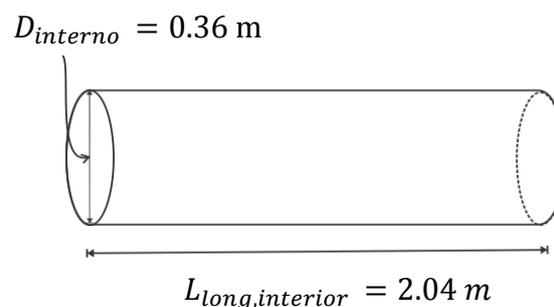
**PRIMERO: Cálculo de volumen agua y masa en el termotanque**

**Cálculo de volumen de agua**

Datos técnicos de la terma solar marca Davsol:

- Volumen del termotanque :  $V_{termotanque} = ?$
- Diametro interno del termotanque :  $D_{interno} = 0.36m$
- Longitud del termotanque :  $L_{long,interior} = 2.04m$

El termotanque es un cilindro puesto en forma horizontal, por lo tanto, se adapta a la ecuación del volumen de un cilindro:



$$V_{termotanque} = \frac{1}{4} * \pi * D_{interno}^2 * L_{long,interior}$$

Remplazando:

$$V_{termotanque} = \frac{1}{4} * 3.142 * (0.36)^2 * 2.04$$

$$V_{termotanque} = 0.2076m^3$$

$$V_{agua,termotanque} = V_{termotanque}$$

$$V_{agua,termotanque} = 0.2076 m^3 = 207.541 L$$

### Cálculo de la masa del agua

Según las propiedades de transferencia de calor del agua líquida, la densidad del agua a 16°C es  $998 \frac{kg}{m^3}$ . Apéndice A.2 (Geankoplis, 1998), ver Anexo N° 02

$$m_{agua,termotanque} = \rho_{agua,16^{\circ}c} * V_{agua,termotanque}$$

$$m_{agua,termotanque} = 998 \frac{kg}{m^3} * 0.2076m^3$$

$$m_{agua,termotanque} = 207.184 kg$$

### SEGUNDO: Cálculo de volumen y masa de agua en los tubos de vacío

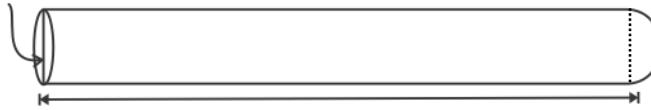
#### Cálculo de volumen en los tubos de vacío

Datos técnicos de los tubos de vacío de la marca Davsol son:

- Número de tubos : 50
- Espesor : 2 mm
- Diámetro exterior : 58 mm
- Diámetro interior : 47 mm
- Longitud : 1800 mm
- Longitud útil : 1650 mm

$$\text{El volumen de un tubo es: } V_{tubo,vacío} = \frac{1}{4} * \pi * D_{interior}^2 * L_{longitud,útil}$$

$$D_{interior} = 47 \text{ mm} = 0.047 \text{ m}$$



$$L_{lonitud,útil} = 1650 \text{ mm} = 1.65 \text{ m}$$

Remplazando:

$$V_{tubo,vacío} = \frac{1}{4} * \pi * (0.047)^2 * 1.65$$

$$V_{tubo,vacío} = 0.002863 \text{ m}^3$$

$$V_{agua,tubo-vacío} = V_{tubo,vacío}$$

$$V_{agua,tubo-vacío} = 0.002863 \text{ m}^3 = 2.863 \text{ L}$$

Una terma solar tiene 25 tubos de vacío, por lo tanto ( $V_{agua,}$ )

$$V_{agua,tubo-vacío} = 25 * 2.863 \text{ L}$$

$$V_{total-agua,tubo-vacío} = 71.575 \text{ L}$$

### Cálculo de la masa de agua en los tubos de vacío

Si la densidad del agua a 16°C es  $998 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ , entonces:

$$m_{agua,tubo-vacío} = \rho_{agua} * V_{agua,tubo-vacío}$$

$$m_{agua,tubo-vacío} = 998 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 0.002863 \text{ m}^3$$

$$m_{agua,tubo-vacío} = 2.857 \text{ kg}$$

Para 25 tubos de vacío ( $m_{agua \text{ total,tubos vacio}}$ )

$$m_{agua \text{ total,tubos vacio}} = 25 * 2.857 \text{ kg}$$

$$m_{agua \text{ total,tubos vacio}} = 71.425 \text{ kg}$$

**TERCERO: Cálculo del volumen y masa total de agua en las dos termas solares**

- El volumen del agua en las dos termas solares de 25 tubos es:

$$V_{agua,terma\ solar} = 2(V_{agua,termotanque} + V_{total-agua,tubo-vacio})$$

$$V_{agua\ total,terma\ solar} = 2(207.541L + 71.575L)$$

$$V_{agua\ total,terma\ solar} = 558.232L$$

- La masa total del agua en las dos termas solares de 25 tubos es:

$$m_{agua,terma\ solar} = 2(m_{agua,termotanque} + m_{agua\ total,tubos\ vacio})$$

$$m_{agua\ total,terma\ solar} = 2(207.184Kg + 71.425\ kg)$$

$$m_{agua\ total,terma\ solar} = 557.218\ kg$$

**CUARTO: Cálculo de energía útil acumulada por el agua en la terma solar**

- También denominado calor útil. En la tabla 3.6, se muestran el valor del  $\Delta T$  en 8 horas, entre  $22^{\circ}C$  y  $80^{\circ}C$ , el agua está en reposo. Entonces el calor específico a temperatura promedio  $(22+80)/2 = 51^{\circ}C$ , es  $4.182\ kJ/kg.^{\circ}C$ , Ver anexo N° 02, tabla 4.

**Tabla 4 Registro de  $\Delta T$  del agua en la terma solar**

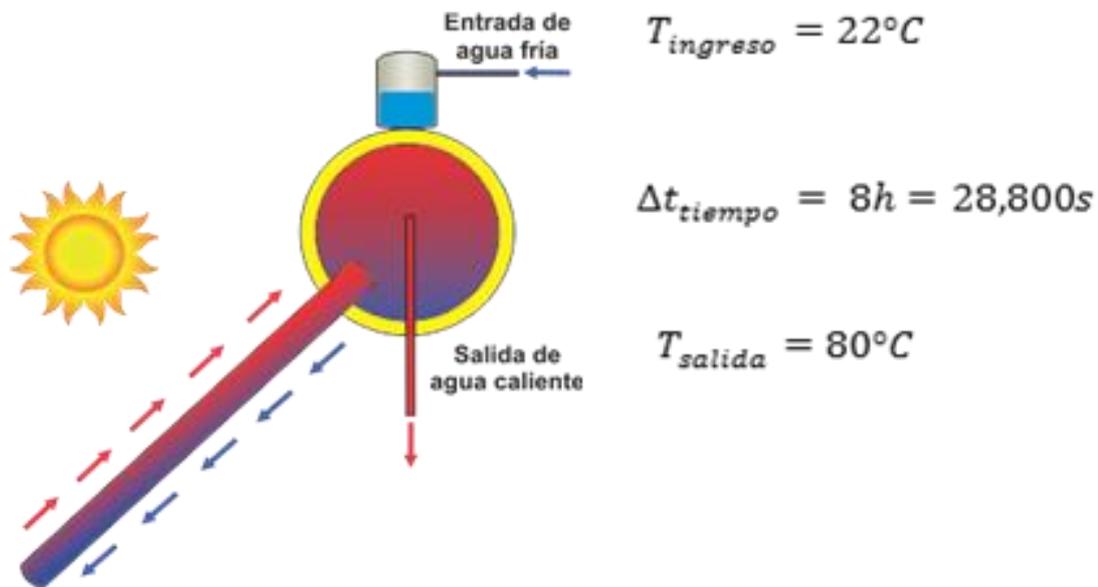
N° de muestras	Tiempo (h)	Temperatura ( $^{\circ}C$ )
1	7:00 a.m	$22^{\circ}C$
2	3:00 p.m	$80^{\circ}C$
3	$\Delta t = 8$ horas	$\Delta T = 80^{\circ}C - 22^{\circ}C = 58^{\circ}C$

**Fuente. Medición directa en la terma solar.**

- En la Figura 22, se muestra el esquema correspondiente a los datos:

$$T_{ingreso} = 22^{\circ}C ; T_{salida} = 80^{\circ}C ; C_{p,agua} = 4.182 \frac{KJ}{Kg^{\circ}C}$$

$$\Delta t_{tiempo} = 8h = 28,800s \text{ (ver horas de sol anual Anexo 6)}$$



**Figura 22** Terma solar en proceso de calentamiento  
Fuente. Medición experimental por los investigadores

- Calor útil acumulado:

$$Q_{\text{útil,agua}} = m_{\text{agua,terma solar}} * C_{e\text{agua}} * (T_{\text{salida}} - T_{\text{ingreso}})$$

$$Q_{\text{útil,agua}} = 557.218 \text{ kg} * 4.182 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} * (80 - 22)^\circ\text{C}$$

$$Q_{\text{útil,agua}} = 135\,221.569 \text{ kJ}$$

En 8h (28800s) la razón de flujo de calor absorbido ( $\dot{Q}_{\text{abs,agua}}$ ), se tiene:

$$\dot{Q}_{\text{abs,agua}} = \frac{135\,221.569 \text{ kJ}}{28\,800 \text{ s}}$$

$$\dot{Q}_{\text{abs,agua}} = 4.693 \text{ kW}$$

- En 8h (28800s) la razón de flujo másico de calentamiento ( $\dot{m}_{\text{agua}}$ ), se tiene:

$$\dot{m}_{\text{agua}} = \frac{557.218 \text{ kg}}{28,800 \text{ s}} = 0.01934 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

$$\dot{m}_{\text{agua}} = 19.348 \frac{\text{g}}{\text{s}}$$

**QUINTO: Cálculo de la energía absorbida por irradiación solar**

Se considera la irradiación promedio anual, (Anexo N° 09). Se muestra los datos de irradiación media anual en la región puno, por lo tanto, para efectos de cálculo se tomará el valor mínimo ( $5.25 \frac{kWh}{m^2}$ ) por cuestiones de seguridad y dimensionamiento.

$$\dot{Q}_{colectores} = \dot{Q}_{Irradiación} \quad (\alpha)$$

Donde:

$\dot{Q}_{colectores}$  = Calor absorbido por los colectores solares

$\dot{Q}_{Irradiación}$  = Calor por irradiación solar

$$I_{solar, anual\ promedio-Puno} = 5.25 \frac{kWh}{m^2}$$

- Cálculo del área de captación solar ( $A_c$ ).-  $A_c$ , es el área del colector solar constituido por de 50 tubos de vacío, es decir el área de incidencia de la irradiación, considerando que cualquiera que sea la ubicación del sol, solamente la radiación solar llegará a la mitad de los tubos de vacío, razón por la que solo se considera la mitad de la superficie cilíndrica de cada tubo de vacío para el cálculo de  $A_c$ .

$$A_c = \frac{\pi * D_c * L_c}{2} * n_{tubos}$$

Donde:

$D_c$  = Diametro externo del colector de tubos al vacío

$L_c$  = longitud util de tubos al vacío.

$n_{tubos}$  = Número de tubos al vacío

$$A_c = \frac{\pi * 0.058 * 1.65}{2} * 50$$

$$A_c = 7.512 \text{ m}^2$$

- Reemplazando en la ecuación ( $\alpha$ ), se tiene:

$$\dot{Q}_{colectores} = 5.25 \frac{kW.h}{m^2} * \frac{7.512 \text{ m}^2}{8h}$$

$$\dot{Q}_{colectores} = 4.930 \text{ kW}$$

- Haciendo una comparación con el resultado anterior

$$\dot{Q}_{abs,agua} = 4.693 \text{ kW} \text{ en la terma solar}$$

$$\dot{Q}_{colectores} = 4.930 \text{ kW} \text{ por la constante de la irradiación}$$

- Cálculo de la razón de flujo másico, para una absorción de **4.930 kW**.

$$4.930 \text{ kW} = \dot{m} * 4.182 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg} \cdot ^\circ\text{C}} * (80 - 22)^\circ\text{C}$$

$$\dot{m} = \frac{4.930 \frac{\text{kJ}}{\text{s}}}{4.182 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} * (80 - 22)^\circ\text{C}}$$

$$\dot{m} = 0.02032 \frac{\text{kg}}{\text{s}} = 20.324 \frac{\text{g}}{\text{s}}$$

#### SEXTO: Cálculo de costos de operación en el proceso de calentamiento

- En relación con la energía eléctrica, el costo de 1kW.h en promedio es de S/. 0.6174, entonces el costo de 4.921KW de energía en consumida en 8 horas es:

$$E = P.t$$

Donde:

$$\text{Energía consumida} : E = ?$$

$$\text{Potencia} : P = 4.693 \text{ kW}$$

$$\text{Tiempo de operación} : t = 8 \text{ h de calentamiento/día}$$

Entonces:

$$E = 4.693 \text{ kW} * 8 \text{ h/día}$$

$$E = 37.544 \text{ kW.h/día}$$

$$E = 37.544 \text{ kW.h/día} * 30 \text{ días}$$

$$E = 1126.8 \text{ kW.h (Energía consumida mensual)}$$

$$\text{Costo mensual} = \text{Energía consumida mensual} * \text{costo kW.h}$$

$$\text{Costo mensual} = 1126.8 \text{ kW.h} * \text{s/. } 0.617$$

$$\text{Costo mensual} = \text{s/. } 695.683$$

$$\text{Equivalente al día: S/. } 23.19$$

**Interpretación:** La energía absorbida por el agua para elevar la temperatura de 22°C a 80°C, es de 135221.206 KJ (4.695KW), esta energía se ha acumulado en 8h. Siendo el consumo diario de 37.56 KW.h el costo es de S/. 23.19. en comparación con la energía eléctrica.

### 3.5.2. SUBSISTEMA II

#### 3.5.2.1. CALEFACCIÓN DE UN AMBIENTE (BIBLIOTECA)

##### PRIMERO: Descripción del ambiente a calefaccionar

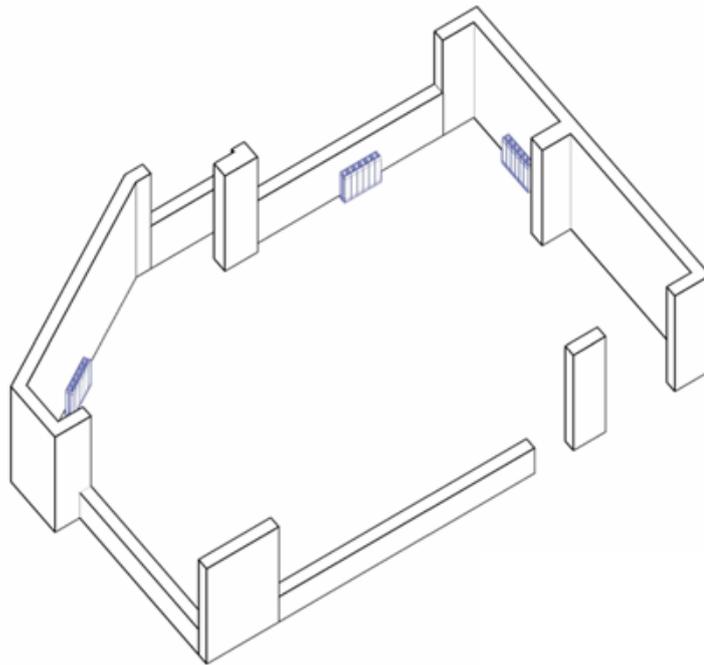
- El ambiente que calefaccionar es la biblioteca de la FIQ. Este ambiente tiene un volumen total de 245.31m<sup>3</sup>, ubicada a 3810 m.s.n.m. en donde la presión atmosférica media anual es de 64.31 kPa (ver Anexo N° 01).
- La temperatura en el interior del ambiente en estudio es de 15.5°C en promedio, esta temperatura experimental fue medido entre el mes de junio, julio, agosto, setiembre y octubre, por los investigadores.
- Comparando con los datos registrados por SENAMHI con un valor de 15.72°C que es la temperatura media anual, no hay mucha diferencia por lo que se asume la temperatura experimental. Siendo el objetivo principal de la investigación, calefaccionar el ambiente(biblioteca) hasta llegar a una temperatura promedio entre 18°C a 22°C.
- El aire en el ambiente (BIBLIOTECA), se calienta por medio de radiadores de agua caliente. Se debe determinar la cantidad de energía transferida al aire, para los casos de volumen contante y presión constante. Se asume las siguientes condiciones:

##### SEGUNDO: Cálculo de la masa de aire en el ambiente (biblioteca)

- **Condiciones:**
  1. El aire se considera como gas ideal con propiedades constantes. Por lo tanto, de aplica la ecuación de los gases ideales.

$$PV = \frac{m}{M} RT ; m = \frac{PV\bar{M}}{RT}$$

2. La temperatura de confort o temperatura de diseño es de 20°C en promedio.
  3. El volumen de aire es el volumen del ambiente (sistema cerrado).
  4. No se considera el volumen de los muebles y de las personas.
- **Propiedades del aire:** Los calores específicos del aire a la temperatura promedio de  $(15.5 + 19) / 2 = 17.75^\circ\text{C}$  son:  $C_p = 1.005\text{kJ/kg.K}$  y  $C_v = 0.7180\text{kJ/kg.K}$  (Tablas A1 y A15), VER Anexo N° 03



**Figura 23 Plano tridimensional de la biblioteca - FIQ**

Fuente. Elaborado por los investigadores.

Datos:

$$P = 64.31\text{kPa}$$

$$V = 245.31\text{ m}^3$$

$$\bar{M} = 28.97 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}}$$

$$T = 17.25 + 273 = 290.25\text{ K}$$

$$R = 8.31447 \frac{\text{kPa}\cdot\text{m}^3}{\text{kmol K}}$$

$$C_v = 0.7180 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}^\circ\text{C}}$$

$$C_p = 1.005 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}^\circ\text{C}}$$

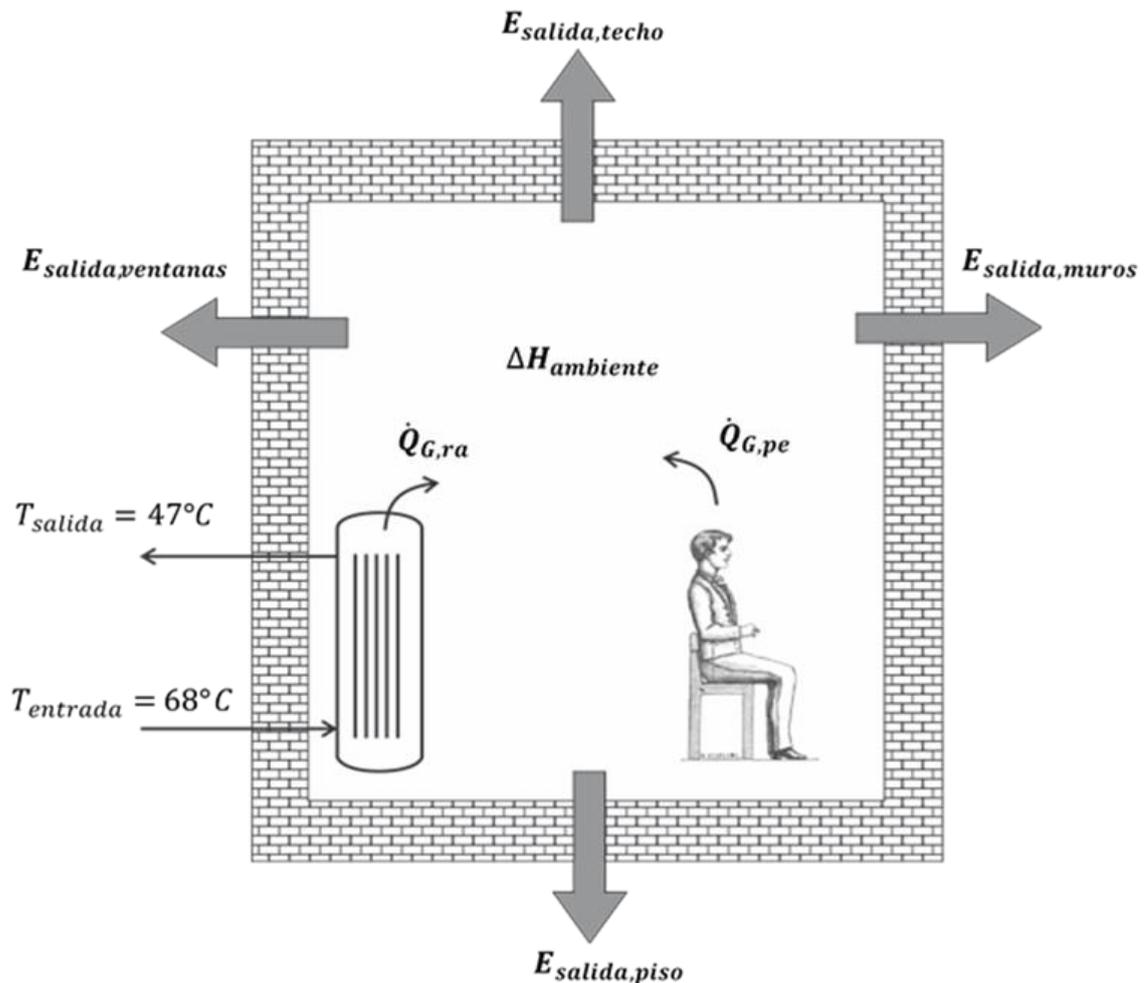
- Remplazando datos en la ecuación de los gases ideales, se tiene:

$$m = \frac{(64.31kPa)(245.31 m^3)(28.97 \frac{kg}{kmol})}{(8.315 \frac{kpa \cdot m^3}{kmol K})(290.25 K)}$$

$$m_{aire} = 189.369kg$$

**TERCERO: Balance de energía en el ambiente (biblioteca)**

La Figura 24, muestra el subsistema y las variables para realizar el balance de energía.



**Figura 24 Ambiente de investigación**  
Fuente. Elaborado por los investigadores

- Al aplicar el balance de energía al sistema se tiene:

$$E_{entrada} - E_{salida} = \Delta E_{ambiente} \quad (I)$$

- El incremento de la temperatura influye en el incremento de la entalpia en el interior del ambiente:

$$\Delta H_{ambiente} = Q_{entrada} - Q_{salida} \quad (II)$$

- **DEFINICIÓN DE ( $E_{entrada}$ )**

Es la cantidad de energía que se suministra al interior del sistema:

$$\dot{Q}_{entrada} = \dot{Q}_{G,ra y tub} + \dot{Q}_{G,per} + \dot{Q}_{G,ilu} + \dot{Q}_{G,elec} \quad (III)$$

$\dot{Q}_{G,ra y tub} =$  Ganancia de calor por los radiadores.

$\dot{Q}_{G,per} =$  Ganancia de calor por la personas.

$\dot{Q}_{G,ilu} =$  Ganancia de calor por iluminación eléctrica.

$\dot{Q}_{G,elec} =$  Ganancia de calor por artefactos eléctricos encendidos.

- **DEFINICIÓN DE ( $E_{salida}$ )**

Es la cantidad de calor que pierde el sistema:

$$\dot{Q}_{salida} = \dot{Q}_{P,mu} + \dot{Q}_{P,ve} + \dot{Q}_{P,te} + \dot{Q}_{P,pi} + \dot{Q}_{P,pu} + \dot{Q}_{P,re} + \dot{Q}_{P,in} \quad (IV)$$

$\dot{Q}_{P,mu} =$  Calor perdido por los muros.

$\dot{Q}_{P,ve} =$  Calor perdido por la ventanas.

$\dot{Q}_{P,te} =$  Calor perdido por el techo.

$\dot{Q}_{P,pi} =$  Calor perdido por el piso.

$\dot{Q}_{P,pu} =$  Calor perdido por las puertas.

$\dot{Q}_{P,re} =$  Calor perdido por renovación de aire.

$\dot{Q}_{P,in} =$  Calor perdido por infiltración

**CUARTO: Cálculo del calor generado por los radiadores:  $Q_{G,ra}$  y  $tub$** **Tabla 5 Registro Caudal en los conductos de calefacción**

Nº	Ángulo de apertura de la válvula de control	Caudal de salida en el tanque de recirculación	Tiempo de abastecimiento del agua caliente	Temperatura del agua entrada - salida a la (biblioteca)	Temperatura del agua en el termo tanque y tanque de recirculación
	% $\theta$	$V(\dot{L}/h)$	t(h)	( $T_{e,r} - T_{s,r}$ ) ° C	( $T_{c,i} - T_{s,e}$ ) ° C
1	6.25%	62.21	8.97	64 - 40 ° C	79 - 28
2	12.50%	68.24	8.18	65 - 42 ° C	79 - 33
3	18.75%	80.84	6.90	68 - 47 ° C	79 - 36
4	25.00%	105.46	5.29	70 - 48 ° C	80 - 43
5	50.00%	116.58	4.79	72 - 53 ° C	78 - 47
6	75.00%	125.87	4.43	74 - 55 ° C	78 - 50
7	100.00%	133.10	4.19	75 - 56 ° C	78 - 53

**Fuente. Elaborado por los investigadores**

Siendo:

 $\theta$  = Ángulo de apertura de la válvula de control (%). $\dot{V}$  = Caudal de salida en el tanque de circulación (L/h) $t$  = Tiempo de circulación del agua caliente (h) $(T_{e,r} - T_{s,r})$  = Gradiente de temperatura del agua entrada-salida a la biblioteca (recirculación) ° C $(T_{c,i} - T_{s,e})$  = Gradiente de temperatura del agua entre el termotanque y tanque de recirculación ° C**Consideraciones:**

- Cuando la válvula se abre a 18.75%, en los conductos de calefacción circula 80.84L/h, por lo tanto en 5 horas de trabajo  $(80.84 \text{ L/h}) \cdot 5\text{h}$  circula 404L  $(0.404\text{m}^3)$  de agua caliente, esta cantidad de agua se dispone en la terma solar.

- La densidad promedio del agua  $(68+47)/2$  a  $57.2^{\circ}\text{C}$  es  $984.45 \text{ Kg/m}^3$ . Por lo tanto, la masa del agua que fluye es

$$m_{\text{agua}} = \rho_{\text{agua}} * V_{\text{agua}}$$

$$m_{\text{agua}} = 984.45 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 0.404 \text{ m}^3$$

$$m_{\text{agua}} = 397.717 \text{ kg}$$

- Flujo másico en 5 h:

$$\dot{m}_{\text{agua,caliente}} = \frac{397.717 \text{ kg}}{18000 \text{ s}}$$

$$\dot{m}_{\text{agua,caliente}} = 0.022 \frac{\text{kg}}{\text{s}} = 22.1 \frac{\text{g}}{\text{s}}$$

- Datos: en la Figura 3.1, se muestra temperatura de entrada y salida del caloportador (agua).

$$T_{\text{entrada}} = 68^{\circ}\text{C} ; T_{\text{salida}} = 47^{\circ}\text{C} ; C_{p_{\text{agua}}} = 4.184 \text{ kJ/Kkg.}^{\circ}\text{C}$$

$$m_{\text{agua}} = 397.717 \text{ kg}$$

- Entonces:

$$Q_{G,ra y tub} = m_{\text{agua}} * C_{p_{\text{agua}}} * (T_{\text{entrada}} - T_{\text{salida}})$$

$$Q_{G,ra y tub} = 397.719 \text{ kg} * 4.184 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}^{\circ}\text{C}} (68 - 47)^{\circ}\text{C}$$

$$Q_{G,ra y tub} = 34945.182 \text{ kJ}$$

- **Interpretación: 34945.182 kJ** es la cantidad de energía calorífica que se transfiere al ambiente a razón de **1.941 kW**

$$\dot{Q}_{G,ra y tub} = \frac{34945.182 \text{ kJ}}{18000 \text{ s}}$$

$$\dot{Q}_{G,ra y tub} = 1.941 \frac{\text{kJ}}{\text{s}}$$

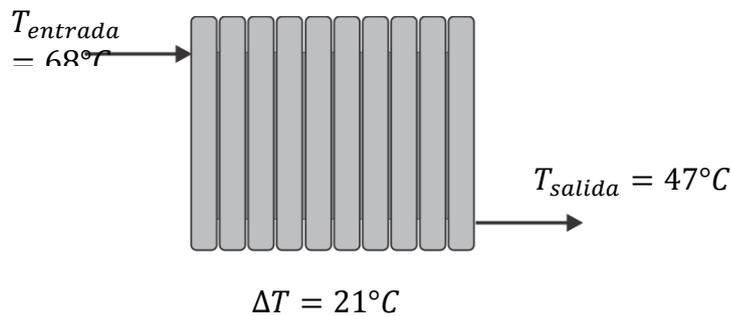
$$\dot{Q}_{G,ra y tub} = 1.941 \text{ kW}$$

- Se tiene tres radiadores, por lo tanto, un radiador genera:

$$\dot{Q}_{G,un\ radiador\ y\ tub} = \frac{1.941\ kW}{3}$$

$$\dot{Q}_{G,un\ radiador\ y\ tub} = 0.647\ kW$$

- Cálculo de la eficiencia del radiador baso en los datos técnicos de fábrica, indica que la potencia del radiador de 10 secciones; 1.87 KW a  $\Delta T = 70^{\circ}C$ . Ver anexo N°14.



Considerando:	Potencia	$\Delta T$	Eficiencia
Si :	1.870 kW	70°C	100%
Para :	<b>0.561 kW</b>	<b>21°C</b>	<b>30%</b>

**Interpretación:** Para una caída de temperatura de 21°C, el radiador genera 0.561 KW de energía calorífica lo que corresponde a 30% de eficiencia.

- Entonces el calor total generado por los radiadores ( $\dot{Q}_{G,total,rad}$ ) es

$$\dot{Q}_{G,total,rad} = 3 * 0.561\ kW$$

$$\dot{Q}_{G,total,rad} = 1.683\ kW$$

- Por lo tanto, el calor generado por los conductos de agua caliente en el interior del ambiente:

$$\dot{Q}_{G,total,rad} + \dot{Q}_{G,tubos} = \dot{Q}_{G,ra\ y\ tub}$$

$$\dot{Q}_{G,tubos} = \dot{Q}_{G,ra\ y\ tub} - \dot{Q}_{G,total,rad}$$

$$\dot{Q}_{G,tubos} = 1.941\ kW - 1.683\ kW$$

$$\dot{Q}_{G,tubos} = 0.258\ kW$$

**QUINTO: Calor generado por las personas ( $\dot{Q}_{G,pe}$ )**

Bajo las observaciones realizadas, el ambiente es ocupado por 17 personas en promedio entre las 9:00 am y las 12:00 m. Los datos de masa corporal y estatura de las personas son datos en promedio. El calor liberado por una persona depende de los índices metabólicos durante diversas actividades. En la tabla 1-7 ver anexo N° 13, se elige el tipo de actividad de los estudiantes en el ambiente de investigación.

Datos:

$$m_{\text{cuerpo promedio}} = 58\text{kg}$$

$$h_{\text{estatura, promedio}} = 1.55\text{m}$$

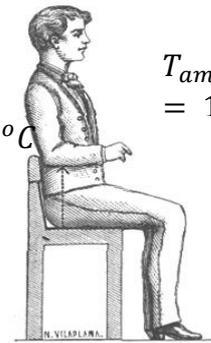
$$T_{\text{ambiente}} = 15.5^{\circ}\text{C}$$

$$T_{s, \text{corporal}} = 31^{\circ}\text{C}$$

$$N_{\text{personas, promedio}} = 17$$

$$T_{s, \text{corporal}} = 31^{\circ}\text{C}$$

$$T_{\text{ambiente}} = 15.5^{\circ}\text{C}$$



- Calor emitido por las personas:

**Tabla 6 energía liberada por una persona en promedio**

Actividad	Índice metabólico (Im) (W/m <sup>2</sup> )
Leer sentado	55
Escribir	60
<b>Promedio = 57.5 (W/m<sup>2</sup>)</b>	

Fuente. (Cengel & Ghajar, 2011), tabla 1-7, pag. 42, 4ta ed. 2011.

- Cálculo del área superficial de una persona en promedio:

$$A_s = 0,202 * m^{0.425} * h^{0.725}$$

$$A_s = 0,202 * (58)^{0.425} (1.55)^{0.725}$$

$$A_s = 1.465 \text{ m}^2$$

Entonces:  $\dot{Q}_{G,pe} = Im * A_s * N_{\text{personas, promedio}}$

$$\dot{Q}_{G,pe} = 57.5 \frac{W}{m^2} * 1.465 \text{ m}^2 * 17$$

$$\dot{Q}_{G,pe} = 1432.038 \text{ W}$$

$$\dot{Q}_{G,pe} = 1432.038 \frac{J}{s}$$

$$\dot{Q}_{G,pe} = 1.432 \text{ kW}$$

**Interpretación:** **1.432KW** es la razón de flujo de calor que liberan las 17 personas y el calor total en 5 h (18000 s) disipan **25,776.00 kJ**.

**SEXTO: Cálculo de las pérdidas de calor por transmisión o transferencia al exterior ( $\dot{Q}_{P,transmisión}$ )**

Tomando en consideración el *reglamento nacional de edificaciones*, se obtuvieron datos de coeficientes de transferencia global. Para la región Puno por ser considerada, zona alto-andina en la tabla 3.3 se muestra las pérdidas de calor por transmisión por los diferentes tipos de cerramientos. (Norma EM.110 Confort Térmico y Lumínico con eficiencia energética” Anexo N° 5)

**Tabla 7 valores de coeficiente globales de transmisión de calor para zonas altoandinas.**

Nº Datos	Descripción	U (Coeficiente global de transmisión de calor) W/m <sup>2</sup> K
1	Vidrio simple de ventanas (6mm)	5.8
2	Puerta corta fuego de dos hojas	1,9
3	Transmitancia máxima del muro	1.0
4	Transmitancia máxima del techo	0.83
5	Transmitancia máxima del piso	3.26

**Fuente. Reglamento Nacional de Edificaciones – confort térmico**

- La carga térmica recibida el recinto se calcula mediante la ecuación VIII, citada anteriormente:

$$\dot{Q}_{P,transmisión} = U * A * (T_{diseño} - T_{exterior})$$

La única alteración en este caso es la diferencia de temperatura, puesto que estas mediciones se realizaron con el sistema encendido cuando el flujo de agua caliente circulaba por los radiadores y considerando los valores de U en la tabla 3.2. valores de coeficiente globales de transmisión de calor para zonas altoandinas.

En la tabla 8, se encuentra las pérdidas de carga térmica experimentales por los cerramientos al exterior.

**Tabla 8 Pérdidas de carga térmica al exterior.**

No datos	DESCRIPCIÓN	ORIENTACIÓN	ANCHURA	ALTURA	AREA	CONFICIENTE DE TRANSMISIÓN	GRADIENTE DE TEMPERATURA (T°interior - T°exterior)			CARTAGA TERMICA (PÉRDIDA)
			L (m)	H (m)			T°interior	T°exterior	ΔT °C	Q(total) (W)
1	Muro	N	0.47	4.10	1.927	1	19	15.5	3.50	6.74
2	Muro	N	1.02	3.16	3.223	1	19	15.5	3.50	11.28
3	Muro	N	1.57	3.16	4.961	1	19	15.5	3.50	17.36
4	Muro	NE	4.65	3.16	14.694	1	19	15.5	3.50	51.43
5	Muro	E	1.90	3.16	6.004	1	19	15.5	3.50	21.01
6	Muro	E	0.51	1.40	0.714	1	19	15.5	3.50	2.50
7	Muro	E	1.40	5.09	7.126	1	19	15.5	3.50	24.94
8	Muro	S	3.16	6.70	21.172	1	19	15.5	3.50	74.10
9	Muro	O	2.69	3.16	8.500	1	19	15.5	3.50	29.75
10	Muro	O	0.82	5.87	4.813	1	19	15.5	3.50	16.85
11	Muro	O	1.40	3.16	4.424	1	19	15.5	3.50	15.48
12	Ventana	N	2.83	4.10	11.603	5.8	19	15.5	3.50	235.54
13	Ventana	S	0.97	1.75	1.698	5.8	19	15.5	3.50	34.46
14	Ventana	S	1.75	5.09	8.908	5.8	19	15.5	3.50	180.82
15	Ventana	O	0.56	1.60	0.896	5.8	19	15.5	3.50	18.19
16	Ventana	O	2.34	6.77	15.842	5.8	19	15.5	3.50	321.59
17	Puerta	O	1.60	2.80	4.480	1.9	19	15.5	3.50	29.79
18	Techo	-	-	-	77.630	0.83	16.5	15.5	3.5	225.52
19	Piso	-	-	-	77.630	3.26	16.5	15.5	1.00	253.07
20	Otros	<b>Subtotal</b>								1570.00
10% de perdidas =										<b>157.04</b>
<b>Total =</b>										<b>1727.48 W</b>
										<b>1.727 KW</b>

**Fuente.** Elaborado por los investigadores

**Interpretación:** 1727.48W (1.727 kW) es la razón de flujo de energía que se pierde por los cerramientos (muros, ventanas, puerta, techo y piso) y la energía total en 5h(18 000s) de trabajo es de **31 086 kJ** de energía.

**SEPTIMO: Cálculo de pérdida de energía por renovación de aire ( $\dot{Q}_{p,re}$ )**

- La ecuación IX, determinara el flujo de calor perdido por renovación:

$$\dot{Q}_{p,re} = \dot{m}_{ren} * C_p * (T_{diseño} - T_{exterior}) \quad (IX)$$

Siendo:

$\dot{m}_{ren}$  = Flujo másico de aire por renovación (kg/s)

$C_p$  = Calor específico del aire (1.005 kJ/kg °C)

$T_{diseño}$  = Temperatura de diseño en el interior del ambiente (biblioteca).

$T_{exterior}$  = Temperatura en el exterior o zona adyacente sin climatizar.

$\rho_{aire}$  = 0.777 kg/m<sup>3</sup> densidad del aire a temperatura promedio y presión atmosférica local.

- Cálculo de la densidad de aire en condiciones locales a una presión atmosférica promedio de  $P = 64.31kPa$  y temperatura media anual de 15.5°C.

$$\rho_{aire,15.5^{\circ}C} = \frac{m_{aire}}{V_{aire}}$$

$$\rho_{aire,15.5^{\circ}C} = \frac{189.369 \text{ kg}}{245.31m^3}$$

$$\rho_{aire,15.5^{\circ}C} = 0.772 \frac{\text{kg}}{m^3}$$

- Cálculo del flujo másico del aire de renovación:

- La velocidad de aire local en promedio :  $v_{aire} = 2.25 \frac{m}{s}$

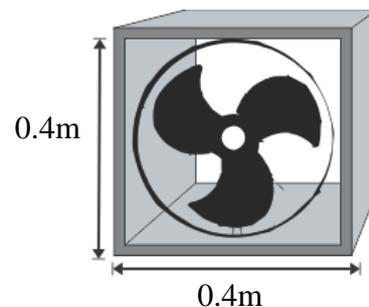
- La sección de ingreso del aire exterior :  $A_{flujo} = 0.16 m^2$

Remplazando a la ecuación:

$$\dot{m}_{aire,renv} = \rho_{aire} * A_{flujo} * v_{aire}$$

$$\dot{m}_{aire,renv} = 0.772 \frac{\text{kg}}{m^3} * 0.16 m^2 * 2.25 \frac{m}{s}$$

$$\dot{m}_{aire,renv} = 0.278 \frac{\text{kg}}{s}$$



- Por lo tanto, renovar 189.369Kg o 245.31m<sup>3</sup> de aire se tomará un tiempo de

$$t_{renv} = \frac{189.369Kg}{0.278 \frac{Kg}{s}} = 681.183 s$$

$$t_{renv} = \mathbf{11.353 min}$$

- Reemplazando en la ecuación IX:

$$\dot{Q}_{p,re} = 0.278 \frac{kg}{s} * 1.005 \frac{kJ}{kg \text{ } ^\circ C} * (20 - 15.5)^\circ C$$

$$\dot{Q}_{p,re} = 1.257 \frac{kJ}{s}$$

$$\dot{Q}_{p,re} = \mathbf{1.257 kW}$$

**Interpretación:** 1.257 kW es la razón de flujo de calor como pérdida del sistema por cada renovación de aire.

#### **OCTAVO: Cálculo calor por infiltración ( $\dot{Q}_{p,in}$ )**

Por recomendación de expertos, se asume que la carga térmica debida a infiltraciones será igual al 30 % de la carga térmica de renovación de aire:

$$\dot{Q}_{p,in} = 0.3 * \dot{Q}_{renovación}$$

$$\dot{Q}_{p,in} = 0.3 * 1.257 kW$$

$$\dot{Q}_{p,in} = \mathbf{0.377 kW}$$

#### **NOVENO: Análisis del sistema de calefacción en dos casos diferentes**

**CASO I:** Cuando se implementa directamente los equipos de calefacción con criterios técnicos con el objetivo de observar el comportamiento de los equipos y las necesidades de otros componentes que en el momento se requiere, la observación de todas las cargas térmicas de perdida y ganancia de energía y verificar el comportamiento de las variables de investigación que contempla el presente trabajo que finalmente nos ayudara a encontrar los parámetros para poder dimensionar para un caso específico de calefacción solar.

- **ANÁLISIS DE LA GANACIA DE ENERGÍA ( $\dot{Q}_{entrada}$ ):**

Según la ecuación III planteada anteriormente se tiene:

$$Q_{entrada} = Q_{G,ra y tub} + Q_{G,per} + Q_{G,ilu} + Q_{G,elec} \quad (III)$$

**Observaciones:**

$$Q_{G,ra y tub} = 1.941 \text{ kW}$$

$Q_{G,iluminación} = 0$ ; No están encendido las luces en las horas de trabajo.

$Q_{G,electricos} = 0$ , no existe artefactos eléctricos encendidos.

Entonces la ecuación III, se reduce a:

$$\dot{Q}_{entrada} = Q_{G,ra y tub} + \dot{Q}_{G,per} \quad (\alpha)$$

- **ANÁLISIS DE LAS PERDIDAS DE ENERGÍA ( $\dot{Q}_{salida}$ ):**

$$\dot{Q}_{salida} = \dot{Q}_{P,mu} + \dot{Q}_{P,ve} + \dot{Q}_{P,te} + \dot{Q}_{P,pi} + \dot{Q}_{P,pu} + \dot{Q}_{P,re} + \dot{Q}_{P,in} \quad (IV)$$

**Observaciones:**

$$\dot{Q}_{P,transmisión} = (\dot{Q}_{P,mu} + \dot{Q}_{P,ve} + \dot{Q}_{P,te} + \dot{Q}_{P,pi} + \dot{Q}_{P,pu}) = 1.727 \text{ kW}$$

El  $\dot{Q}_{P,re}$ , no se incluirá en la ecuación por no ser un flujo continuo durante el proceso, en este caso se considera como una variable exógena por las razones mencionadas.

$\dot{Q}_{P,in}$ , Por las condiciones del ambiente de investigación, posee una puerta el cual posee ranuras por donde existe infiltración.

Entonces la ecuación IV, se reduce a:

$$Q_{salida} = Q_{P,transmisión} + Q_{P,in} \quad (\beta)$$

- **ANÁLISIS DE ACUMULACIÓN DE ENERGÍA ( $\Delta E_{ambiente}$ ):**

El ambiente a calefaccionar no es un sistema completamente cerrado, posee ranuras por donde se infiltra el aire, por esta razón el  $\Delta E_{ambiente}$ , se expresa en términos de su entalpia ( $\Delta H_{ambiente}$ ), puesto que el calentamiento se realiza a presión constante, por lo tanto, es la energía que se acumula en el interior del ambiente por lo tanto:  $\Delta E_{ambiente} = \Delta H_{ambiente}$ . En la tabla 9 se muestra las mediciones experimentales realizadas en el interior del ambiente.

**Tabla 9 Registro de temperatura en el ambiente entre noviembre y junio 2016 - 2017**

N° de muestras	tiempo		Temperatura	Condiciones		
	t(h)	t(min)	ΔT			
1	8:30	510	15.8	Agua caliente al ambiente	$T_{entrada}$	68°C
2	9:00	540	16.50		$T_{salida}$	47°C
3	9:30	570	17.50	Flujo de calor del radiador	$\dot{Q}_{G,ra}$	1.941 kW
4	10:00	600	18.80			
5	10:30	630	19.10			
6	11:00	660	18.80			
7	11:30	690	19.10	Flujo de calor de las 17 personas	$\dot{Q}_{G,pe}$	1.432 KW
8	12:00	720	19.50			
9	12:30	750	19.90			
10	13:00	780	20.00			
11	13:30	810	20.40	Δt = 5h	300min	18000s
12	14:00	840	20.20			
				Salto térmico	ΔT	4.6 °C

Fuente. Medición experimental en el ambiente por los investigadores

- **CÁLCULO DE LA ENERGÍA ÚTIL DE CALENTAMIENTO DEL AIRE** ( $Q_{\text{útil,calefacción}}$ )

Al tener una masa de aire de 189.369 kg en el interior del ambiente y elevar la temperatura hasta 20.4°C desde 15.8°C.

$$Q_{\text{útil,calefacción}} = m_{\text{aire}} * C_{p\text{aire}} * (T_{\text{confort}} - T_{\text{inicial}})$$

$$Q_{\text{útil,calefacción}} = 189.369 * 1.005 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}^\circ\text{C}} * (20.4 - 15.8)^\circ\text{C}$$

$$Q_{\text{útil,calefacción}} = 875.453 \text{ kJ}$$

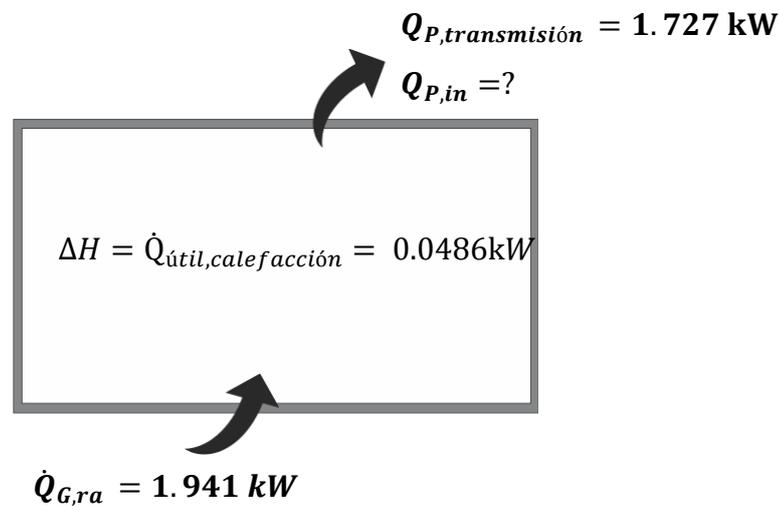
**Interpretación:** 875.453 kJ es la energía necesaria para alcanzar a la temperatura de confort de 20.4°C desde 15.8°C, esta temperatura se alcanza en 5h aproximadamente. Entonces el aire se calienta a razón de  $0.0486 \frac{\text{kJ}}{\text{s}}$  (0.0486KW).

La razón de flujo de calor en 5h (18000) de calefacción se tiene:

$$\dot{Q}_{\text{útil,calefacción}} = \frac{875.453 \text{ kJ}}{18000} = 0.0486 \frac{\text{kJ}}{\text{s}}$$

$$\dot{Q}_{\text{útil,calefacción}} = 0.0486 \text{ kW}$$

- En resumen, se tiene:



- **Reemplazando la ecuación (α) y (β) III, se obtiene la perdida de calor por infiltración:**

$$\Delta E_{\text{ambiente}} = E_{\text{entrada}} - E_{\text{salida}} \quad (\text{III})$$

$$\dot{Q}_{\text{útil,calefacción}} = Q_{G,ra \text{ y tub}} + \dot{Q}_{G,per} - (\dot{Q}_{P,transmisión} + \dot{Q}_{P,in})$$

$$0.0486 \text{ KW} = 1.941 \text{ KW} + 1.432 \text{ KW} - (1.727 \text{ kW} + Q_{P,in})$$

$$0.0486 \text{ KW} = 1.941 \text{ KW} + 1.432 \text{ KW} - 1.727 \text{ kW} - Q_{P,in}$$

$$\dot{Q}_{P,in} = 1.646 \text{ kW} - 0.0486 \text{ kW}$$

$$\dot{Q}_{P,in} = 1.6 \text{ kW}$$

- **ENERGÍA NECESARIA PARA ALCANZAR LA TEMEPRATURA DE CONFORT EN EL AMBIENTE(BIBLIOTECA)**

La siguiente ecuación permite visualizar el comportamiento del incremento de la temperatura frente a los cambios de energía interna en el ambiente de investigación.

En la tabla 10, se muestran valores teóricos obtenidos por la ecuación de  $Q_{\text{total,calefacción}}$  para diferentes cantidades de energía.

$$Q_{total,calefacción} = m_{aire} * C_{p_{aire}} * (T_{confort} - T_{inicial})$$

$$Q_{total,calefacción} = 189.369 * 1.005 \frac{kJ}{kg \cdot ^\circ C} * (T_{confort} - 15.5)^\circ C$$

$$T_{confort} = \frac{Q_{total,calefacción}}{190.316 \frac{kJ}{kg \cdot ^\circ C}} + 15.5^\circ C$$

**Tabla 10**  $T_{confort} = f(Q_{total,calefacción})$ , teórico

N° de muestras	Tiempo		$\dot{Q}_{\acute{u}til,calefacción} = 0.0486KW$	$T_{confort}$
	horas	segundos	$Q_{total,calefacción}$	(°C)
1	1	3600.00	174.960	16.42
2	2	7200.00	349.920	17.34
3	3	10800.00	524.880	18.26
<b>4</b>	<b>4</b>	<b>14400.00</b>	<b>699.840</b>	<b>19.18</b>
<b>5</b>	<b>5</b>	<b>18000.00</b>	<b>874.800</b>	<b>20.10</b>
6	6	21600.00	1049.760	21.02
7	7	25200.00	1224.720	21.94
8	8	28800.00	1399.680	22.85
9	9	32400.00	1574.640	23.77
10	10	36000.00	1749.600	24.69

Fuente. elaborado por los investigadores

**Tabla 11** Tiempo de calentamiento y salto térmico experimental en el ambiente de estudio

N° de muestras	Tiempo		T °C sin calefacción con 17 personas	T °C, con calefacción
1	1h	8:30 a.m.	15.50	15.8
2		9:00	16.00	16.50
3		9:30	16.60	17.50
4	2h	10:00	17.00	18.80
5		10:30	17.20	19.10
6		11:00	17.50	18.80
7	3h	11:30	17.30	19.10
8		<b>12:00 m</b>	<b>17.10</b>	<b>19.50</b>
9		12:30	17.50	19.90
10	4h	13:00	17.50	20.00
11		<b>13:30</b>	<b>16.30</b>	<b>20.40</b>
12		14:00 p.m.	16.60	20.20
			<b>2.0 °C</b>	<b>4.6 °C</b>
<b>Salto térmico=</b>			<b><math>\Delta T = 4.6 \text{ °C} - 2.0 \text{ °C} = 2.6 \text{ °C}</math></b>	

Fuente. elaborado por los investigadores

**Interpretación:** los resultados en la tabla 3.6 y 3.7 existe un margen de error de 1h en el tiempo de calentamiento entre los cálculos obtenidos teóricamente y los datos obtenidos experimentalmente.

**CASO II:** Cuando se pretende implementar los equipos de calefacción, antes se debe tener los parámetros significativos como las pérdidas de energía por diferentes medios, las ganancias de energía por diferentes mecanismos, es decir realizar un análisis del ambiente para luego dimensionar la capacidad de los equipos para un óptimo funcionamiento.

- **CÁLCULO DE LA CARGA TÉRMICA PARA EL AMBIENTE (BIBLIOTECA)**

En este caso se consideran todos los parámetros de calefacción, con las experiencias anteriores se puede estimar la cantidad de energía necesaria para un óptimo funcionamiento en la calefacción. Retomando las ecuaciones de balance de energía descritas anteriormente (CASO I) se tiene:

- **DEFINICIÓN DE ( $E_{entrada}$ ).** Es la ganancia de calor por los siguientes elementos.

$$\dot{Q}_{entrada} = \dot{Q}_{G,rad} + \dot{Q}_{G,per} + \dot{Q}_{G,ilu} + \dot{Q}_{G,elec}$$

Donde:

$$\dot{Q}_{G,rad} = \dot{\phantom{Q}}$$

$$\dot{Q}_{G,per} = 1.432 \text{ kW}$$

$$\dot{Q}_{G,ilu} = 0$$

$$\dot{Q}_{G,elec} = 0$$

*Remplazando valores:*

$$\dot{Q}_{entrada} = \dot{Q}_{G,rad} + 1.432 \text{ kW} \tag{i}$$

- **DEFINICIÓN DE ( $E_{salida}$ ).** Es la cantidad de calor perdido por los cerramientos:

$$\dot{Q}_{salida} = \dot{Q}_{P,mu} + \dot{Q}_{P,ve} + \dot{Q}_{P,te} + \dot{Q}_{P,pi} + \dot{Q}_{P,pu} + \dot{Q}_{P,re} + \dot{Q}_{P,in}$$

Donde:

$$\dot{Q}_{P,transmisión} = (\dot{Q}_{P,mu} + \dot{Q}_{P,ve} + \dot{Q}_{P,te} + \dot{Q}_{P,pi} + \dot{Q}_{P,pu}) = 1.727 \text{ kW}$$

$$\dot{Q}_{P,re} = 1.257 \text{ kW}$$

$$\dot{Q}_{P,in} = 0.377 \text{ kW}$$

Remplazando valores:

$$\dot{Q}_{salida} = \dot{Q}_{P,transmisión} + \dot{Q}_{P,re} + \dot{Q}_{P,in}$$

$$\dot{Q}_{salida} = 1.727 \text{ kW} + 1.257 \text{ kW} + 0.377 \text{ kW}$$

$$\dot{Q}_{salida} = \mathbf{3.361 \text{ kW}} \quad \text{(ii)}$$

- Cálculo del calor acumulado por el aire en el interior del ambiente.

$$\Delta H_{ambiente} = Q_{\text{útil,ambiente}} = 189.369 \text{ kg} * 1.005 \frac{\text{KJ}}{\text{kg}^\circ\text{C}} * (20 - 15.5)^\circ\text{C}$$

$$Q_{\text{útil,ambiente}} = 856.421 \text{ kJ}$$

- Se desea calefaccionar el ambiente en 1h, por lo tanto, la razón de absorción de energía es:

$$\dot{Q}_{ambiente} = \frac{856.421 \text{ kJ}}{3600}$$

$$\dot{Q}_{ambiente} = \frac{856.421 \text{ KJ}}{3600 \text{ s}} = 0.238 \frac{\text{kJ}}{\text{s}}$$

$$\dot{Q}_{ambiente} = \mathbf{0.238 \text{ kW}} \quad \text{(iii)}$$

Remplazando (i), (ii) y (iii) en la ecuación (III), se tiene

$$\dot{Q}_{entrada} = \dot{Q}_{ambiente} + \dot{Q}_{salida} \quad \text{(III)}$$

$$\dot{Q}_{G,rad} + 1.432 \text{ kW} = 0.238 \text{ kW} + 3.361 \text{ kW}$$

$$\dot{Q}_{G,rad} = \mathbf{2.167 \text{ kW} \cong 2.2 \text{ kW}}$$

- Asumiendo el 20% por seguridad:

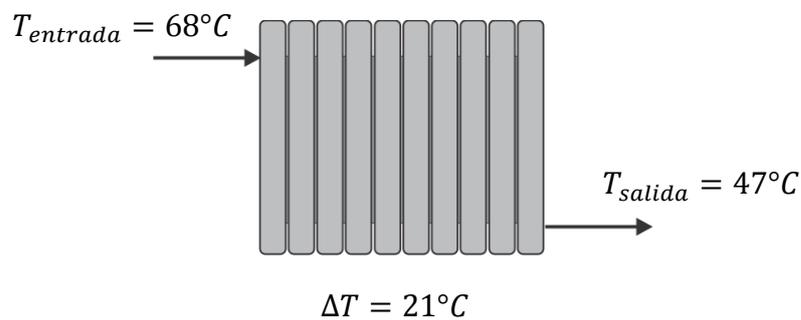
$$\dot{Q}_{G,rad} = 2.2 \text{ kW} + 2.2 \text{ kW} * 20\%$$

$$\dot{Q}_{G,rad} = \mathbf{2.64 \text{ kW}}$$

**Interpretación:** 2.64 KW, es la energía que debe emitir los radiadores, considerando 5h de trabajo se tiene:  $2.64KW \cdot 5h = 47520KJ$ . Este valor es la **carga térmica** total que se debe transferir al ambiente para mantener la temperatura d confort.

**DECIMO: Cálculo del flujo de agua y número de radiadores para un volumen de  $245.31 m^3$**

• **CÁLCULO DEL FLUJO DE AGUA**



$$\dot{Q}_{G,ra} = \dot{m}_{agua} * C_{p_{agua}} * (T_{entrada} - T_{salida})$$

$$2.64 kW = \dot{m}_{agua} * 4.184 \frac{kJ}{kg^{\circ}C} (68 - 47)^{\circ}C$$

$$\dot{m}_{agua} = \frac{2.64 kW}{4.184 \frac{kJ}{kg^{\circ}C} (68 - 47)^{\circ}C}$$

$$\dot{m}_{agua} = 0.03 \frac{kg}{s}$$

• **REQUERIMIENTO PARA CALEFACCIONAR UN VOLUMEN DE  $245.31 m^3$ :**

- Razón de flujo másico del gua es de :  **$0.03 \frac{kg}{s}$**
- Razón de flujo de volumen :  **$30.473 ml/s$**
- Cantidad de agua en  $(0.03 \frac{kg}{s} * 5h)$  :  **$540 Kg$  de agua**
- Volumen de agua necesario para un ciclo :  **$540 L$  de agua**

• **CÁLCULO DEL NÚMERO DE RADIADORES**

Datos de fábrica: potencia 1.87 KW a  $\Delta T = 70^{\circ}C$

Entonces el número de radiadores es:

$$N_{radiadores} = \frac{\dot{Q}_{G,rad}}{P_{rad,30\%}}$$

$$N_{radiadores} = \frac{2.64 \text{ kW}}{0.561 \text{ kW}}$$

$$N_{radiadores} = 4.7 \cong 5$$

• **MODELO MATEMÁTICO PARA ESTIMAR EL TIEMPO DE CALENTAMIENTO**

$$\Delta t = \frac{856.421}{\dot{Q}}$$

**Tabla 12 tiempo teórico para calentar el ambiente de 245.31m<sup>3</sup>**

N° de muestras	Energía (Q)	Tiempo	
	KW	Segundo (s)	Horas (h)
1	0.15	5709.473	1.59
2	0.18	4757.894	1.32
3	0.21	4078.195	1.13
<b>4</b>	<b>0.24</b>	<b>3568.421</b>	<b>0.99</b>
5	0.27	3171.930	0.88
6	0.30	2854.737	0.79
7	0.33	2595.215	0.72
8	0.36	2378.947	0.66
9	0.39	2195.951	0.61
10	0.42	2039.098	0.57

Fuente. elaborado por los investigadores

**3.5.3. SUBSISTEMA III**

**3.5.3.1. RECIRCULACIÓN DEL FLUIDO CALOPORTADOR (AGUA)**

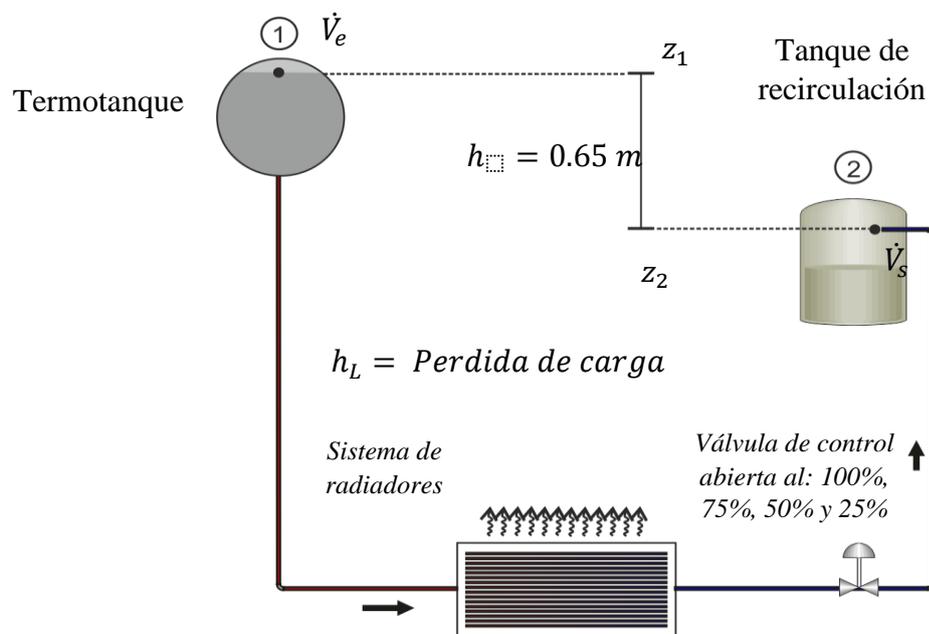
**PRIMERO: Condiciones de entrada y salida del fluido caloportador**

- **Condición 01:** Si  $\dot{V}_e = \dot{V}_s$  Fluirá mucha agua caliente y no disipará el calor correctamente por lo que no se observará una diferencia de temperatura entre la entrada y salida. Por lo tanto, el calor se disipará en el exterior sin beneficio y a

gran flujo de agua que circulara en los colectores solares, no podrán recuperar la temperatura rápidamente, esto ocasionará el descenso de temperatura en los calentadores solares.

- **Condición 02:** Si  $\dot{V}_e < \dot{V}_s$  Esto ocasionará una descompensación en cuanto al agua que se encuentra en los calentadores solares, es decir habrá mayor flujo de agua caliente en la salida, pero menor flujo de agua en la entrada del calentador solar.
- **Condición 03:** Si  $\dot{V}_e > \dot{V}_s$  Esta relación es lo ideal, de tal manera que el termotanque siempre mantendrá en nivel de agua en su interior para poder suministrar agua caliente a temperatura constante y flujo constante. Esta condición es muy importante.

El siguiente diagrama flujo permitirá visualizar las variables y los objetivo.



Fuente. Elaborado por los investigadores

## SEGUNDO: Cálculo de flujo másico del agua en los conductos de agua caliente

- Considerando los siguientes datos:
  - En la tabla 3.1, se muestra el resumen de las mediciones realizadas y los datos tomados de las seis mediciones experimentales, se encuentran en tabla N° 3.7, la recirculación es causada por la diferencia de altura de 0.65 m.

- $\dot{V}_{\text{circulación}} = 80.84 \text{ L/h}$  ( $22.22 \text{ ml/s}$ ) (Caudal de circulación en los conductos de agua caliente)
- Flujo másico óptimo de circulación del fluido (agua caliente) en el sistema. Este dato se calculará a partir de la ecuación de continuidad:

$$\dot{m} = \rho_{\text{agua}} \cdot \dot{V}_{\text{circulación}}$$

- El flujo de agua caliente la entrada se ha registrado tomaba valores de  $79^{\circ}\text{C}$  y en la salida el flujo de retorno se registraba en  $36^{\circ}\text{C}$ . Densidad del agua a  $57.5 \text{ C}$ , ver tabla anexo N° 02,  $\rho_{\text{agua}} = 976.47 \frac{\text{g}}{\text{L}}$

$$T_{\text{promedio}} = \frac{T_{e,\text{al recinto}} + T_{s,\text{del recinto}}}{2} = \frac{79+36}{2} = 57.5^{\circ}\text{C}$$

$$\dot{V}_{s,\text{circulación}} = 22.22 \frac{\text{ml}}{\text{s}} \cong 0.0222 \frac{\text{L}}{\text{s}}$$

- Remplazando:

$$\dot{m} = 976.47 \frac{\text{g}}{\text{L}} * 0.0222 \frac{\text{L}}{\text{s}}$$

$$\dot{m} = 21.697 \frac{\text{g}}{\text{s}} = 78.109 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

**TERCERO: Cálculo de pérdida de carga ( $h_L$ ) en todo el conducto que incluye: accesorios, tubería y radiadores**

- Aplicando la ecuación de energía, se tiene:

$$\frac{p_1}{\gamma} + z_1 + \frac{v_1^2}{2g} + h_A - h_R - h_L = \frac{p_2}{\gamma} + z_2 + \frac{v_2^2}{2g}$$

DATOS:

$$h_L = i?$$

$$z_1 - z_2 = h = 0.65\text{m}$$

$P_1 = P_2 = 0$ , puesto que ambos se encuentran a la superficie atmosférica.

$h_A = 0$ , no existe dispositivo que adicione energía al fluido.

$h_R = 0$ , no existe dispositivo que extraiga energía del fluido.

$v_1 = 0$ , la velocidad en el termotanque es insignificante.

$v_2$  = velocidad de flujo en circulación

- El conducto de agua caliente es de ½ pulg. Por lo tanto, tiene las siguientes dimensiones:

$$D_{\text{interior}} = 14.4 \text{ mm} \cong 0.0144 \text{ m}$$

$$A_{s,\text{conducto}} = \pi \frac{(D_{\text{interior}})^2}{4} = \pi \frac{(0.0144)^2}{4} = 0.00016286 \text{ m}^2$$

$$\dot{V}_{s,\text{circulación}} = 22.22 \frac{\text{ml}}{\text{s}} = 0.0222 \frac{\text{L}}{\text{s}} = 0.0000222 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$v_2 = \frac{\dot{V}_{s,\text{circulación}}}{A_{s,c}}$$

$$v_2 = \frac{0.00001668 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{0.0000222 \text{ m}^2}$$

$$v_2 = \mathbf{0.751 \frac{m}{s}}$$

- Con los datos anteriores, la ecuación de energía queda reducida a:

$$z_1 + \frac{v_1^2}{2g} - h_L = z_2 + \frac{v_2^2}{2g}$$

$$h_L = (z_1 - z_2) - \frac{v_2^2}{2g}$$

$$h_L = 0.65 - \frac{0.0.751^2}{2 \cdot 9.81}$$

$$h_L = \mathbf{0.621 \text{ m}}$$

**Interpretación:** Este resultado adicional, es la pérdida de carga a lo largo del conducto, accesorios y los radiadores, puesto que el flujo de agua es muy lento, no es tan apreciable la pérdida de carga.

- Respecto a la temperatura del ambiente interior y exterior, se realizaron mediciones entre los meses de octubre a diciembre del 2016 y parte de enero y febrero del 2017. Se registró una temperatura promedio de 15,5°C tanto en el ambiente interno y externo.

## CAPITULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIONES

#### 4. RESULTADOS

De acuerdo a los objetivos planteados, se llegaron a los siguientes resultados.

##### 4.1. PRIMERO:

##### 4.1.1. IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE CALEFACCIÓN SOLAR

Se logró implementar por completo el sistema de calefacción solar: se instaló dos termas solares de 25 tubos de vacío en la azotea de la FIQ de la UNA, cuya capacidad es de 279 L cada uno. Como se muestra en la Figura 25



Figura 25 implementación de termas solares en la FIQ

**A:** Se instaló tres radiadores de agua caliente con los respectivos accesorios como se muestra en la Figura 26



**Figura 26 Implementación de termas solares en la FIQ.**

**B:** Se implementó el sistema de control automático, ver Figura 27



**Figura 27 Tablero de control en la FIQ.**

C: Se implementó el sistema de control del flujo de agua caliente con una válvula motorizada de ½ pulg. ver Figura 28



**Figura 28 implementación de termas solares en la FIQ.**

**4.2. SEGUNDO:**

**4.2.1. RESULTADOS EN EL SUBSISTEMA DE CALENTAMIENTO DE AGUA**

Se determinó la cantidad de energía acumula en 8 horas de calentamiento, el flujo másico del agua, el porcentaje de radiación absorbida por el colector y el costo equivalente a la electricidad para calentar el agua.

**Observación:** En el cuadro N° 13, se muestra resultados de la cantidad de calor absorbida por el agua.

**Tabla 13 resumen de la energía absorbida por el agua.**

MÉTODO DE CÁLCULO	$Q_{absorbido,agua}$	$\dot{Q}_{absorbido,agua}$	$\dot{m}_{agua,terma}$
Terma solar ( $Q = mCe\Delta T$ )	135221.206 kJ	4.695 kW	19.348 g/s
Balance por irradiación (5.25kW.h/m <sup>2</sup> )	141724.80 kJ	4.921 kW	20.278 g/s

**Interpretación:**

Respecto al calentamiento del agua en la terma solar, se logró acumular 135221.206 kJ de energía por cálculos termodinámicos experimentales con el 95% de la irradiación solar (5.25 kWh/m<sup>2</sup>).

- La energía absorbida (135221.206 kJ) por el agua, para elevar la temperatura de 22°C a 80°C, es de 4.695kW, esta energía se ha acumulado en 8h. Por lo tanto, elevar la temperatura de agua de 22°C a 80°C tiene un costo de S/. 23.19 considerando el costo del kW.h es de S/. 0.6174
- los colectores solares absorbieron el 95% de irradiación solar con pérdidas del 5% por reflexión entre otros factores.

**4.3. TERCERO:****4.3.1. RESULTADOS EN EL SUBSISTEMA DE CALEFACCIÓN DEL AMBIENTE (BIBLIOTECA)**

En el caso I se hizo el análisis de la ganancia y las pérdidas de calor: la ganancia de energía calorífica fue de 1.941 kW por el flujo de agua en los radiadores y el aporte de energía de las 17 personas fue de 1.432 kW, en cuanto a las pérdidas de energía por transmisión o transferencia al exterior del ambiente es de 1.727 kW y con pérdidas de filtración de 1.6 kW, estos datos permitieron dimensionar las cantidades necesarias como los radiadores y cantidad de agua que debe fluir para mantener el confort térmico de 20°C.

- La energía útil de calentamiento del aire ( $Q_{\text{útil, calefacción}}$ ) es:

$$Q_{\text{útil, calefacción}} = 875.453 \text{ kJ}$$

**Interpretación:** 875.453 KJ es la energía necesaria para alcanzar a la temperatura de confort de 20.4°C desde 15.8°C, esta temperatura se alcanza en 5h aproximadamente. Entonces el aire se calienta a razón de  $0.0486 \frac{\text{KJ}}{\text{s}}$  (0.0486KW).

- La razón de flujo de calor útil en 5h (18000) de calefacción se tiene:

$$\dot{Q}_{\text{útil,calefacción}} = 0.0486 \text{ kW}$$

- La pérdida de calor por infiltración es:  $\dot{Q}_{p,in} = 1.6 \text{ KW}$
- Modelo matemático para determinar la energía necesaria para alcanzar la temperatura de confort en el ambiente (biblioteca) en la tabla 3.10, se muestran valores teóricos obtenidos por la ecuación de  $Q_{\text{total,calefacción}}$  para diferentes cantidades de energía.

$$T_{\text{confort}} = \frac{Q_{\text{total,calefacción}}}{190.316 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg} \cdot ^\circ\text{C}}} + 15.5^\circ\text{C}$$

- Los resultados en la tabla 3.10 y 3.11 existe un margen de error de 1h en el tiempo de calentamiento entre los cálculos obtenidos teóricamente y los datos obtenidos experimentalmente.
- En el segundo caso, se estable teóricamente la cantidad de radiadores y la cantidad de agua que debe fluir para mantener el confort térmico de  $20^\circ\text{C}$  y con respaldo de datos registrados en la práctica, se tienen los siguientes resultados:

- **LA CARGA TÉRMICA PARA EL AMBIENTE (BIBLIOTECA)**

En este caso se consideran todos los parámetros de calefacción, con las experiencias anteriores se puede estimar la cantidad de energía necesaria para un óptimo funcionamiento en la calefacción. Retomando las ecuaciones de balance de energía descritas anteriormente (CASO I) se tiene:

- El requerimiento para calefaccionar un volumen de  $245.31 \text{ m}^3$  es:
  - Razón de flujo másico del agua es de :  $0.03 \frac{\text{Kg}}{\text{s}}$
  - Razón de flujo de volumen :  $30.473 \text{ ml/s}$

- Cantidad de agua en  $(0.03 \frac{Kg}{s} * 5h)$  : **540 kg de agua**
- Volumen de agua necesario para un ciclo : **548.53 L de agua**

• El número de radiadores en base a los datos de fábrica: potencia 1.87 KW a  $\Delta T = 70^{\circ}C$  y considerando la eficiencia a una caída de temperatura de  $21^{\circ}C$  se requieren 5 radiadores cada una de 10 secciones.

- El modelo matemático permitió estimar el tiempo de calentamiento del aire en el interior del ambiente.

$$\Delta t = \frac{856.421}{\dot{Q}}$$

**Tabla 14 tiempo teórico para calentar el ambiente de  $245.31m^3$**

N° de muestras	Energía (Q)	Tiempo	
	KW	Segundo (s)	Horas (h)
1	0.15	5709.473	1.59
2	0.18	4757.894	1.32
3	0.21	4078.195	1.13
<b>4</b>	<b>0.24</b>	<b>3568.421</b>	<b>0.99</b>
5	0.27	3171.930	0.88
6	0.30	2854.737	0.79
7	0.33	2595.215	0.72
8	0.36	2378.947	0.66
9	0.39	2195.951	0.61
10	0.42	2039.098	0.57

**Fuente. elaborado por los investigadores**

## CONCLUSIONES

- Se logró implementar un sistema de calefacción solar térmico controlado que permite acondicionar y mantener el confort de temperatura en un ambiente de la FIQ – UNA. Con un costo aproximado de S/. 10.000 nuevos soles.
- La energía calorífica transferida al ambiente permitió alcanzar la temperatura de confort, en entre 3 a 5 horas llegando al rango de temperatura entre 18 y 24 °C. en el ambiente de investigación de la FIQ-UNA. Registrando un salto térmico de 3°C.
- El flujo de calor de los radiadores de agua caliente aumento la energía calorífica necesario para alcanzar el confort de temperatura en un ambiente de la FIQ-UNA.
- Se han identificado los elementos de control para automatizar el tiempo de trabajo del sistema de calefacción por 5horas al día, en el ambiente de investigación de la FIQ-UNA.

## RECOMENDACIONES

Respecto al tema de investigación denominado “SISTEMA DE CALEFACCIÓN SOLAR TÉRMICO CONTROLADO PARA MANTENER EL CONFORT TÉRMICO EN UN AMBIENTE DE LA FIQ” encierra un sinfín de conocimientos en la transferencia de calor, para lo cual se sugieren las siguientes recomendaciones:

- Realizar mediciones en diferentes estaciones con instrumentos de precisión.
- En cuanto al recinto de investigación, mantener la puerta cerrada en la medida posible o cambiar la puerta de la biblioteca por puerta vaivén.
- Para no tener pérdidas mayores de calor, aislar mínimamente los muros techo y piso.
- En cuanto a las ventanas implementar un sistema de doble hoja.
- Comprobar nuevamente las hipótesis planteadas para tener resultados más fiables.
- Determinar los coeficientes de conducción y convección reales para resultados más exactos, puesto que en esta investigación los coeficientes mencionados se basaron en reglamentos de edificaciones.
- Realizar investigaciones sobre la aplicación generalizada de la energía solar.

**BIBLIOGRAFÍA**

- Arenas Sánchez, D. A., & Zapata Castaño, H. S. (2011). *Libro interactivo sobre energía solar y sus aplicaciones*. (Tesis de pregrado): Universidad Tecnológica de Pereyra, Colombia.
- BECARGAS. (28 de 01 de 2015). *RADIADORES DE AGUA*. Obtenido de <https://serviciosfontaneriamadrid.com/2015/01/28/radiadores-de-agua-todo-lo-que-deberias-saber/>
- Bird, R., & Stewart, W. (2006). *FENOMENOS DE TRANSPORTE*. MEXICO: LIMUSA WILEY.
- Camargo Macías, A. A. (2013). *Diseño y construcción de un colector solar con botellas reciclables pet y análisis comparativo con otros colectores*. (Tesis de Pregrado): Universidad Tecnológica de Pereyra, Escuela de Tecnología Mecánica. Colombia.
- Cengel, Y. A., & Boles, M. A. (2006). *TERMODINAMICA*. México D.F.: MCGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A.
- Cengel, Y., & Ghajar, A. (2011). *Transferencia de calor y masa*. Mexico: McGraw-Hill.
- EICA. (7 de 5 de 2017). *INERCIA TERMICA*. Obtenido de [https://www.ieca.es/reportaje.asp?id\\_rep=692](https://www.ieca.es/reportaje.asp?id_rep=692)
- Garcia A., J. (5 de 9 de 2015). *Ley de Newton de Enfriamiento y Calentamiento*. Obtenido de <https://es.scribd.com/doc/130296049/Ley-de-Newton-de-Enfriamiento-y-Calentamiento>

- Geankoplis, C. J. (1998). *Procesos de Transporte y Operaciones Unitarias*. 3a. Ed. Mexico: COMPAÑÍA EDITORIAL CONTINENTAL, S.A.
- Gonzales Valiente, C., & Ferrando Perez, R. (2013). *Instalaciones de climatización y ventilación*. Valencia: Concelleria de Cultura, Educacion y deporte.
- Holman, J. (1998). *Transferecia de calor*. Madrid: McGRAW-Hill/INTERAMERICANA.
- Jutglar, L., Miranda, A. L., & Villarubia, M. (2011). *Manual de Calefacción*. Madrid: Marcombo.
- Kern, D. Q. (1999). *Procesos de Transferencia de Calor*. 3a. ed. Mexico D.F.: McGRAW-HILL BOOK COMPANY.
- Kuroiwa H., C., & SENCICO. (4 de Junio de 2009). *Muro Trombe*. Obtenido de <http://www.sencico.gob.pe/transparencia/directivas/2009/ResGerGeneral04062009.pdf>
- Kyroiwa H., C., & SENCICO. (4 de Junio de 2009). *Muro Trombe*. Obtenido de <http://www.sencico.gob.pe/transparencia/directivas/2009/ResGerGeneral04062009.pdf>
- Laar, M., & Olortegui del Castillo, T. (6 de Marzo de 2014). *"ECOEFICIENCIA EN LAS ESCUELAS PÚBLICAS DEL PERÚ"*. Obtenido de <http://www.minam.gob.pe/proyecolegios/Ecolegios/contenidos/maletin/arquitectura/arquitectura-eco/EstudioPanoramico.pdf>
- Méndes Muñis, J. M., & Cuervo García, R. (2010). *Energía Solar Térmica*. Madrid: Fundacion Confemetal.

- Mott, R. (2006). *Mecánica de Fluidos*. 6a. ed. Mexico: Pearson educación.
- Natividad Alvarado, J. J., & Ocupa Florián, D. (5 de Noviembre de 2010). *¿LOS MUROS DE TROMBE SIRVEN EN EL PERU?* Obtenido de “IV Conferencia Latino Americana de Energía Solar (IV ISES\_CLA) y XVII Simposio Peruano de Energía Solar (XVII- SPES), Cusco, 1 -5.11.2010”:  
<http://fc.uni.edu.pe/mhorn/Cusco%202010.pdf>
- Ogata, K. (2010). *Ingeniería de Control Moderna*. 5a. ed. Madrid: PEARSON EDUCACION, S.A.
- Olivera Oliva, D. A. (2011). *Diseño energético de un suelo radiante para una sala de 12 m2, ubicada a 4000 m.s.n.m en Langui Cusco*. (tesis de Pregrado): Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima .
- Quadri, N. P. (1987). *Aire acondicionado y calefacción*. Buenos Aires: Alsina.
- REGLAMENTO NACIONAL DE EDIFICACIONES EM 110. Confort Térmico y Luminico con Eficiencia Energética. (13 de Mayo de 2014). *Diario Oficial el Peruano*. Obtenido de  
<http://busquedas.elperuano.com.pe/download/url/modifican-titulo-iii-del-reglamento-nacional-de-edificacione-ds-n-006-2014-vivienda-1082132-1>
- Restrepo, A. H., & Savogal, O. J. (XII). Diseño y construcción de un calentador solar de agua operando por termosifón. *Scientia et Technica*, 85-90.
- Román Gómez, P. (8 de Febrero de 2008). *Energía solar Térmica*. Obtenido de <https://es.slideshare.net/geopaloma/energa-solar-trmica>
- SENAMHI. (15 de JUNIO de 2003). *ATLAS DE ENERGIA SOLAR DEL PERU*. Obtenido de [http://www.senamhi.gob.pe/pdf/atlas\\_solar.pdf](http://www.senamhi.gob.pe/pdf/atlas_solar.pdf)

- Smith, C. A., & Corripio, A. B. (1991). *Control Automático de Procesos*. Mexico D.F.: Limusa S.A.
- Smith, J., Van Ness, H., & Abbot, M. (1997). *Introducción a la Termodinámica en Ingeniería Química. 5a. ed.* Mexico D.F: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A.
- SOTO, J. (26 de 6 de 2008). *SENSACIÓN TÉRMICA (II) - TASA DE ACTIVIDAD METABÓLICA*. Obtenido de SENSACIÓN TÉRMICA (II) - TASA DE ACTIVIDAD METABÓLICA
- UPONOR. (5 de 12 de 2015). *Aplicaciones de calefacción y climatización*. Obtenido de <http://www.construnario.com/diccionario/swf/26092/tarifa/sistemas%20de%20uelo%20radiante.pdf>
- Vercelli, A. (16 de Enero de 2013). *Energías como bienes comunes*. Obtenido de <http://www.energias.bienescomunes.org/2013/01/16/energia-termosolar-para-el-hogar/>
- VIVIENDA, M. D. (2006). *REGLAMENTO NACIONAL DE EDIFICACIONES*. PERU: EL PERUANO.

**ANEXOS**

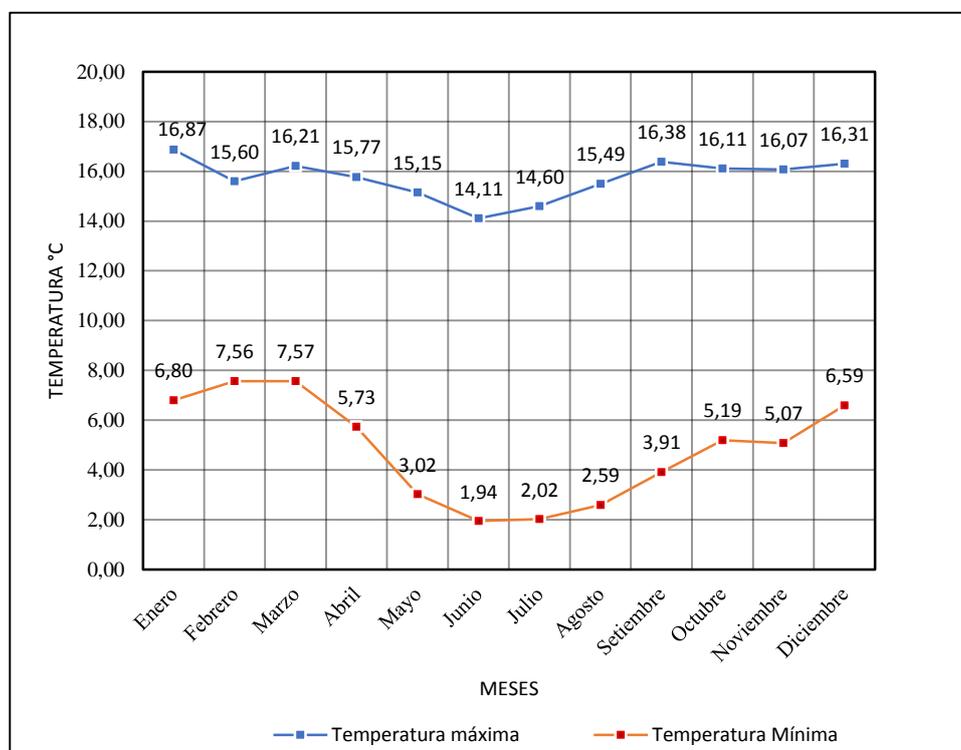
- ANEXO N° 01:** Resumen de datos de temperatura registrados en el año 2016 -Puno
- ANEXO N° 02:** Propiedades de transferencia del calor del agua líquida
- ANEXO N° 03:** Valor promedio anual de irradiación para la región puno.
- ANEXO N° 04:** Propiedades físicas del aire y agua
- ANEXO N° 05:** Norma em.110 confort térmico y lumínico con eficiencia energética
- ANEXO N° 06:** temperatuta fr confort térmico
- ANEXO N° 07:** Fotografías de la implementación del sistema térmico
- 07 – 1: Instalación de los colectores solares
  - 07 – 2: Instalación de los radiadores o disparadores de calor en el interior de la Biblioteca Especializada F.I.Q.
  - 07 – 3: Aislamiento de los conductores de agua caliente
  - 07 – 4: Aislamiento de los conductos de agua caliente y frio
- ANEXO N° 08:** Irradiación solar anual en la Región Puno - 2003
- ANEXO N° 09:** Irradiación solar promedio en la Región Puno
- ANEXO N° 10:** Diagrama de flujo del sistema de calefacción solar controlado
- ANEXO N° 11:** Cuadro de flujo del sistema de calefacción solar controlado
- ANEXO N° 12:** propiedades físicas del aire y agua
- ANEXO N° 13:** Índices metabólicos durante diversas actividades
- ANEXO N° 14:** Proforma INVOICE
- ANEXO N° 15:** Costos de implementación promedio para el sistema de calefacción solar

**ANEXO N° 01:** Resumen de datos de temperatura registrados en el año 2016 -Puno

**Resumen de datos de temperatura registrados en el año 2016 -Puno**

Meses	Temperatura		Humedad (%H)	Presión (Kpa)
	T <sub>min</sub>	T <sub>max</sub>		
Enero	16.87	6.80	53.30	63.78
Febrero	15.60	7.56	69.23	64.96
Marzo	16.21	7.57	51.43	63.84
Abril	15.77	5.73	55.76	63.74
Mayo	15.15	3.02	34.85	64.77
Junio	14.11	1.94	30.58	64.76
Julio	14.60	2.02	39.19	64.73
Agosto	15.49	2.59	35.38	64.23
Setiembre	16.38	3.91	39.02	64.46
Octubre	16.11	5.19	47.45	64.59
Noviembre	16.07	5.07	40.95	63.61
Diciembre	16.31	6.59	58.41	64.30
<b>Media anual</b>	<b>15.72</b>	<b>4.83</b>	<b>46.30</b>	<b>64.31</b>

Fuente. <http://puno.senamhi.gob.pe/web/>



**Fuente. SENAMHI - Oficina de Estadística – Estación Puno – 472DD33A**

**ANEXO N° 02:** Propiedades de transferencia del calor del agua líquida

Apéndice A.2 Propiedades físicas del agua

951

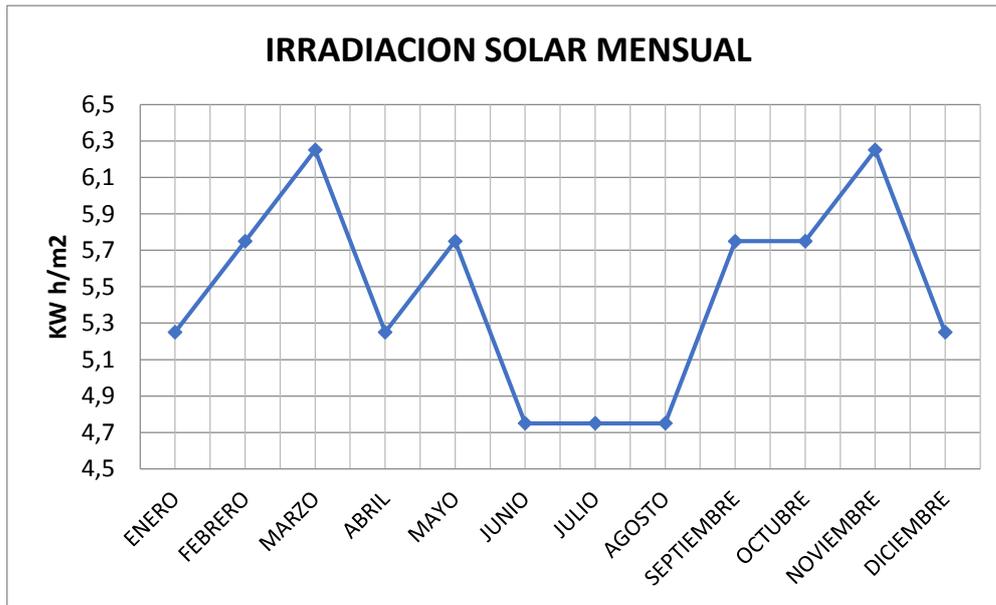
**A.2.11 Propiedades de transferencia de calor del agua líquida (UNIDADES SI)**

$T$ (°C)	$T$ (K)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$c_p$ (kJ/kg·K)	$\mu \times 10^3$ (Pa·s, o kg/m·s)	$k$ (W/m·K)	$N_{Pr}$	$\beta \times 10^4$ (1/K)	$(g\beta\rho^2/\mu^2) \times 10^{-8}$ (1/K·m <sup>3</sup> )
0	273.2	999.6	4.229	1.786	0.5694	13.3	-0.630	
15.6	288.8	998.0	4.187	1.131	0.5884	8.07	1.44	10.93
26.7	299.9	996.4	4.183	0.860	0.6109	5.89	2.34	30.70
37.8	311.0	994.7	4.183	0.682	0.6283	4.51	3.24	68.0
65.6	338.8	981.9	4.187	0.432	0.6629	2.72	5.04	256.2
93.3	366.5	962.7	4.229	0.3066	0.6802	1.91	6.66	642
121.1	394.3	943.5	4.271	0.2381	0.6836	1.49	8.46	1300
148.9	422.1	917.9	4.312	0.1935	0.6836	1.22	10.08	2231
204.4	477.6	858.6	4.522	0.1384	0.6611	0.950	14.04	5308
260.0	533.2	784.9	4.982	0.1042	0.6040	0.859	19.8	11030
315.6	588.8	679.2	6.322	0.0862	0.5071	1.07	31.5	19260

**ANEXO N° 03:** Valor promedio anual de irradiación para la región Puno

DEPARTAMENTO	PUNO		
LATITUD	13° 00' y 17° 08' latitud Sur		
LONGITUD	71° 08' y 68° 50' longitud Oeste del meridiano de Greenwich.		
ALTITUD	3827 m.s.n.m		
MES	IRRADIACIÓN (KWh/m <sup>2</sup> )		PROMEDIO
ENERO	5	5.5	5.25
FEBRERO	5.5	6	5.75
MARZO	6	6.5	6.25
ABRIL	5	5.5	5.25
MAYO	5.5	6	5.75
JUNIO	4.5	5	4.75
JULIO	4.5	5	4.75
AGOSTO	4.5	5	4.75
SEPTIEMBRE	5.5	6	5.75
OCTUBRE	5.5	6	5.75
NOVIEMBRE	6	6.5	6.25
DICIEMBRE	5	5.5	5.25
PROMEDIO ANUAL(KWh/m <sup>2</sup> )			5.46

Fuente. [http://deltavolt.pe/phocadownload/radiacion\\_anual.jpg](http://deltavolt.pe/phocadownload/radiacion_anual.jpg)



Fuente. [http://deltavolt.pe/phocadownload/radiacion\\_anual.jpg](http://deltavolt.pe/phocadownload/radiacion_anual.jpg)

ANEXO N° 04: Propiedades físicas del aire y agua

842  
APENDICE 1

TABLA A-1

Masa molar, gas constante y calores específicos de ciertas sustancias

Sustancia	Masa molar <i>M</i> , kg/kmol	Gas Constante <i>R</i> , kJ/kg · K*	Calores específicos a 25°C		
			<i>c<sub>p</sub></i> , kJ/kg · K	<i>c<sub>v</sub></i> , kJ/kg · K	<i>k</i> = <i>c<sub>p</sub></i> / <i>c<sub>v</sub></i>
Aire	28.97	0.2870	1.005	0.7180	1.400
Amoniaco, NH <sub>3</sub>	17.03	0.4882	2.093	1.605	1.304
Argón, Ar	39.95	0.2081	0.5203	0.3122	1.667
Bromo, Br <sub>2</sub>	159.81	0.05202	0.2253	0.1732	1.300
Isobutano, C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	58.12	0.1430	1.663	1.520	1.094
<i>n</i> -Butano, C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	58.12	0.1430	1.694	1.551	1.092
Carbono, bióxido de, CO <sub>2</sub>	44.01	0.1889	0.8439	0.6550	1.288
Carbono, monóxido de, CO	28.01	0.2968	1.039	0.7417	1.400
Cloro, Cl <sub>2</sub>	70.905	0.1173	0.4781	0.3608	1.325
Clorodifluorometano (R-22), CHClF <sub>2</sub>	86.47	0.09615	0.6496	0.5535	1.174
Etano, C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	30.070	0.2765	1.744	1.468	1.188
Etileno, C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	28.054	0.2964	1.527	1.231	1.241
Fluoruro, F <sub>2</sub>	38.00	0.2187	0.8237	0.6050	1.362
Helio, He	4.003	2.077	5.193	3.116	1.667
<i>n</i> -Heptano, C <sub>7</sub> H <sub>16</sub>	100.20	0.08297	1.649	1.566	1.053
<i>n</i> -Hexano, C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	86.18	0.09647	1.654	1.558	1.062
Hidrógeno, H <sub>2</sub>	2.016	4.124	14.30	10.18	1.405
Kriptón, Kr	83.80	0.09921	0.2480	0.1488	1.667
Metano, CH <sub>4</sub>	16.04	0.5182	2.226	1.708	1.303
Neón, Ne	20.183	0.4119	1.030	0.6180	1.667
Nitrógeno, N <sub>2</sub>	28.01	0.2968	1.040	0.7429	1.400
Óxido nítrico, NO	30.006	0.2771	0.9992	0.7221	1.384
Nitrógeno, bióxido de, NO <sub>2</sub>	46.006	0.1889	0.8060	0.6171	1.306
Oxígeno, O <sub>2</sub>	32.00	0.2598	0.9180	0.6582	1.395
<i>n</i> -Pentano, C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	72.15	0.1152	1.664	1.549	1.074
Propano, C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	44.097	0.1885	1.669	1.480	1.127
Propileno, C <sub>3</sub> H <sub>6</sub>	42.08	0.1976	1.531	1.333	1.148
Agua, H <sub>2</sub> O	18.015	0.4615	1.865	1.403	1.329
Sulfuro, bióxido de, SO <sub>2</sub>	64.06	0.1298	0.6228	0.4930	1.263
Tetraclorometano, CCl <sub>4</sub>	153.82	0.05405	0.5415	0.4875	1.111
Tetrafluoroetano (R-134a), C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> F <sub>4</sub>	102.03	0.08149	0.8334	0.7519	1.108
Trifluoroetano (R-143a), C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> F <sub>3</sub>	84.04	0.09893	0.9291	0.8302	1.119
Xenón, Xe	131.30	0.06332	0.1583	0.09499	1.667

\*La unidad kJ/kg · K es equivalente a kPa · m<sup>3</sup>/kg · K. La constante de gas se calcula de  $R = R_u/M$ , donde  $R_u = 8.31447$  kJ/kmol · K como el gas constante universal y  $M$  la masa molar.

Fuente: Valores de calores específicos se obtuvieron principalmente de rutinas de propiedad preparadas por The National Institute of Standards and Technology (NIST), Gaithersburg, MD.

**TABLA A-15**

Propiedades del aire a la presión de 1 atm

Temp., $T, ^\circ\text{C}$	Densidad, $\rho, \text{kg/m}^3$	Calor específico, $c_p, \text{J/kg} \cdot \text{K}$	Conductividad térmica, $k, \text{W/m} \cdot \text{K}$	Difusividad térmica, $\alpha, \text{m}^2/\text{s}^2$	Viscosidad dinámica, $\mu, \text{kg/m} \cdot \text{s}$	Viscosidad cinemática, $\nu, \text{m}^2/\text{s}$	Número de Prandtl, Pr
-150	2.866	983	0.01171	$4.158 \times 10^{-6}$	$8.636 \times 10^{-6}$	$3.013 \times 10^{-6}$	0.7246
-100	2.038	966	0.01582	$8.036 \times 10^{-6}$	$1.189 \times 10^{-5}$	$5.837 \times 10^{-6}$	0.7263
-50	1.582	999	0.01979	$1.252 \times 10^{-5}$	$1.474 \times 10^{-5}$	$9.319 \times 10^{-6}$	0.7440
-40	1.514	1 002	0.02057	$1.356 \times 10^{-5}$	$1.527 \times 10^{-5}$	$1.008 \times 10^{-5}$	0.7436
-30	1.451	1 004	0.02134	$1.465 \times 10^{-5}$	$1.579 \times 10^{-5}$	$1.087 \times 10^{-5}$	0.7425
-20	1.394	1 005	0.02211	$1.578 \times 10^{-5}$	$1.630 \times 10^{-5}$	$1.169 \times 10^{-5}$	0.7408
-10	1.341	1 006	0.02288	$1.696 \times 10^{-5}$	$1.680 \times 10^{-5}$	$1.252 \times 10^{-5}$	0.7387
0	1.292	1 006	0.02364	$1.818 \times 10^{-5}$	$1.729 \times 10^{-5}$	$1.338 \times 10^{-5}$	0.7362
5	1.269	1 006	0.02401	$1.880 \times 10^{-5}$	$1.754 \times 10^{-5}$	$1.382 \times 10^{-5}$	0.7350
10	1.246	1 006	0.02439	$1.944 \times 10^{-5}$	$1.778 \times 10^{-5}$	$1.426 \times 10^{-5}$	0.7336
15	1.225	1 007	0.02476	$2.009 \times 10^{-5}$	$1.802 \times 10^{-5}$	$1.470 \times 10^{-5}$	0.7323
20	1.204	1 007	0.02514	$2.074 \times 10^{-5}$	$1.825 \times 10^{-5}$	$1.516 \times 10^{-5}$	0.7309
25	1.184	1 007	0.02551	$2.141 \times 10^{-5}$	$1.849 \times 10^{-5}$	$1.562 \times 10^{-5}$	0.7296
30	1.164	1 007	0.02588	$2.208 \times 10^{-5}$	$1.872 \times 10^{-5}$	$1.608 \times 10^{-5}$	0.7282
35	1.145	1 007	0.02625	$2.277 \times 10^{-5}$	$1.895 \times 10^{-5}$	$1.655 \times 10^{-5}$	0.7268
40	1.127	1 007	0.02662	$2.346 \times 10^{-5}$	$1.918 \times 10^{-5}$	$1.702 \times 10^{-5}$	0.7255
45	1.109	1 007	0.02699	$2.416 \times 10^{-5}$	$1.941 \times 10^{-5}$	$1.750 \times 10^{-5}$	0.7241
50	1.092	1 007	0.02735	$2.487 \times 10^{-5}$	$1.963 \times 10^{-5}$	$1.798 \times 10^{-5}$	0.7228
60	1.059	1 007	0.02808	$2.632 \times 10^{-5}$	$2.008 \times 10^{-5}$	$1.896 \times 10^{-5}$	0.7202
70	1.028	1 007	0.02881	$2.780 \times 10^{-5}$	$2.052 \times 10^{-5}$	$1.995 \times 10^{-5}$	0.7177
80	0.9994	1 008	0.02953	$2.931 \times 10^{-5}$	$2.096 \times 10^{-5}$	$2.097 \times 10^{-5}$	0.7154
90	0.9718	1 008	0.03024	$3.086 \times 10^{-5}$	$2.139 \times 10^{-5}$	$2.201 \times 10^{-5}$	0.7132
100	0.9458	1 009	0.03095	$3.243 \times 10^{-5}$	$2.181 \times 10^{-5}$	$2.306 \times 10^{-5}$	0.7111
120	0.8977	1 011	0.03235	$3.565 \times 10^{-5}$	$2.264 \times 10^{-5}$	$2.522 \times 10^{-5}$	0.7073
140	0.8542	1 013	0.03374	$3.898 \times 10^{-5}$	$2.345 \times 10^{-5}$	$2.745 \times 10^{-5}$	0.7041
160	0.8148	1 016	0.03511	$4.241 \times 10^{-5}$	$2.420 \times 10^{-5}$	$2.975 \times 10^{-5}$	0.7014
180	0.7788	1 019	0.03646	$4.593 \times 10^{-5}$	$2.504 \times 10^{-5}$	$3.212 \times 10^{-5}$	0.6992
200	0.7459	1 023	0.03779	$4.954 \times 10^{-5}$	$2.577 \times 10^{-5}$	$3.455 \times 10^{-5}$	0.6974
250	0.6746	1 033	0.04104	$5.890 \times 10^{-5}$	$2.760 \times 10^{-5}$	$4.091 \times 10^{-5}$	0.6946
300	0.6158	1 044	0.04418	$6.871 \times 10^{-5}$	$2.934 \times 10^{-5}$	$4.765 \times 10^{-5}$	0.6935
350	0.5664	1 056	0.04721	$7.892 \times 10^{-5}$	$3.101 \times 10^{-5}$	$5.475 \times 10^{-5}$	0.6937
400	0.5243	1 069	0.05015	$8.951 \times 10^{-5}$	$3.261 \times 10^{-5}$	$6.219 \times 10^{-5}$	0.6948
450	0.4880	1 081	0.05298	$1.004 \times 10^{-4}$	$3.415 \times 10^{-5}$	$6.997 \times 10^{-5}$	0.6965
500	0.4565	1 093	0.05572	$1.117 \times 10^{-4}$	$3.563 \times 10^{-5}$	$7.806 \times 10^{-5}$	0.6986
600	0.4042	1 115	0.06093	$1.352 \times 10^{-4}$	$3.846 \times 10^{-5}$	$9.515 \times 10^{-5}$	0.7037
700	0.3627	1 135	0.06581	$1.598 \times 10^{-4}$	$4.111 \times 10^{-5}$	$1.133 \times 10^{-4}$	0.7092
800	0.3289	1 153	0.07037	$1.855 \times 10^{-4}$	$4.362 \times 10^{-5}$	$1.326 \times 10^{-4}$	0.7149
900	0.3008	1 169	0.07465	$2.122 \times 10^{-4}$	$4.600 \times 10^{-5}$	$1.529 \times 10^{-4}$	0.7206
1 000	0.2772	1 184	0.07868	$2.398 \times 10^{-4}$	$4.826 \times 10^{-5}$	$1.741 \times 10^{-4}$	0.7260
1 500	0.1990	1 234	0.09599	$3.908 \times 10^{-4}$	$5.817 \times 10^{-5}$	$2.922 \times 10^{-4}$	0.7478
2 000	0.1553	1 264	0.11113	$5.664 \times 10^{-4}$	$6.630 \times 10^{-5}$	$4.270 \times 10^{-4}$	0.7539

Vsta: Para los gases ideales, las propiedades  $c_p$ ,  $k$ ,  $\mu$  y Pr son independientes de la presión. Las propiedades  $\rho$ ,  $\nu$  y  $\alpha$  a una presión  $P$  (en atm) diferente de

ANEXO N° 05: Norma em.110 confort térmico y lumínico con eficiencia energética

523086

**NORMAS LEGALES**

El Peruano  
Martes 13 de mayo de 2014

d) En la celda ubicada en la intersección de la columna "S<sub>1</sub>" y de la fila donde se ha escrito el nombre del tipo de carpintería o marco, se coloca el área o superficie (espesor x perímetro), según diseño del proyecto. Unidad de medida: m<sup>2</sup>.

**Nota:** Para el caso de ventanas o mamparas, se entiende por perímetro de la carpintería a la fracción del vano ocupado por el marco.

e) En la celda ubicada en la intersección de la columna "U<sub>1</sub>" y de la fila donde se ha escrito el nombre del tipo de carpintería o marco, se coloca la transmitancia térmica, según se indica en la Tabla N° 7. Unidad de medida: W/m<sup>2</sup> K.

**Tabla N° 7: Transmitancia térmica según tipos de carpintería o marco de ventanas en muros tipo 1A**

Material	U (W/m <sup>2</sup> K) vertical
<b>Metálico</b>	
Sin rotura de puente térmico (Ver definición en el Capítulo 5. Glosario, numeral 5.50)	5,7
Con rotura de puente térmico, entre 4 y 12 mm	4,0
Con rotura de puente térmico, mayor a 12 mm	3,2
<b>Madera <sup>(1)</sup></b>	
Madera de densidad media alta <sup>1</sup> . Densidad: 700 kg/m <sup>3</sup>	2,2
Madera de densidad media baja <sup>1</sup> . Densidad: 500 kg/m <sup>3</sup>	2,0
<b>PVC <sup>(2)</sup></b>	

Material	U (W/m <sup>2</sup> K) vertical
PVC (dos cámaras) <sup>2</sup>	2,2
PVC (tres cámaras) <sup>2</sup>	1,8

- (1) Para conocer las densidades según el tipo de madera, ver Anexo N° 3 - Lista de características higrométricas de los materiales de construcción.
- (2) Dos cámaras quiere decir que el marco de PVC posee 2 cavidades de aire. Tres cámaras, quiere decir que posee 3 cavidades de aire. Dichas cavidades deberán ser mayores a 5 mm de espesor para ser consideradas como cámaras.

**Nota:** En caso se utilicen otros materiales para las ventanas que no están en el Anexo N° 3 – Lista de las características higrotérmicas de los materiales de la construcción o en la Tabla N° 7, deberán acreditarse los valores de transmitancia térmica por el fabricante o distribuidor.

f) En la celda ubicada en la intersección de la columna "S<sub>1</sub> x U<sub>1</sub>" y de la fila donde se ha escrito el nombre del tipo de carpintería o marco, se coloca el producto de la superficie o área S<sub>1</sub> (en m<sup>2</sup>) de cada tipo de carpintería o marco por la transmitancia térmica (U<sub>1</sub>). Unidad de medida: W / K.

g) En caso existan diferentes tipos de carpintería o marco, se debe agregar sucesivamente una fila debajo de la anterior y realizar el mismo procedimiento (Carpintería 2, Carpintería 3, etc.)

1.3 El resultado final de este Paso 4 es el llenado de la celda respectiva, con el resultado de la multiplicación de la superficie o área de cada tipo de carpintería o marco de ventana por sus respectivas transmitancias térmicas: S<sub>1</sub> x U<sub>1</sub>.

Hasta este paso, las celdas que se han debido llenar son las siguientes:

Elementos	Espesor (m)	Cantidad	Perímetro (m)	RST/RCA (m <sup>2</sup> °C/W)	Coef. de transmisión térmica k (W/m °C)	S <sub>1</sub>	U <sub>1</sub>	S <sub>1</sub> x U <sub>1</sub>
<b>Ventanas</b>								
Tipo de vidrio:								
Vidrio 1	X					X	X	X
Vidrio 2, etc.	X							
<b>Tipo de carpintería del marco</b>								
Carpintería 1	X		X			X	X	X
Carpintería 2, etc.	X		X					

**Nota:** En el cálculo manual, el usuario deberá colocar el espesor de los vidrios y de las carpinterías. En la hoja de cálculo, los espesores ya están incluidos en las definiciones de los elementos.

**2. Puertas: Calcular la transmitancia térmica de puertas que separan el interior de la edificación con el ambiente exterior**

2.1 Para hallar la transmitancia térmica (U) del tipo de puerta

a) Llenar la celda "Puerta 1" ubicada debajo de "Tipo de puerta", escribiendo el nombre del tipo de puerta y precisando el material de la hoja de la puerta, así como su marco o carpintería. (Ejemplo: Puerta maciza de madera tornillo y marco de madera tornillo).

b) En la celda ubicada en la intersección de la columna "S<sub>1</sub>" y de la fila donde se ha escrito el nombre del tipo de puerta, se coloca el resultado de la suma de las áreas o superficies de los vanos de puertas de un mismo tipo, según el diseño del proyecto. Unidad de medida: Metro cuadrado.

c) En la celda ubicada en la intersección de la columna "U<sub>1</sub>" y de la fila donde se ha escrito el nombre del tipo de puerta, se coloca la transmitancia térmica de la hoja, según se indica en la Tabla N° 8, para puertas que separan al interior con el ambiente exterior. Unidad de medida: W/m<sup>2</sup> K

**Tabla N° 8: Transmitancia térmica de puertas en muros tipo 1A**

Tipo de puerta	Transmitancia Térmica (U) W/m <sup>2</sup> K
Separación con el ambiente exterior	
<b>Carpintería o marco de madera y:</b>	
Hoja maciza de madera (cualquier espesor)	3.5
Hoja contraplacada de fibra MDF (espesor: 4 cm)	4.7
Hoja de vidrio simple en < 30% de la superficie de la hoja de madera maciza (cualquier espesor)	4.0
Hoja de Vidrio simple en 30% a 60% de la superficie de la hoja de madera maciza (cualquier espesor)	4.5
Hoja de Vidrio doble	3.3
<b>Carpintería o marco metálico y:</b>	

Tipo de puerta	Transmitancia Térmica (U) W/m <sup>2</sup> K
	Separación con el ambiente exterior
Hoja de metal	5.8
Puerta cortafuego de una hoja (cualquier espesor)	3.0
Puerta cortafuego de dos hojas (espesor: 83 mm)	1.9
Hoja de Vidrio simple	5.8
Hoja de Vidrio doble con cámara de aire de 6 mm en < 30% de su superficie	5.5
Hoja de Vidrio doble con cámara de aire de 6 mm en 30% a 70% de su superficie	4.8
Hoja de Vidrio doble al 100%	2.8

Tipo de puerta	Transmitancia Térmica (U) W/m <sup>2</sup> K
	Separación con el ambiente exterior
Hoja de vidrio sin carpintería y/o marco	5.8

**Nota:** En caso se utilicen otros materiales para las hojas de las puertas que no están en esta tabla, deberán acreditarse los valores de transmitancia térmica por el fabricante o distribuidor.

d) En la celda ubicada en la intersección de la columna "S<sub>1</sub> x U<sub>1</sub>" y de la fila donde se ha escrito el nombre del tipo de puerta, se coloca el producto de la superficie o área (en m<sup>2</sup>) de tipos de puertas por la transmitancia térmica (U) de la hoja. Unidad de medida: W / K.

e) En caso existan diferentes tipos de puertas, se debe agregar sucesivamente una fila debajo de la anterior y realizar el mismo procedimiento (Puerta 2, Puerta 3, etc.)

f) Finalmente, se llena las celdas "S<sub>1</sub> x U<sub>1</sub>" con el resultado de la multiplicación entre la superficie o área de cada tipo de puerta por sus respectivas transmitancias térmicas.

Hasta este paso, las celdas que se han debido llenar son las siguientes:

Elementos	Espesor (m)	Cantidad	Perimetro (m)	RST/RCA (m <sup>2</sup> °C/W)	Coef. de transmisión térmica k (W/m °C)
Puertas					
Tipo de puerta:					
Puerta 1					
Puerta 2, etc.					

S <sub>1</sub>	U <sub>1</sub>	S <sub>1</sub> x U <sub>1</sub>
X	X	X

**3. Muros: Calcular la transmitancia térmica de muros Tipo 1A, que separan el interior de la edificación con el ambiente exterior**

**3.1 Procedimiento para hallar las resistencias superficiales**

a) En la celda ubicada en la intersección de la columna "RST/RSA" y de la fila "Resistencia Superficial Externa (R<sub>se</sub>)", se coloca el siguiente valor: 0,11 W/m<sup>2</sup> K.

b) En la celda ubicada en la intersección de la columna "RST/RSA" y de la fila "Resistencia Superficial Interna (R<sub>si</sub>)", el siguiente valor: 0,06 W/m<sup>2</sup> K.

**3.2 Procedimiento para el cálculo de las trasmitancias térmicas en caso de muros tipo 1A.**

**Nota:** La superficie o área total de los muros de una edificación, con cámara de aire o sin ella, deberá excluir cualquier tipo de vano (ventana, mampara, puerta, etc.) y cualquier tipo de puente térmico. Éstos se calculan aparte y cada elemento tendrá su propia superficie o área total.

**3.2.1 Para muros tipo 1A, que separan el interior de la edificación con el ambiente exterior y que no tienen una cámara de aire en su interior.**

a) Debajo de la fila "Muro sin cámara de aire 1", existe la fila "Composición", que corresponde a la composición del muro por tipo de material y que no debe llenarse. Debajo de la fila "Composición", se debe aumentar un número de filas igual al número de materiales que conforman el muro sin cámara de aire hasta el acabado final. La o las celdas que se encuentran debajo de la celda "Muro sin cámara de aire", deben ser llenadas con el nombre y especificaciones técnicas del material (por ejemplo: Material 1. *Ladrillo de arcilla King Kong 18 huecos (9 x 12.50 x 23.20)*, Material 2: *Revestimiento de arena-cemento (Espesor = 1.5 cm.)*. No se incluyen capas de acabado menor a 5 mm (por ejemplo: pinturas o barnices).

**Nota:** Si existe un revestimiento exterior y un revestimiento interior, aunque estén conformados por los mismos materiales, se deberán calcular en forma separada, utilizando una línea adicional de material.

b) En las celdas ubicadas en la intersección de la columna "Espesor" y de las filas donde se ha detallado cada material con que está fabricado el muro sin cámara de aire, se coloca el espesor de cada capa de material, según el diseño del proyecto. Unidad de medida: Metro lineal.

c) En la celda ubicada en la intersección de la columna "Coeficiente de transmisión térmica (k)" y de las filas donde se han detallado cada material con que está fabricado el muro sin cámara de aire, se coloca el Coeficiente de transmisión térmica (k) de cada capa de material. Ver Anexo N° 3: *Lista de características higrométricas de los materiales de construcción*. Unidad de medida: W/m<sup>2</sup> K.

d) En la celda ubicada en la intersección de la columna "S<sub>1</sub>" y de la celda que agrupa a todas las filas en las que se ha caracterizado cada material componente del muro sin cámara de aire, se coloca la superficie total o área total del muro sin cámara de aire, según el proyecto. Unidad de medida: m<sup>2</sup>

e) En la celda ubicada en la intersección de la columna "U<sub>1</sub>" y de la celda que agrupa a todas las filas en las que se ha caracterizado cada material componente del muro sin cámara de aire, se coloca la transmitancia térmica de todo el muro (U<sub>1-muro sin cámara</sub>). Esta transmitancia térmica es el resultado de la suma de las transmitancias térmicas de cada capa de material que compone el muro sin cámara de aire a la cual se añaden las resistencias superficiales interna (R<sub>si</sub>) y externa (R<sub>se</sub>). Se utiliza la siguiente fórmula:

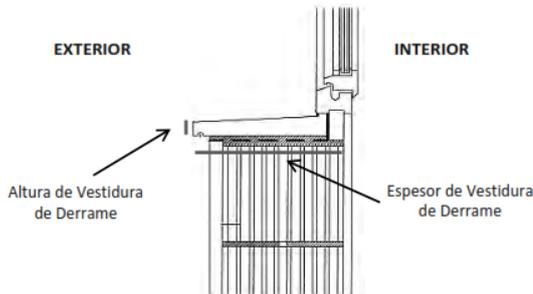
$$U_{1-muro\ sin\ cámara} = \frac{1}{\left(\frac{e_{material\ 1}}{k_{material\ 1}} + \frac{e_{material\ 2}}{k_{material\ 2}} + \frac{e_{material\ 3}}{k_{material\ 3}} + \dots + R_{si} + R_{se}\right)}$$

523078

**NORMAS LEGALES**

El Peruano  
Martes 13 de mayo de 2014

Ejemplo: Vista en corte de una vestidura de derrame



**5.58. Zona bioclimática:** Clasificación climática que define los parámetros ambientales de grandes áreas geográficas, necesaria para aplicar estrategias de diseño bioclimático de una edificación y obtener confort térmico y lumínico con eficiencia energética.

**6 Zonificación Bioclimática del Perú**

**6.1 Definición de las zonas bioclimáticas**

Para efectos de la presente Norma, la Zonificación Bioclimática del Perú consta de nueve zonas, las cuales se mencionan a continuación.

**Tabla Nº 1: Zonificación Bioclimática del Perú**

Zona bioclimática	Definición climática
1	Desértico costero
2	Desértico
3	Interandino bajo
4	Mesoandino
5	Altoandino
6	Nevado
7	Ceja de Montaña
8	Subtropical húmedo
9	Tropical húmedo

Las características climáticas de cada zona bioclimática se muestran en el Anexo Nº 1 de esta Norma.

**6.2 Selección de zonas bioclimáticas**

Todo proyecto de edificación debe cumplir con los lineamientos indicados en el numeral 7. Confort térmico (según la zona bioclimática donde se ubique) y en el numeral 8. Confort lumínico.

En el Anexo Nº 1: (A) *Ubicación de provincia por zona bioclimática*, se obtiene la zona bioclimática que le corresponde al proyecto, según la provincia donde se ubique este.

Sin embargo, debido a los diferentes climas que puede incluir una provincia, un distrito o hasta un centro poblado de nuestro país, el proyectista podrá cambiar de zona bioclimática solo si sustenta mediante información oficial del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI) que el distrito o centro poblado en donde se ubica su proyecto cumple con las ocho características climáticas del Anexo Nº 1: (B) *Características climáticas de cada zona bioclimática*.

**7 Confort térmico: Demanda energética máxima por zona bioclimática**

Todo proyecto de edificación, según la zona bioclimática donde se ubique, deberá cumplir obligatoriamente con los requisitos establecidos a continuación:

**7.1 Transmitancias térmicas máximas de los elementos constructivos de la edificación**

**Tabla Nº 2: Valores límites máximos de transmitancia térmica (U) en W/m² K**

Zona bioclimática	Transmitancia térmica máxima del muro (U <sub>muro</sub> )	Transmitancia térmica máxima del techo (U <sub>techo</sub> )	Transmitancia térmica máxima del piso (U <sub>piso</sub> )
1. Desértico costero	2,36	2,21	2,63
2. Desértico	3,20	2,20	2,63
3. Interandino bajo	2,36	2,21	2,63
4. Mesoandino	2,36	2,21	2,63
5. Altoandino	1,00	0,83	3,26
6. Nevado	0,99	0,80	3,26
7. Ceja de montaña	2,36	2,20	2,63
8. Subtropical húmedo	3,60	2,20	2,63
9. Tropical húmedo	3,60	2,20	2,63

Ninguno de los componentes unitarios de la envolvente (muros, pisos o techos) deberá sobrepasar las transmitancias térmicas máximas según los valores indicados en la Tabla Nº 2.

En el Anexo Nº 2 de la presente Norma, se encuentra la metodología de cálculo para obtener los valores de transmitancia térmica del proyecto.

En el Anexo Nº 3 de la presente Norma, se muestra una lista de los principales productos y materiales de construcción utilizados en el país, con sus respectivos valores higrotérmicos, que deberán ser utilizados para el cálculo desarrollado en el Anexo Nº 2. En caso se utilicen otros tipos de productos y materiales (opacos, transparentes, etc.) que no se incluyen en dicho anexo, el usuario deberá sustentar los valores de transmitancia o conductividad térmica, suministrado formalmente por el fabricante o distribuidor.

**7.2 Condensaciones**

Para efectos de la presente Norma, las envolventes (muro, pisos y techos) no deberán presentar humedades de condensación en su superficie interior, que degraden sus condiciones. Para esto, la temperatura superficial interna (T<sub>si</sub>) deberá ser superior a la temperatura de rocío (tr).

$$T_{si} > t_r$$

El valor de T<sub>si</sub> y t<sub>r</sub> se obtienen del Anexo Nº 4: *Metodología para el cálculo de condensaciones superficiales*.

**7.3 Permeabilidad al aire de las carpinterías**

Para efectos de la presente Norma, se deberá tener en cuenta las siguientes clases de carpinterías de ventanas por zona bioclimática. Las clases de carpinterías de ventanas se clasifican de acuerdo a su permeabilidad al aire, que se define como la cantidad de aire que pasa (por causa de la presión) a través de una ventana cerrada.

**Tabla N° 3: Clases de carpinterías de ventanas por zona bioclimática**

Zona bioclimática	Clase de permeabilidad al aire
1. Desértico costero	Clase 1
2. Desértico	Clase 1
3. Interandino bajo	Clase 1
4. Mesoandino	Clase 2
5. Altoandino	Clase 2
6. Nevado	Clase 2
7. Ceja de montaña	Clase 1
8. Subtropical húmedo	Clase 1
9. Tropical húmedo	Clase 1

La Tabla N° 4 establece la permeabilidad al aire de las carpinterías de ventanas, medida con una sobrepresión de 100 Pascales (Pa) y referida a la superficie total, las cuales tendrán unos valores inferiores a las siguientes.

**Tabla N° 4: Rangos de las clases de permeabilidad al aire**

Clase de permeabilidad al aire	Rango
Clase 1	< 50 m <sup>3</sup> /h.m <sup>2</sup> (para presiones hasta 150 Pa)
Clase 2	< 20 m <sup>3</sup> /h.m <sup>2</sup> (para presiones hasta 300 Pa)

**Nota:** El fabricante o importador de carpinterías de ventanas deberá certificar la clase de sus productos y ponerla a disposición de los usuarios.

En el Anexo N° 5 se encuentra el gráfico utilizado para definir las permeabilidades al aire máximas.

**8 Confort lumínico**

Todo proyecto de edificación deberá aplicar el procedimiento de cálculo que se desarrolla en el Anexo N°

6 para obtener el área mínima de ventana, necesaria para cumplir con una determinada iluminación interior ( $E_{int}$ ) la cual no deberá sobrepasar los valores recomendados por el Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE) en función de la actividad y del ambiente.

No se deberá contabilizar las rejas u otras protecciones adicionales que puedan instalarse sobre la ventana.

**9 Productos de construcción**

En el marco de esta Norma, todo fabricante o importador de productos de construcción (materiales de construcción opacos, transparentes, semitransparentes, etc.) debe facilitar al usuario las características higrotérmicas certificadas por entidad competente, que se enumeran a continuación.

**Tabla N° 5: Características higrotérmicas obligatorias de los productos de construcción**

Característica higrotérmica	Símbolo	Unidades
Densidad	P	kg / m <sup>3</sup>
Transmitancia térmica	U	W / m <sup>2</sup> K
Calor específico	C <sub>p</sub>	J / kg °C
Factor de resistividad a la difusión de vapor de agua	M	Adimensional

**Tabla N° 6: Características higrotérmicas obligatorias de los materiales transparentes o semitransparentes**

Característica	Símbolo	Unidades
Absorción térmica	A	%
Transmisión térmica	T	%
Conductividad térmica	k	W / m K
Transmitancia térmica	U	W / m <sup>2</sup> K
Factor solar	FS	Adimensional
Coefficiente de sombra	CS	Adimensional

**SUSCRÍBASE AL DIARIO OFICIAL**

**El Peruano**  
DIARIO OFICIAL

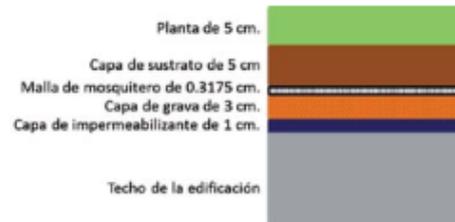
[www.elperuano.com.pe](http://www.elperuano.com.pe)

Av. Alfonso Ugarte 873 - Lima  
Central Telf. 315-0400 anexo 2203, 2207

ANEXO N° 06: Temperatuta fr confort térmico

Ejemplo de techo verde básico (ver Material N° 99):

Material	Espesor (m)	k (W/m°C)
Planta	0.05	1.00
Capa de sustrato vegetal	0.05	1.16
Malla de mosquitero	0.003175	0.19
Capa de grava de 19mm.	0.03	2.50
Capa de impermeabilizante	0.01	0.60
Techo	0.12	1.74



**ANEXO N° 4: Metodología para el cálculo de condensaciones superficiales**

Para cumplir  $T_{si} > t$  según lo establecido en el Subcapítulo 7.2. Condensaciones de la presente Norma, se aplicará la siguiente metodología en forma separada para muros, techos y pisos.

**Paso 1:**

Hallar la temperatura superficial interior ( $T_{si}$ ) mediante la siguiente fórmula:

Para muros:  $T_{si} = T_i - U_{muro} \times R_{si} \times (T_i - T_e)$

Para techos:  $T_{si} = T_i - U_{techo} \times R_{si} \times (T_i - T_e)$

Para pisos:  $T_{si} = T_i - U_{piso} \times R_{si} \times (T_i - T_e)$

Donde,

$T_{si}$  temperatura superficial interior de la envolvente, en °C

$T_i$  temperatura del ambiente interior, en °C. Para hallar su valor, ver la Tabla N° 17

$T_e$  temperatura del ambiente exterior. Para hallar su valor, ver la Tabla N° 18

$U$  transmitancia térmica de la envolvente (muro, techo o piso), en W/m² K. Se deberá tomar los valores que han sido calculados en el Anexo 3.

$R_{si}$  resistencia térmica superficial interior, en m² K / W. Para hallar su valor, ver el Paso 2.

**Tabla N° 17: Valores de temperaturas del ambiente interior por tipo de uso en edificaciones**

Edificación o local	Temperatura del ambiente interior ( $T_i$ ) en °C
Vivienda	18
Locales de trabajo	18 – 20
Salas de exposiciones	15 – 18
Bibliotecas, archivos	15 – 18
Oficinas	20
Restaurantes	20
Cantinas	18
Grandes almacenes	20
Cines y teatros	20

Edificación o local	Temperatura del ambiente interior ( $T_i$ ) en °C
Hospitales - Salas de reconocimiento y de tratamiento - Salas de hospitalización	24 20 – 22
Cocinas	20
Tiendas	20
Escuelas - Aula - Gimnasios - Piscinas de aprendizaje cubiertas	20 15 – 18 24
Salas de actos	20
Salas de juntas	18

**Nota:** En el caso en que la edificación sirva para más de una actividad diferente, cada ambiente en donde se desarrolla una actividad diferente se evaluará utilizando la metodología propuesta.

**Tabla N° 18: Valores de  $T_e$ ,  $T_{e,max}$  y Humedad Relativa Media (HR) por zona bioclimática**

Zona bioclimática	Valor de $T_e$ (°C)	Valor de $T_{e,max}$ (°C)	Valor de HR (%)
1	18	30	80
2	24	33	70
3	20	30	50
4	12	21	50
5	6	15	50
6	0	-	50
7	26	31	70
8	22	31	70
9	27	32	70

**Paso 2:**

Para hallar la resistencia térmica superficial interior ( $R_{si}$ ), se deben escoger los siguientes valores, de acuerdo a la zona bioclimática:

- ⇒ 0,11 m² K/W para muros, en cualquier zona bioclimática.
- ⇒ 0,09 m² K/W para techos o pisos, en las zonas bioclimáticas 4, 5 y 6.
- ⇒ 0,17 m² K/W para techos o pisos, en las zonas bioclimáticas 1, 2, 3, 7, 8 y 9.

## ANEXO N° 07: Implementacion del sistema solar térmico



**Foto 1: Instalación de los colectores solares (UNA-FIQ).**



**FOTO 02: Instalación de los radiadores o disipadores de calor en el interior de la biblioteca (UNA-FIQ).**



**FOTO 03: Aislamiento de los conductos de agua caliente. (UNA-FIQ).**



**FIGURA 04: Aislamiento de los conductos de agua caliente y frío. (UNA-FIQ).**

**ANEXO N° 08: Irradiancia Solar Anual en la región puno - 2003**

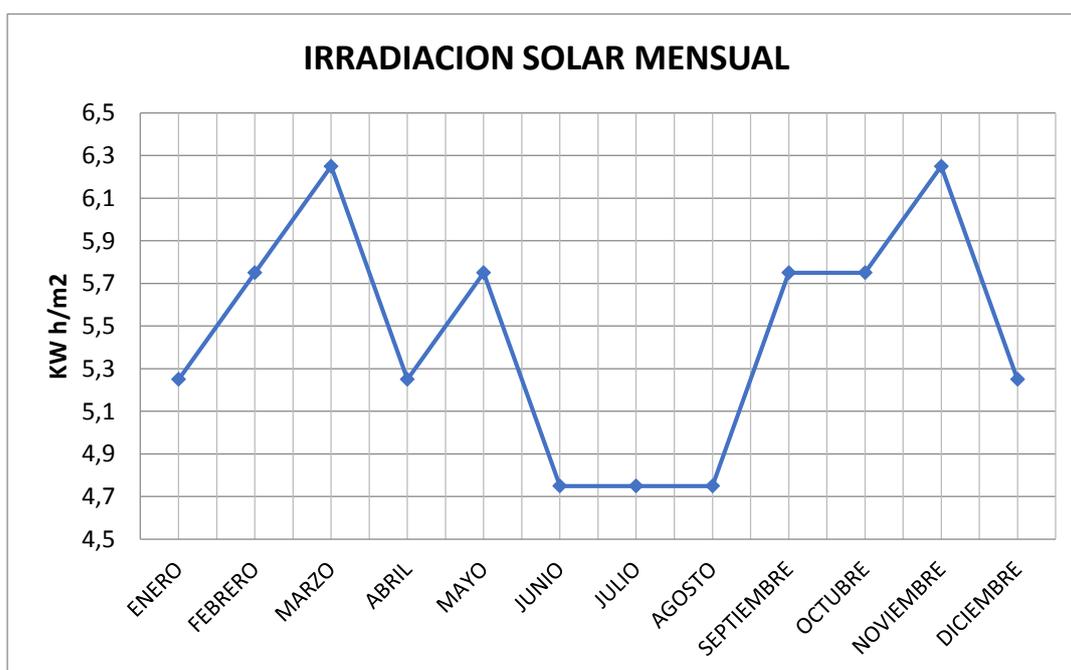


Fuente. [http://deltavolt.pe/phocadownload/radiacion\\_anual.jpg](http://deltavolt.pe/phocadownload/radiacion_anual.jpg)

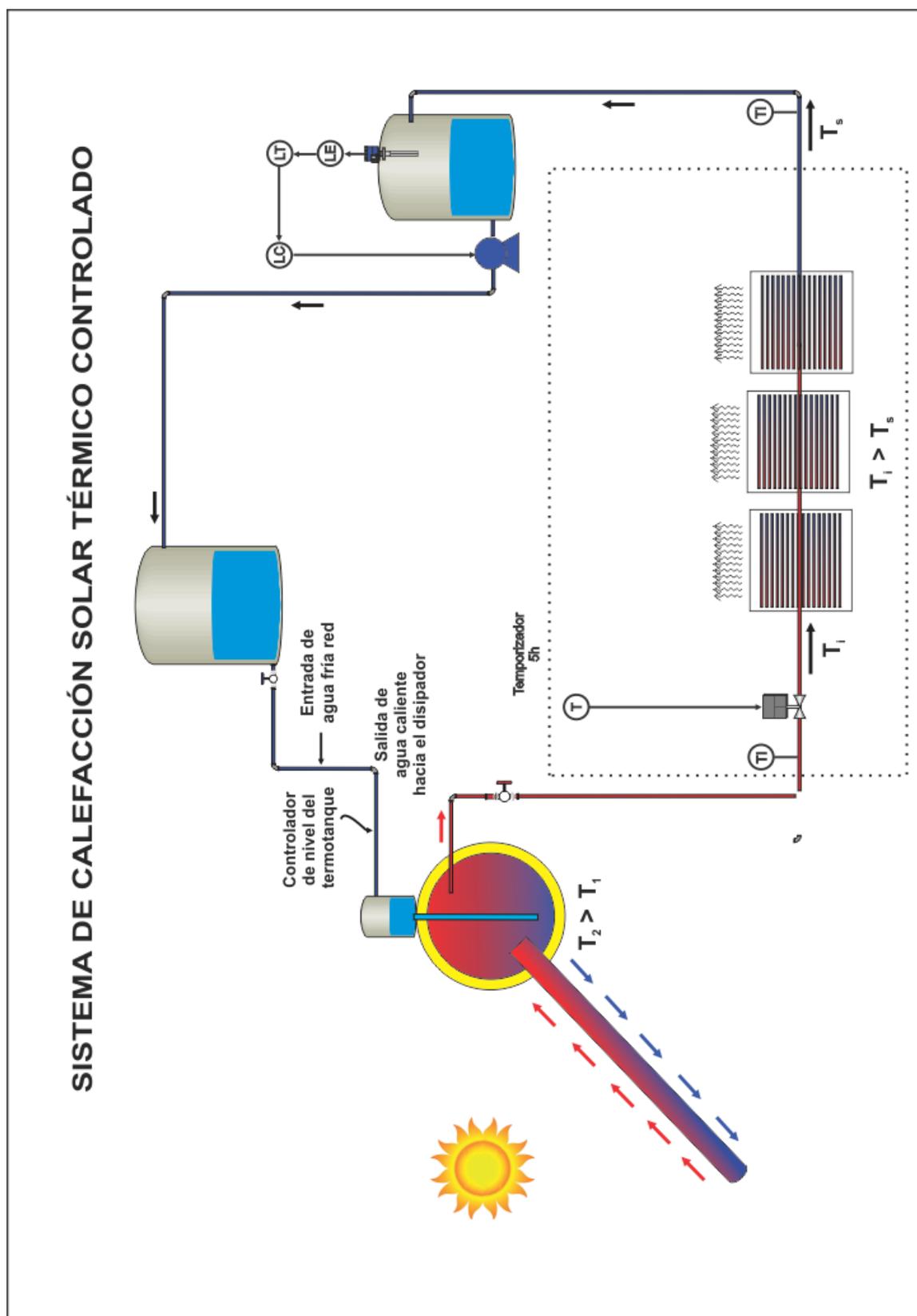
**ANEXO N° 09:** Irradiación solar promedio en la Región Puno

DEPARTAMENTO	PUNO		
LATITUD	13° 00' y 17° 08' latitud Sur		
LONGITUD	71° 08' y 68° 50' longitud Oeste del meridiano de Greenwich.		
ALTITUD	3827 m.s.n.m		
MES	IRRADIANCIÓN (KWh/m <sup>2</sup> )		PROMEDIO
ENERO	5	5.5	5.25
FEBRERO	5.5	6	5.75
MARZO	6	6.5	6.25
ABRIL	5	5.5	5.25
MAYO	5.5	6	5.75
JUNIO	4.5	5	4.75
JULIO	4.5	5	4.75
AGOSTO	4.5	5	4.75
SEPTIEMBRE	5.5	6	5.75
OCTUBRE	5.5	6	5.75
NOVIEMBRE	6	6.5	6.25
DICIEMBRE	5	5.5	5.25
PROMEDIO ANUAL(KWh/m <sup>2</sup> )			5.46

Fuente. [http://deltavolt.pe/phocadownload/radiacion\\_anual.jpg](http://deltavolt.pe/phocadownload/radiacion_anual.jpg)



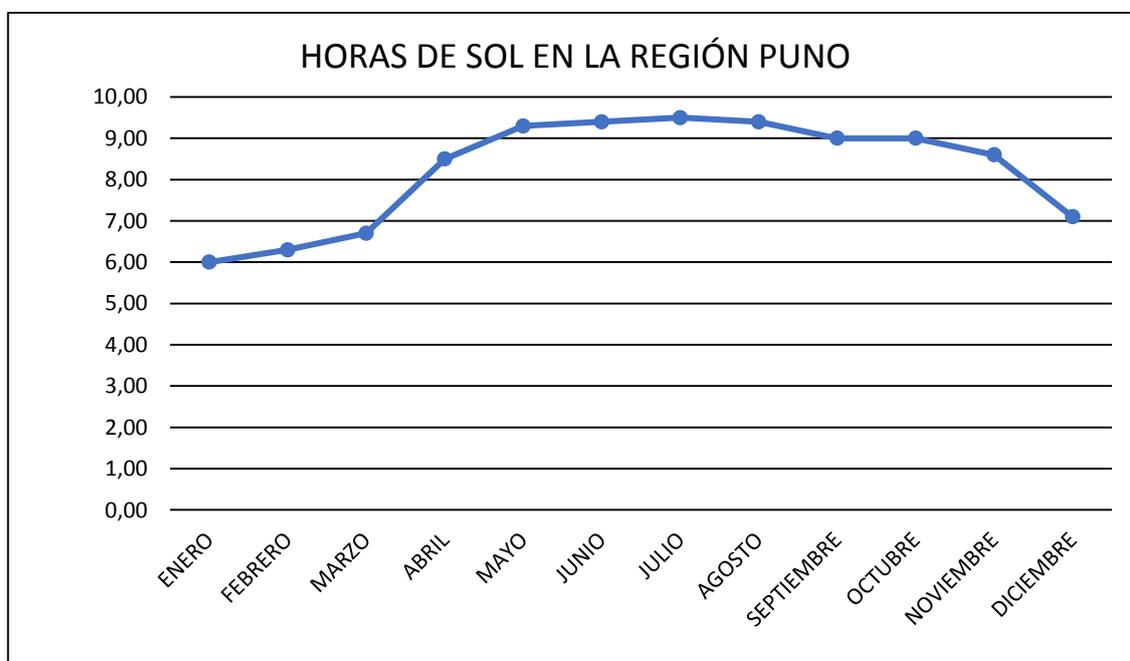
ANEXO N° 10: Diagrama de flujo del sistema de calefacción solar controlado



**ANEXO N° 11:** Diagrama de flujo del sistema de calefacción solar controlado

DEPARTAMENTO	PUNO
LATITUD	13° 00' y 17° 08' latitud Sur
LONGITUD	71° 08' y 68° 50' longitud Oeste del meridiano de Greenwich.
ALTITUD	3827 m.s.n.m
<b>MES</b>	<b>HORAS DE SOL (h)</b>
ENERO	6.00
FEBRERO	6.30
MARZO	6.70
ABRIL	8.50
MAYO	9.30
JUNIO	9.40
JULIO	9.50
AGOSTO	9.40
SEPTIEMBRE	9.00
OCTUBRE	9.00
NOVIEMBRE	8.60
DICIEMBRE	7.10

**PROMEDIO ANUAL (h):** 8.23



Fuente. <http://departamento.pucp.edu.pe/arquitectura/files/2012/06/CUADERNOS-14-digi.pdf>

ANEXO N° 12: Propiedades físicas del aire y agua

<p><b>UTN - FRBA</b> Hidráulica Gral. y Aplicada Curso 2010</p>	<p><b>Gráficos y Tablas</b></p>	<p><b>Pág. 1</b> de 9</p>
---	---------------------------------	---------------------------

**PREFIJOS** Tabla 1

Prefijo	Simbol	Factor	Término
tera	T	10 <sup>12</sup>	un billón
giga	G	10 <sup>9</sup>	mil millones
mega	M	10 <sup>6</sup>	un millón
kilo	k	10 <sup>3</sup>	mil
hecto	h	10 <sup>2</sup>	cien
deca	da	10	diez
deci	d	10 <sup>-1</sup>	un décimo
centi	c	10 <sup>-2</sup>	un centésimo
mili	m	10 <sup>-3</sup>	un milésimo
micro	μ	10 <sup>-6</sup>	un millonésimo
nano	n	10 <sup>-9</sup>	un millillonésimo
pico	p	10 <sup>-12</sup>	un billonésimo

**PROPIEDADES FÍSICAS DEL AIRE** Tabla 2  
**a presión atmosférica**

Temperatura	Densidad	Viscosidad dinámica	Viscosidad cinemática	Velocidad del sonido
°C	ρ	μ	ν	C
	kg/m <sup>3</sup>	N.s/m <sup>2</sup> · 10 <sup>-5</sup>	m <sup>2</sup> /s · 10 <sup>-5</sup>	m/s
-30	1.452	1.56	1.08	312
-20	1.394	1.61	1.16	319
-10	1.342	1.67	1.24	325
0	1.292	1.72	1.33	331
10	1.247	1.76	1.42	337
20	1.204	1.81	1.51	343
30	1.164	1.86	1.60	349
40	1.127	1.91	1.69	355
50	1.092	1.95	1.79	360
60	1.060	2.00	1.89	366
70	1.030	2.05	1.99	371
80	1.000	2.09	2.09	377
90	0.973	2.13	2.19	382
100	0.946	2.17	2.30	387
200	0.746	2.57	3.45	436
300	0.616	2.93	4.75	480

**PROPIEDADES FÍSICAS APROXIMADAS DE LÍQUIDOS COMUNES,** a 20°C y presión atmosférica estándar Tabla 3

Líquido	Densidad relativa	Módulo de elasticidad volumétrica	Presión de vapor	Tensión Superficial
	ρ <sub>r</sub>	K	p <sub>v</sub>	σ
		GPa	kPa	N/m
Agua	1	2.07	2.45	0.074
Aceite crudo	0.85 - 0.93	---	---	0.023-0.038
Aceite	0.85 - 0.88	---	---	0.035-0.038
Alcohol etílico	0.790	1.210	5.86	0.022
Benceno	0.880	1.030	10.00	0.029
Carboro, tetracloruro de	1.590	1.100	13.10	0.027
Mercurio	13.570	26.200	0.00	0.510
Querosén	0.810	---	---	0.023-0.032

**PROPIEDADES FÍSICAS DEL AGUA** Tabla 4

Temperatura	Densidad	Viscosidad	Viscosidad cinemática	Módulo de elasticidad volumétrica	Tensión Superficial	Presión de Vapor
°C	ρ	μ	ν	K	σ	p <sub>v</sub>
	kg/m <sup>3</sup>	N.s/m <sup>2</sup> · 10 <sup>-3</sup>	m <sup>2</sup> /s · 10 <sup>-5</sup>	Pa · 10 <sup>7</sup>	N/m · 10 <sup>-2</sup>	Pa
0	999.9	1.792	1.792	204	7.62	588
1	999.9	1.732	1.732			
2	1000.0	1.674	1.674			
3	1000.0	1.619	1.619			
4	1000.0	1.568	1.568			
5	1000.0	1.519	1.519	206	7.54	882
6	1000.0	1.473	1.473			
7	999.9	1.429	1.429			
8	999.9	1.387	1.387			
9	999.8	1.348	1.348			
10	999.7	1.310	1.310	211	7.48	1.176
11	999.6	1.274	1.274			
12	999.5	1.239	1.240			
13	999.4	1.206	1.207			
14	999.3	1.175	1.176			
15	999.1	1.145	1.146	214	7.41	1.666
16	999.0	1.116	1.117			
17	998.8	1.088	1.089			
18	998.6	1.060	1.061			
19	998.4	1.034	1.036			
20	998.2	1.009	1.011	220	7.36	2.447
21	998.0	0.984	0.986			
22	997.8	0.961	0.963			
23	997.6	0.938	0.940			
24	997.5	0.916	0.918			
25	997.1	0.895	0.898	222	7.26	
26	996.8	0.875	0.878			
27	996.5	0.855	0.858			
28	996.3	0.836	0.839			
29	996.0	0.818	0.821			
30	995.7	0.800	0.803	223	7.18	4.297
35	994.1	0.723	0.727	224	7.10	
40	992.2	0.656	0.661	227	7.01	7.400
45	990.2	0.599	0.605	229	6.92	
50	988.1	0.549	0.556	230	6.82	12.22
55	985.7	0.506	0.513	231	6.74	
60	983.2	0.469	0.477	228	6.68	19.60
65	980.6	0.469	0.478	226	6.58	
70	977.8	0.406	0.415	225	6.50	30.70
75	974.9	0.380	0.390	223	6.40	
80	971.8	0.357	0.367	221	6.30	46.40
85	968.6	0.336	0.347	217	6.20	
90	965.3	0.317	0.328	216	6.12	68.20
95	961.9	0.299	0.311	211	6.12	
100	958.4	0.284	0.296	207	5.94	97.50

ANEXO N° 13

42  
TRANSFERENCIA DE CALOR Y MASA

**TABLA 1-7**

Índices metabólicos durante diversas actividades (tomado del *Handbook of Fundamentals* de la ASHRAE, Ref. 1, Cap. 8, tabla 4)

Actividad	Índice metabólico*	W/m <sup>2</sup>
<b>Reposo:</b>		
Dormir		40
Reclinarse		45
Sentado, quieto		60
De pie, relajado		70
<b>Caminar (a nivel):</b>		
2 mph (0.89 m/s)		115
3 mph (1.34 m/s)		150
4 mph (1.79 m/s)		220
<b>Actividades de oficina:</b>		
Leer, sentado		55
Escribir		60
Mecanografiar		65
Archivar, sentado		70
Archivar, de pie		80
Caminar por allí		100
Levantar objetos/empacar		120
<b>Conducir/volar:</b>		
Automóvil	60-115	
Avión, rutinario		70
Vehículo pesado		185
<b>Actividades ocupacionales diversas:</b>		
Cocinar	95-115	
Limpiar la casa	115-140	
<b>Trabajo en máquinas:</b>		
Ligero	115-140	
Pesado	235	
Manejar bultos de 50 kg	235	
Trabajo de picar y palear	235-280	
<b>Actividades diversas de placer:</b>		
Bailar, socialmente	140-255	
Calistenia/ejercicio	175-235	
Tenis, singles	210-270	
Basquetbol	290-440	
Lucha, en competencia	410-505	

\*Multiplíquese por 1.8 m<sup>2</sup> para obtener los índices metabólicos para un hombre promedio. Multiplíquese por 0.3171 para convertir en Btu/h · ft<sup>2</sup>.

aire. La temperatura del medio ambiente es el índice sencillo más importante de la comodidad. Se ha realizado una investigación extensa sobre sujetos humanos con el fin de determinar la “zona de comodidad térmica” e identificar las condiciones en las que el cuerpo se siente cómodo en un medio. Se ha observado que la mayor parte de la gente vestida de manera normal, en reposo o realizando trabajo ligero, se siente cómoda en el rango de la *temperatura operativa* (muy aproximadamente, la temperatura promedio del aire y las superficies circundantes) de 23°C hasta 27°C, o bien, 73°F a 80°F (figura 1-52). Para la gente desnuda, este rango es de 29°C a 31°C. La humedad relativa también tiene un efecto considerable sobre la comodidad, ya que es una medida de la capacidad del aire para absorber humedad y, por tanto, afecta la cantidad de calor que un cuerpo puede disipar por evaporación. La humedad relativa elevada retarda el rechazo de calor por evaporación, en especial a altas temperaturas, y la baja humedad relativa lo acelera. El nivel deseable de *humedad relativa* se encuentra en el amplio rango de 30 a 70%, siendo el nivel más deseable el de 50%. La mayor parte de las personas no sienten calor ni frío en estas condiciones y el cuerpo no necesita activar alguno de los mecanismos de defensa con el fin de mantener su temperatura normal (figura 1-53).

Otro factor que tiene un efecto importante sobre la comodidad térmica es el **movimiento excesivo del aire** o **corriente de aire**, que causa un enfriamiento local no deseado del cuerpo humano. La corriente de aire es identificada por muchos como uno de los factores más molestos en los lugares de trabajo, los automóviles y los aviones. La experimentación de incomodidad por la corriente de aire es común entre las personas que usan ropa normal en interiores y que están realizando trabajo ligero sedentario y menos común entre aquellas con elevados niveles de actividad. La velocidad del aire debe mantenerse por debajo de 9 m/min (30 ft/min), en el invierno, y de 15 m/min (50 ft/min), en el verano, para minimizar la incomodidad por la corriente, en especial cuando el aire es frío. Un bajo nivel de movimiento del aire es deseable ya que remueve el bochorno, el aire húmedo que se acumula alrededor del cuerpo, y lo reemplaza con aire fresco. Por lo tanto, el movimiento del aire debe ser lo suficientemente fuerte para eliminar el calor y la humedad de la vecindad del cuerpo, pero tan suave como para no advertirse. El movimiento del aire a alta velocidad también causa incomodidad en el exterior. Por ejemplo, un medio ambiente a 10°C (50°F) con vientos de 48 km/h se siente tan frío como un medio ambiente a -7°C (20°F) con vientos de 3 km/h, debido al efecto de enfriamiento del movimiento del aire (el factor del viento).

Un buen sistema debe proporcionar *condiciones uniformes* en todo el espacio habitable para evitar la incomodidad causada por irregularidades como las *corrientes de aire*, la *radiación térmica asimétrica*, los *pisos calientes o fríos* y la *estratificación vertical de la temperatura*. La **radiación térmica asimétrica** es causada por las *superficies frías* de las ventanas grandes, las paredes no aisladas o los productos fríos, así como por las *superficies calientes* como los paneles radiantes para calefacción, de gas o eléctricos, colocados en las paredes o el techo, las paredes o techos de mampostería calentados por el Sol y la maquinaria caliente. La radiación asimétrica causa incomodidad por la exposición de lados diferentes del cuerpo a superficies con temperaturas diferentes y, por tanto, a distintas pérdidas o ganancias de calor por radiación. Una persona cuyo lado izquierdo está expuesto a una ventana fría, por ejemplo, sentirá como si estuviera perdiendo calor de ese lado (figura 1-54). Para lograr la comodidad térmica, la asimetría en la temperatura radiante no debe sobrepasar 5°C en

ANEXO N° 14



**Tubomart Enterprise Co. Ltd**

RM B2-B6, 4/F NORTH,,NO.9 JIANGONG RD,LIJING BLDG. HIGH-TECH INDUSTRY ZI

TEL:86-020-85553489 FAX:86-020-85553495

**PROFORMA INVOICE**

To : Mr. Edgardo Mercado

Add: 21100 SANROMAN PUNO, JULIACA, Peru.

Tel No. : 951607133

From: Guangzhou, China to Callao-LIMA-PERU

Item No	Name	Picture	Specification	Weight /g	PCS /CTN	CTNS
TMFB-500	Die-casting Bimetal Radiator		Size(H*L*D): 565*80*85mm	1650	10	25
			Central Distance: 500mm			
			Working Pressure:35Bars			
			Water Content:0.2 L/PC			
			Thermal Output: 187W( $\Delta T=70^{\circ}C$ )			
			Testing Pressure: 2.0 Mpa			
	10 section/group					
TM-500018	radiator accessories		1*1/2, 13pcs/set	630	30	1

CIF Callao

Products and package follow factory's export standard. With factory's logo is acceptable.

**ANEXO N° 15:** Costos de implementación promedio para el sistema de calefacción solar

N°	Elementos	Cantidad	Descripción	Costo unitario (S/.)	Costo total (S/.)
1	Terma solar	2	- Terma solar marca Davsol. - Capacidad: 250 L - Material acero inoxidable. - 50 tubos colectores al vacío. - Tanque de asistencia de 8 L.	2500	5000.00
2	Radiador de agua caliente	3	- Tamaño (H * L * D): 565 * 80 * 85mm - Distancia central: 500mm - Presión de trabajo: 35Bars - Contenido de agua: 0.2 L / PC - Salida térmica: 187W ( $\Delta T = 70^\circ C$ ) - Presión de ensayo: 2.0 MPa - 10 sección / grupo	500	1500.00
3	Aislante térmico	16	- Espesor 20 mm. - Valores de conductividad térmica: 0.036 w/mk - Longitud 1m	15	240.00
<b>Total =</b>				<b>6740.00</b>	

**Elementos para el sistema de bombeo (recirculación de agua).**

N° de items	Accesorios para agua caliente	Cantidad	Descripción	Costo unitario (S/.)	Costo total (S/.)
4	Bomba de agua	1	- 0.5 Hp	120.00	120.00
5	Válvula check	1	- 1/2 pulg.	24.00	24.00
6	Niple	2	- 1 pulg.	2.5	5.00
7	Unión universal	1	- 1 pulg.	4.00	4.00
8	Tope	1	- 1 pulg.	16.00	16.00
9	Tope	1	- 1/2 pulg.	12.00	12.00
10	Reducción bushin	1	- 1. a 1/2 pulg.	2.5	2.50
11	Tanque	2	- 200 L	180.00	360.00
12	Soporte	1	- Soporte para tanque	200.00	200.00
<b>Total =</b>				<b>743.50</b>	

**Fuente.** elaborado por los investigadores

**Relación de elementos y costos de accesorios**

N° de ítems	Accesorios para agua caliente	Cantidad	Descripción	Costo unitario (S/.)	Costo total (S/.)
13	Tubos de agua caliente	10	- polipropileno homopolímero de alto peso molecular (PP-H)	27.00	270.00
14	Codos 90°	40	- ½ pulg IPS	1.00	40.00
15	Codos 45°	2	- ½ pulg IPS	1.00	2.00
16	Uniones universales	18	- ½ pulg IPS	2.50	45.00
17	Unión simple	6	- ½ pulg IPS	1.00	6.00
18	Tee	10	- ½ pulg IPS	1.50	15.00
19	Reducción	2	- ¾ a ½	2.50	5.00
20	Llaves de paso	7	- ½ pulg IPS	7.00	49.00
21	Llaves de compuerta	5	- ½ pulg IPS	12.00	60.00
22	Tapón	3	- ½ pulg IPS	1.00	3.00
23	Niple	26	- ½ pulg IPS	1.00	26.00
24	Teflón	4		8.00	32.00
25	adex	1	- Sellador de uniones	7.00	7.00
26	boya	1	- ½ pulg IPS (bronce)	10.00	10.00
				<b>Total =</b>	<b>525.00</b>

Fuente. elaborado por los investigadores

**Relación de elementos y costos para sistema de control**

N° de ítems	Accesorios para agua caliente	Cantidad	Descripción	Costo unitario (S/.)	Costo total (S/.)
27	Sensor de temperatura y nivel	1	- Modelo TK – 7 para termas solares	180.00	180.00
28	Válvula motorizada	1	- Normalmente cerrado de 1/2 pulg. - Material: bronce	200.00	200.00
29	Temporizador	1	- Tipo solenoide 220vol. industrial	75.00	75.00
30	Fuente DC	1	- 12vol/1000 mmA	25.00	25.00
31	Electro nivel	1	- Sensor de nivel para tanque	45.00	45.00
32	Caja	1	- Contenedor para los sensores.	25.00	25.00
33	Termomanómetro	2	- Tipo analógico (°C, mb)	20.00	20.00
34	Cable	20	- Numero 14	1.00	20.00
35	Reloj1			17.00	17.00
36	Zócalo para cable	4		1.00	4.00
				<b>Total =</b>	<b>611.00</b>

Fuente. elaborado por los investigadores

**Resumen del costo total de implementación del sistema de calefacción solar controlado**

<b>N° de item</b>	<b>Sistema de calefacción solar</b>	<b>Costo total (S/.)</b>
1	Costos de implementación promedio para el sistema de calefacción solar	6740.00
2	Elementos para el sistema de bombeo (recirculación de agua).	743.50
3	Relación de elementos y costos de accesorios	525.00
4	Relación de elementos y costos para sistema de control	611.00
5	Mano de obra de toda la instalación	1200.00
<b>Total</b>		<b>S/. 9819.00</b>

**Fuente. elaborado por los investigadores**