UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA

ESCUELA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Simulación de sistemas de Refrigeración por Absorción empleando energía solar para los laboratorios del CIPCA en la UEA, utilizando TRNSYS 17.

TESIS PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERA AMBIENTAL

AUTORA

KARLA ESTEFANIA YEROVI VILLARROEL

TUTOR DE TESIS

Ing. JOSÉ ANTONIO ROMERO PAGUAY Ms.C

PUYO-PASTAZA-ECUADOR

2015-2016

PRESENTACIÓN DEL TEMA

Simulación de sistemas de Refrigeración por Absorción empleando energía solar para los laboratorios del CIPCA en la UEA, utilizando TRNSYS 17.

MIEMBROS DEL TRIBUNAL

_____

Dr. C. Edison Segura Chávez, Ph.D.

_____

Dr. Yoel Aguilera, MS.c.

_____

Dra. Margarita Jara, MS.c.

APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de Director de tesis del tema: **"Simulación de sistemas de Refrigeración por Absorción empleando energía solar para los laboratorios del CIPCA en la UEA, utilizando TRNSYS 17"** de la autora: **Karla Estefanía Yerovi Villarroel, con cedula 160060342-5**, estudiante de la Carrera de Ingeniería Ambiental, considero que cuenta con los requisitos suficientes para ser sometido a la evaluación del jurado examinador designado por el consejo directivo.

……

Ing. JOSÉ ROMERO PAGUAY MS.c.

AUTORÍA DEL TRABAJO

Los criterios expresados en el trabajo de investigación: **"Simulación de sistemas de Refrigeración por Absorción empleando energía solar para los laboratorios del CIPCA en la UEA, utilizando TRNSYS 17"**. Así como también los contenidos, ideas, conclusiones y propuesta son de exclusiva responsabilidad de mi persona, como autora de este trabajo de grado.

AUTORA

……..

KARLA ESTEFANIA YEROVI VILLARROEL

DERECHO DEL AUTOR

El autor cede sus derechos, para que la Universidad Estatal Amazónica pueda hacer uso en lo que estime conveniente, siempre y cuando su utilización sea exclusivamente para fines de investigación o de consulta.

AUTORA

……..

KARLA ESTEFANIA YEROVI VILLARROEL

APROBACIÓN DEL JURADO EXAMINADOR

Los miembros del tribunal examinador aprueban el informe de investigación, sobre el tema: **"Simulación de sistemas de Refrigeración por Absorción empleando energía solar para los laboratorios del CIPCA en la UEA, utilizando TRNSYS 17"**, de la autora Karla Estefanía Yerovi Villarroel, estudiante de la carrera de Ingeniería Ambiental.

Puyo, 28 de Abril de 2016

Para constancia firman

…….

Dr. C. Edison Segura Chávez, Ph.D.

……..……..……

Dr. C. Yoel Aguilera, Ph.D.

……..……

Dra. Margarita Jara, MS.c.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por protegerme durante todo mi camino y darme las fuerzas para salir adelante y enfrentar todos los obstáculos y dificultades a lo largo de mi vida.

A mi madre, que me ha demostrado ser una mujer ejemplar enseñándome a no desfallecer ante nada y perseverar a través de sus sabios concejos.

A mi familia por su apoyo incondicional.

Al Master José Antonio Romero Paguay, tutor de tesis, por su valioso tiempo, guía y asesoramiento para la realización y culminación de la misma.

Gracias a todas las personas que ayudaron directa e indirectamente en la realización de este proyecto.

DEDICATORIA

Esta tesis se la dedico primeramente a mi Dios quién supo guiarme y darme fuerzas para seguir adelante y no desmayar en los problemas que se presentaban, enseñándome a enfrentar las adversidades.

A mi familia quienes por ellos soy lo que soy. A mis padres por su apoyo, consejos, comprensión, amor y ayuda en los momentos difíciles.

A mis hermanas por estar siempre presentes, acompañándome en cada paso que doy para poderme realizar.

A mi hermano que a pesar de nuestra distancia física, siento que estás conmigo siempre y aunque nos faltaron muchas cosas por vivir juntos, sé que este momento hubiera sido tan especial para ti como lo es para mí.

Pero especialmente se la dedico a mi Madre, quien ha sido y es mi mayor inspiración y motivación día a día.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

PRESENTACIÓN DEL TEMA 2
1. INTRODUCCIÓN 14
2. OBJETIVOS 16
2.1 Objetivo General 16
2.2 Objetivos Específicos 16
2.3 Hipótesis General 17
2.4 Hipótesis Específicas 17
3. REVISIÓN DE LITERATURA 18
3.1 Refrigeración por compresión 19
3.2 Refrigeración por sorción 19
3.4 Casos Numéricos 21
3.5 Casos Experimentales 24
3.6 Refrigeración por adsorción 28
3.6.1 Refrigeración por Desecante 29
3.7 Ventajas de los sistemas de refrigeración por absorción. 30
4. MATERIALES Y MÉTODOS 31
4.1Área de estudio 31
4.2Condiciones meteorológicas 31
4.3 Duración del Proyecto 31
4.4 Materiales y equipos 32
4.4.1 Equipos 32
4.4.2 Materiales de oficina 32
4.5 Factores de estudio 33
4.6 Procedimientos, diseño de la investigación y sustentación de los resultados. 34
4.6.1 Reconocimiento de la zona 34
4.6.2 Descripción de las instalaciones de los laboratorios del CIPCA 34
4.6.3 Toma de datos de las estaciones meteorológicas 35
4.6.4 Determinación de la carga térmica 35
4.6.5 Estimación de la carga sensible 37
4.6.6 Estimación de la carga latente. 41

4.6.7 Carga total 44
4.6.8 Aplicación del paquete informático 44
4.6.9 Empleo del software de modelación. 45
5. RESULTADOS 46
6. CONCLUSIONES 52
7. RECOMENDACIONES 54
8. RESUMEN 55
9. SUMARY 57
10. BIBLIOGRAFÍA 58

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Resumen de casos numéricos y experimentales…….....27
Tabla 2. Variables independientes y dependientes……..……33
Tabla 3. Resultados del cálculo de carga……..**.....**48
Tabla 4. Eficiencias de los colectores de tubos al vacío…….50
Tabla 5. Modificadores del ángulo de incidencia……...51
Tabla 6. Análisis económico……...51
Tabla 7. Beneficios social, ambiental y económico……53

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ciclo de Compresión…….19

Figura 2. Fluidos y componentes del ciclo de absorción simple……20

Figura 3. Ciclo de Refrigeración por Adsorción……28

Figura 4. Refrigeración por desecante……29

Figura 5. Sistema de Refrigeración solar modelado en TRNSYS…….46

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Radiacion solar……..47

Gráfico 2. Energia de enfriamiento……47

Gráfico 3. Coeficiente de rendimiento…….……..48

Gráfico 4. Temperatura promedio del año 2015 de 06h00 a 19h00 en el CIPCA-UEA, en Ecuador……..49

Gráfico 5. Insolación mensual en el CIPCA-UEA en Ecuador……...….49

Gráfico 6. Estación meteorológica…….....69

Gráfico 7. Equipo de recepción de datos.....69

Gráfico 8. Vista frontal del Herbario…….…….69

Gráfico 9. Hall del Herbario……...69

Gráfico 10. Biblioteca del Herbario……69

Gráfico 11. Colección de Herbario…….69

1. INTRODUCCIÓN

El Ecuador tiene como recursos energéticos primarios a los combustibles fósiles: el 80 % de la energía que se consume en el país proviene del petróleo, un 4% proviene del gas natural, lo que representa que actualmente el 84% de la energía depende de los combustibles fósiles y sólo el 16% proviene de fuentes renovables de energía (SIEE-OLADE, 2013).

Esto ha ocasionado que exista una mayor cantidad de emisiones de gases de efecto invernadero hacia la atmosfera, lo cual justifica la política adoptada por el país para la diversificación de la matriz energética, declarando la necesidad de incorporar una mayor oferta de energías renovables; ya que hoy en día su presencia es mínima, no existiendo presencia de sistemas que aprovechan la energía solar.

La Energía solar es la tecnología utilizada para aprovechar la energía del sol, que llega a la Tierra en forma de radiación electromagnética (NATIONAL GEOGRAPHIC, 2013)

El Mapa de radiación solar global del Ecuador muestra que sobre todo el país se reciben valores de radiación solar promedios entre 3,6 y 5,7 KWh/m^2 (INAHMI, 2010).

Por lo antes expuesto y dentro del contexto de incrementar la presencia de fuentes renovables de energía dentro de la matriz energética del Ecuador, pensar en el empleo de sistemas de refrigeración por absorción utilizando energía solar en el Centro de Investigación, Posgrado y Conservación Amazónica (CIPCA), resulta interesante.

Los sistemas de refrigeración por absorción utilizan la atracción física o química entre un par de sustancias para producir el efecto refrigerante; un sistema de absorción tiene la capacidad única de transformar directamente la energía térmica en potencia de refrigeración.

Los sistemas de refrigeración por absorción son una alternativa para las instalaciones del CIPCA de la UEA como es en los laboratorios, ya que permite incorporar fuentes energéticas dando prioridad a las de origen renovable como la energía solar.

Emplear los sistemas de refrigeración por absorción como fuentes renovables de energía en el CIPCA, elevará el desarrollo social, incidiendo en los niveles de conocimiento y educación ambiental, además de permitir la conservación del ecosistema.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo General

- Modelar el sistema de refrigeración por absorción más adecuado que pueda usar la energía solar como fuente renovable de energía, para aplicarlo en los laboratorios del Centro de Investigación, Posgrado y Conservación Amazónica (CIPCA) perteneciente a la Universidad Estatal Amazónica; para disminuir el consumo de energía y eliminar los gases de efecto invernadero.

2.2 Objetivos Específicos

- Determinar la carga térmica de las instalaciones de los laboratorios en el CIPCA, para obtener su capacidad del sistema de aire acondicionado.

- Evaluar el comportamiento de los sistemas de refrigeración por absorción seleccionado, que emplea fuente renovable de energía en el lugar seleccionado; con el software Transient System Simulation Tool (TRNSYS 17).

- Valoración económica del sistema propuesto a emplearse en el lugar de estudio.

2.3 Hipótesis General

- La determinación de la modelación de las tecnologías de fuentes renovables de energía, permitirá su empleo en los sistemas de refrigeración por absorción en los laboratorios del Centro de Investigación, Posgrado y Conservación Amazónica (CIPCA) de la Universidad Estatal Amazónica, posibilitando la selección y aplicación de estos sistemas.

2.4 Hipótesis Específicas

- La determinación de la energía solar como fuente renovable de energía en sistemas de refrigeración por absorción en los laboratorios del CIPCA, posibilita la aplicación en el sistema modelado.

- La determinación de la carga térmica encontrada en las instalaciones de los laboratorios del CIPCA, nos permitirá obtener la capacidad del sistema de aire acondicionado.

3. REVISIÓN DE LITERATURA

En los últimos años las distintas crisis económicas de energía y los problemas con el ambiente han incrementado la toma de conciencia entre las personas, con el fin de usar fuentes alternativas y no solo las tradicionales energías provenientes de los combustibles fósiles (Salgado, 2010).

En el Ecuador la mayor demanda de energía proviene de los combustibles fósiles, siendo solo el 16% proveniente de fuentes renovables (SIEE-OLADE, 2013).

La energía solar proviene directamente del sol y es una de las alternativas naturales para producir energía limpia, sin dañar el medio ambiente (Cevallos, 2005).

Según el INAHMI se muestra que en el Ecuador se reciben valores aproximados de entre 3,6 y 5,7 kWh/m^2 de radiación solar (INAHMI, 2010). La radiación solar es el conjunto de radiaciones que emite el sol.

Por lo que se ha considerado la aplicación de la energía solar, en el funcionamiento de sistemas de refrigeración para los laboratorios del CIPCA.

La refrigeración es el proceso termodinámico de bajar o evitar que aumente el grado de calor de un determinado cuerpo o espacio. Para este proceso se puede utilizar fluidos llamados refrigerantes.

Por otra parte está TRNSYS 17 que es un software de simulación dinámica que permite diseñar y optimizar sistemas energéticos (en particular, sistemas basados en energías renovables).

3.1 Refrigeración por compresión

La refrigeración por compresión es un método de refrigeración donde se forza de una manera mecánica la circulación de un refrigerante en un circuito cerrado creando así zonas de alta y baja presión con el propósito de que el fluido absorba calor en el evaporador y lo ceda en el condensador.

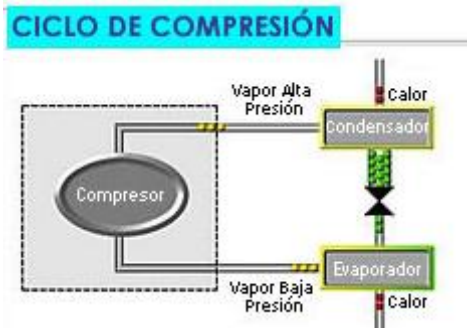


Figura 1. Ciclo de Compresión

Adaptación: autora.

3.2 Refrigeración por sorción

Los sistemas de refrigeración por sorción son accionados térmicamente, mediante el empleo de la energía solar, biomasa y eléctrica; sus principales tecnologías de refrigeración son las siguientes:

- Sistemas de refrigeración por absorción
- Sistemas de refrigeración por adsorción.
- Sistemas de refrigeración con desecantes.

3.3. Refrigeración por absorción

Los sistemas de refrigeración por absorción son identificados con mucha frecuencia como sistemas de refrigeración solar (Kim *et al*., 2008).

El sistema de refrigeración por absorción se basa en la capacidad de una sustancia en absorber a otra sustancia, como por ejemplo el agua y el bromuro de litio o el agua y el amoniaco. Por tanto su funcionamiento depende de las reacciones físico-químicas entre un refrigerante y un absorbente. El principio general de funcionamiento de un ciclo de absorción simple se ilustra en la figura 2.

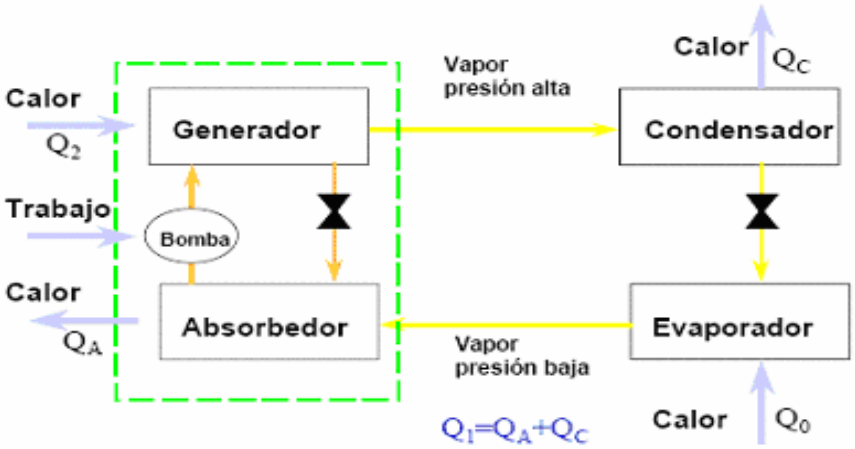


Figura 2. Fluidos y componentes del ciclo de absorción simple.

Fuente: Simulation of a solar refrigeration system for laboratories of the State Amazon University in Ecuador.

Para aplicaciones de absorción, el par usado principalmente es el agua y bromuro de litio (H_2O-BrLi), aunque también es utilizado el par amoniaco y agua (NH_3-H_2O) en aplicaciones en las que es necesaria una temperatura menor de 0ºC.

3.4 Casos Numéricos

Un sistema de refrigeración por absorción con el par bromuro de litio y agua de 23 kW de capacidad de enfriamiento, emplea energía solar y los programas de simulación TRNSYS, indica que una área de 110 m² de captadores solares de placa plana con una inclinación de 33° y 7 m³ tanque de almacenamiento, proporcionando una fracción solar anual de 70%, llega a cubrir la demanda de aire acondicionado en una casa de 145 m² de superficie (Vidal *et al*., 2009).

Se utiliza el software TRNSYS, para la modelación de la demanda de aire acondicionado, según las referencias la demanda de aire acondicionado de una casa de 120 m² de superficie se logra cubrir con un sistema de refrigeración constituido por una máquina de absorción de simple efecto Yazaki de 10 kW, una superficie de 28 m² de captadores solares de placa plana con una inclinación de 35° y un tanque de almacenamiento de agua caliente de 0,8 m³ (Djelloul *et al*., 2013).

En los últimos tiempos la mayor investigación realizada en el ámbito de la refrigeración por energía solar a pequeña escala ha sido en Europa. Una investigación canadiense realizada por Edwards determinó el rendimiento de una máquina de absorción. El sistema está compuesto por captadores solares, una torre de enfriamiento, tanques de almacenamiento de agua fría y caliente, y una máquina de absorción de 35 kW. Se utilizó el software de modelación TRNSYS para realizar el dimensionamiento del sistema; determinándose un campo de captadores solares de 50 m², un tanque de almacenamiento de agua caliente de 0,5 m³ y un tanque de almacenamiento de agua fría de 1,5 m³ (Edwards, 2011).

Los resultados de la modelización y simulación a través de TRNSYS de un sistema de refrigeración solar por absorción se describen en la referencia, con el fin de satisfacer parcialmente la demanda térmica de un edificio de oficinas. La

carga térmica por hora máxima llega a los 153 kW en el mes de marzo, el modelo propuesto usa captadores de tubos al vacío, una máquina de refrigeración de absorción de LiBr-H2O de simple efecto Yazaki WFC SC 50 con 175 kW de potencia nominal, un tanque de almacenamiento de agua caliente de 16 m³ y una caldera auxiliar externa, la superficie acondicionada es 1.296 m² y corresponde a la última planta de un edificio de 15 pisos. La pendiente óptima para los captadores solares Sunstar Olymp HP 65/20 de 2,92 m² en Guayaquil (Ecuador) es de 10°, se requiere de 600 m² de captadores solares de tubos al vacío. Estos resultados muestran que el sistema más adecuado se puede alcanzar con una fracción solar anual de 0,6 (Naranjo *et al*., 2013).

Modelo de simulación transitoria empleando TRNSYS de un sistema de calefacción y refrigeración solar. La edificación es de 1.600 m²; el sistema consiste de 300 m² de captadores solares de tubos al vacío y una máquina de refrigeración de absorción de simple efecto de Bromuro de Litio y Agua. Se determinó un volumen óptimo de almacenamiento de 75 l/m², la eficiencia de la bomba de circulación es de 0,90; el coeficiente de funcionamiento de la máquina de refrigeración es de 0,80 y una capacidad de enfriamiento de 567000 kJ/h (157,5 kW). Una mayor eficiencia podría lograrse si en el sistema de calentamiento auxiliar se emplea una bomba eléctrica, en lugar de una caldera de gas de 20.000 kJ/h (5,56 kW) (Calise *et al*., 2010).

Estudio numérico de un sistema solar de aire acondicionado para tres climas diferentes en Australia. La superficie de estudio a climatizar es de 100 m² que emplea una máquina de absorción de Bromuro de Litio y Agua de 10 kW de capacidad de enfriamiento. Se determinó que el sistema óptimo está constituido por una superficie de 50 m² de captadores solares planos y un tanque de almacenamiento del agua caliente de 1,8 m³ (Baniyounes *et al*., 2013).

Describen el desempeño de un sistema de enfriamiento por absorción para uso doméstico; el sistema fue modelado utilizando el programa de simulación TRNSYS variando el tamaño, orientación y tipo del campo de captadores

solares, así como la capacidad de almacenamiento térmico del sistema. Se encontró que la configuración óptima para la máquina de absorción de 11 kW de capacidad de enfriamiento, es de 15 m² de captadores cilindro parabólico (CPC) y un tanque de almacenamiento de agua caliente de 0,6 m^3 (Florides *et al*., 2002).

Se describe un nuevo sistema de refrigeración solar por absorción con tecnología de almacenamiento de energía avanzada, el fluido de trabajo utilizado en el sistema es un par de bromuro de litio y agua; y desarrollan los modelos dinámicos para la simulación numérica. La temperatura exterior va entre 29,5°C y 38°C, la carga máxima de aire acondicionado de 15,1 kW y la capacidad total de aire acondicionado de 166,1 kWh (598 MJ). Los resultados de la simulación indicaron que el coeficiente de rendimiento (COP) del sistema varía entre 0,75 y 0,76, el área de captación solar requerida fue 66 m² cuando se emplea aire de refrigeración y 62 m² cuando se emplea agua de refrigeración respectivamente. Este estudio muestra un camino para el diseño de estos sistemas y el control de su operación en el futuro (Xu *et al*., 2011).

Se presentó un modelo numérico para simular el comportamiento y optimizar un sistema híbrido de calentamiento y aire acondicionado solar para un edificio de 7000 m² . El modelo cuenta con una superficie de 124 m² de captadores solares planos y 108 m² de captadores solares de tubos al vacío; se abastece a la máquina de absorción de Bromuro de Litio y Agua de modelo Yazaki de 70 kW de capacidad de enfriamiento por medio de un reservorio de agua caliente de 56 m³. Cuando la demanda térmica del edificio es elevada, el sistema de refrigeración por absorción cubre solo el 43% del total de la demanda. Sin embargo, el mismo sistema solar es capaz de proveer el 90% de la demanda de calefacción (Vorobieff *et al*., 2010).

Se optimiza un sistema de aire acondicionado solar empleando TRNSYS, el sistema utiliza captadores solares de tubos al vacío, una máquina de absorción de Bromuro de Litio y Agua, y una caldera de gas como el sistema auxiliar de calentamiento. La máxima demanda de enfriamiento es de 3,5 kW. Se estableció un área de captadores solares de 35 m² con una pendiente más adecuada de 20°, y un tanque de almacenamiento de agua caliente de 0,8 m³. Se determina la importancia del empleo de captadores de tubos al vacío debido a la temperatura alta requerida en el generador y por la eficiencia de este tipo de captadores solares (Assilzadeh *et al*., 2005).

3.5 Casos Experimentales

Un sistema de refrigeración solar de bromuro de litio y agua, con una capacidad de enfriamiento de 4,5 kW, 12 m² de captadores solares de placa plana con una inclinación de 23° y un tanque de almacenamiento de 0,5 m³ llega a cubrir la demanda de aire acondicionado en una casa de 20 m² (Louafi *et al*., 2013).

El par bromuro de litio y agua es utilizado como fluido de trabajo en un nuevo sistema de refrigeración solar por absorción con tecnología de almacenamiento de energía avanzada. La temperatura exterior varía entre 29,5°C y 38°C, la carga máxima de aire acondicionado de 15,1 kW y la capacidad total de aire acondicionado de 166,1 kWh (598 MJ). Los resultados de la simulación indican que el coeficiente de rendimiento (COP) del sistema varía entre valores de 0,75 y 0,76, el área de captación solar requerida fue 66 m² cuando se emplea aire de refrigeración y 62 m² cuando se emplea agua de refrigeración respectivamente (Xu *et al*., 2011).

Interesantes resultados experimentales fueron alcanzados, mediante evaluaciones de campo del sistema de refrigeración utilizando energía del sol, el agua aumenta su temperatura por medio de una superficie de 49,9 m² de captadores

solares de placa plana, que acciona un artefacto de absorción de simple efecto de bromuro de litio y agua de 35 kW, el agua caliente se acumula en un tanque de almacenamiento de 2 m³. El COP máximo instantáneo, promedio diario y promedio del período fueron 0,60 (a su máxima capacidad), 0,42 y 0,34, respectivamente (Izquierdo *et al*., 2005).

En este artículo los autores hacen una comparación con los datos registrados de una instalación existente con el modelo de simulación TRNSYS de aire acondicionado. La instalación a climatizar tiene 200 m², una máquina de la absorción de Bromuro de Litio y Agua de simple efecto de 17,6 kW, un tanque de almacenamiento de agua caliente de 1 m³, y 38,4 m² de captadores solares de placa plana de alta eficiencia. Donde el COP de la máquina de absorción de sus datos experimentales es de 0,691 mientras que el valor de simulación es de 0,729 (Martínez *et al*., 2012).

Se presenta un sistema de aire acondicionado solar, la superficie a climatizar es de 216 m², la instalación está constituida por una máquina de absorción de Bromuro de Litio y Agua de simple efecto de 30 kW de enfriamiento, captadores solares de tubos al vacío con una superficie de 60 m², y un tanque de almacenamiento de agua caliente de 1 m³. Se comparó el comportamiento de sistemas de refrigeración solar por absorción que utilizan Bromuro de Litio y Agua. El primero es un sistema no tan grande de 4,5 kW de enfriamiento que logra climatizar una superficie de 63 m², este emplea 30 m² de captadores solares planos con un tanque de almacenamiento del agua caliente de 0,4 m³ y un tanque de almacenamiento de agua fría de 0,3 m³. El siguiente sistema tiene una máquina de refrigeración de 4,5 kW y emplea 16,6 m² de captadores solares de tubos al vacío; este sistema cuenta con un tanque de almacenamiento de agua caliente de 0,26 m³, y proporciona aire acondicionado a una instalación de 30 m² de superficie. El último es un sistema que tiene 50 m² de captadores solares de

tubos al vacío y opera una máquina de absorción de Bromuro de Litio y Agua de 35 kW (Praene *et al*., 2011).

En el continente europeo ya existen disposiciones legales para que en el año 2020 la mayor parte de edificios sean descritos Cero energía, en este artículo los autores dan a conocer la investigación realizada en un edificio de 3.050 m² de superficie, donde se emplea el software Meteonorm 6.1 para la obtención de los datos meteorológicos, se realizaron 125 simulaciones. Se obtuvo como resultados lo siguiente: para un sistema de captación solar de 300 m² y una máquina de refrigeración de 30 kW el ahorro de energía primaria es de aproximadamente 58%, para un sistema de captación solar de 750 m² y una máquina de refrigeración de 60 kW el ahorro de energía primaria es de aproximadamente 79,5%, y para un sistema de captación solar de 450 m² y una máquina de refrigeración de 30 kW el ahorro de energía primaria es de aproximadamente 66,5%. La demanda de calefacción y refrigeración es completamente cubierta por una máquina de refrigeración con un COP constante de 0,68 (Henning *et al*., 2012).

Aquí se evalúa el desempeño de una máquina de absorción que funciona con LiBr-H2O de 35 kW de capacidad de enfriamiento la cual es impulsada por un grupo de captadores solares de tubos al vacío de 72 m² y un sistema auxiliar de gas. Los resultados del estudio indicaron que el COP promedio real del sistema fue de 0,33; mientras que los valores máximos y mínimos fueron 0,50 y 0,17 respectivamente; estos resultados se obtuvieron en base al promedio de la eficiencia del captador y la fracción solar de 0,55; y con una temperatura ambiente de 32°C (Ketjoy *et al*., 2013).

Se muestra un modelo de sistema de refrigeración solar experimental a escala familiar desarrollado sobre la base de un sistema de absorción de Bromuro de

Litio y Agua, el sistema contiene 12 m² de captadores solares de tubos al vacío Thermomax DF100, una máquina de absorción de 4,5 kW, y un tanque de almacenamiento de agua fría de 1 m³. El COP promedio del sistema fue de 0,58; con una insolación media de 800 W/m² y 24ºC de temperatura ambiente (Agyenim *et al*., 2010).

En la tabla se muestra el resumen de los casos Numéricos y Experimentales.

Tabla1. RESUMEN DE CASOS NUMÉRICOS Y EXPERIMENTALES

.RESUMEN DE CASOS NUMÉRICOS Y EXPERIMENTALES	
CASOS NUMÉRICOS	***CASOS EXPERIMENTALES***
(Vidal *et al*., 2009)	(Louafi *et al*., 2013)
(Djelloul *et al*., 2013)	(Agyenim *et al*., 2010)
(Edwards, C. 2011)	(Izquierdo *et al*., 2005)
(Naranjo *et al*., 2013)	(Martinez *et al*., 2012)
(Calise *et al*., 2010)	(Praene *et al*., 2011)
(Baniyounes *et al*., 2013)	(Henning *et al*., 2012)
(Florides *et al*., 2002)	(Ketjoy *et al*., 2013)
(Xu *et al*., 2011)	
(Vorobieff *et al*., 2010)	
(Assilzadeh *et al*., 2005)	

3.6 Refrigeración por adsorción

El término adsorción se deriva de un proceso general llamado 'sorción', el cual describe la transferencia periódica de energía en dos subprocesos, en los cuales un medio sólido adsorbente bajo transferencia de energía ‘adsorbe’ una materia en estado gaseoso.

Existen algunos adsorbentes como la zeolita, sílica gel, carbón activado y alúmina; los cuales cuentan con estructuras muy porosas con relaciones de superficie-volumen en el orden de varios cientos que pueden atrapar selectivamente y mantener refrigerantes. Cuando se saturan, pueden ser regenerados simplemente por calentamiento (Vidal *et al*., 2011).

Si un adsorbente y un refrigerante están contenidos en el mismo recipiente, el adsorbente mantiene la presión mediante la adsorción del refrigerante que se evapora. El proceso es intermitente porque el adsorbente debe ser regenerado cuando está saturado. Por lo que, se necesitan múltiples camas adsorbentes para la operación continua.

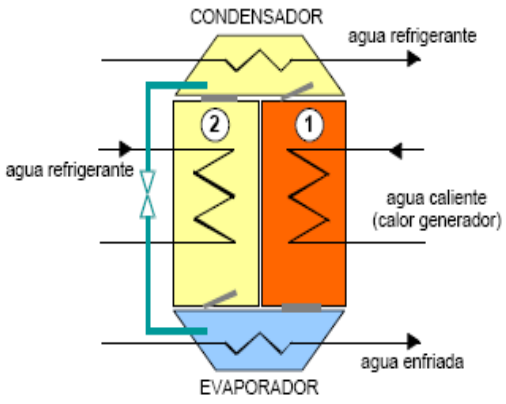


Figura 3. Ciclo de Refrigeración por Adsorción.

Adaptación: autora.

3.6.1 Refrigeración por Desecante

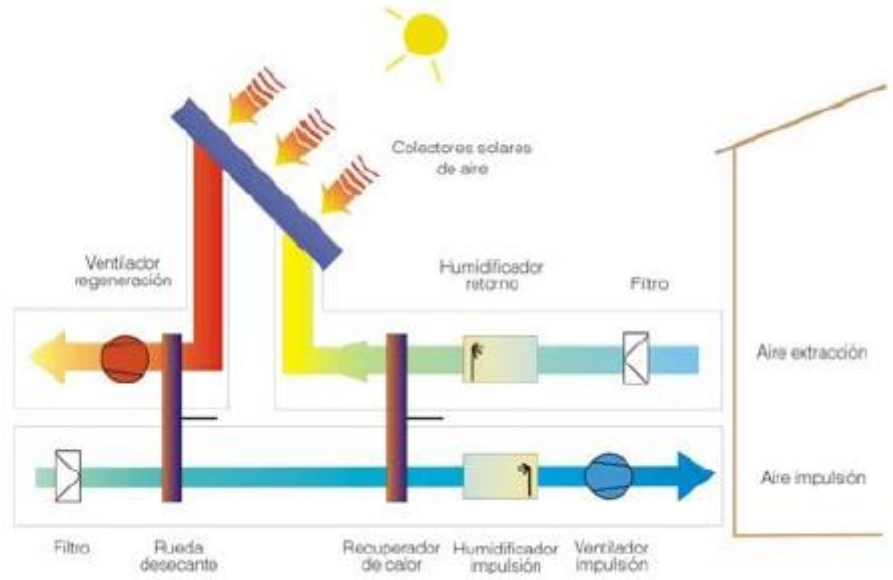


Figura 4. Refrigeración por desecante

Adaptación: autora.

Un sistema de refrigeración con desecante es un sistema completo de acondicionamiento de aire que tiene ventilación, control de humedad y los dispositivos de control de temperatura en un sistema de conductos. Por lo que no es aconsejable comparar un sistema de refrigeración con desecante con componentes tales como refrigeradores. La deshumidificación desecante brinda un control de la humedad más eficiente que las otras tecnologías. Cuando hay una gran demanda de ventilación o deshumidificación, la deshumidificación desecante accionada con energía solar puede ser una muy buena opción (Kim *et al*., 2008).

La refrigeración desecante usa absorbente para enfriar el aire. Varios desecantes están disponibles en fases líquidas o sólidas. Por lo general todos los sorbentes de la adsorción de agua se pueden utilizar como un desecante; como por ejemplo: sílica gel, alúmina activada, zeolita, cloruro de litio y bromuro de litio (Vidal *et al*., 2011).

3.7 Ventajas de los sistemas de refrigeración por absorción.

- Utilizan refrigerantes naturales.
- Pueden utilizar diferentes fuentes térmicas de activación: calor residual, termo solar, combustión, proceso, etc. Utilizan directamente energía primaria (gas o solar).
- Flexibilidad de alimentación: vapor, agua caliente o llama directa a gas.
- Permiten potenciar la aplicación de tecnologías de ahorro energético al complementarse con la cogeneración y renovables como los captadores solares térmicos.
- Reducción de la potencia eléctrica a contratar.
- Eficiencia casi constante a carga parcial.
- Silenciosa. Únicas partes móviles las bombas de solución y refrigerante.
- Menor mantenimiento, aunque éste debe ser muy especializado.
- Fiabilidad y flexibilidad de funcionamiento (mantienen prestaciones a carga parcial).
- Tecnología ampliamente conocida y desarrollada. Utilizada en todo tipo de aplicaciones (refrigeración y aire acondicionado) y en diferentes sectores (industrial y de servicios).
- Disponible comercialmente en toda la gama de potencias.
- Se pueden utilizar sistemas de refrigeración solar, ya sea como sistemas autónomos o como sistemas de aire acondicionado convencionales.
- Reducción de las cargas máximas de los servicios públicos de electricidad.
- Disminución del consumo de energía primaria y la disminución de impacto en el calentamiento global.

La condición previa para lograr un ahorro de energía primaria consiste en un tamaño adecuado tanto del colector como del almacenamiento de energía en el sistema. Para la modelación de la demanda de aire acondicionado se utiliza el módulo de construcción TRN de TRNSYS, que permite simular de

una manera dinámica los requisitos de aire acondicionado para el edificio (Djelloul *et al*., 2013).

4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1Área de estudio

El estudio se realizó en los laboratorios del Centro de Investigación, Posgrado y Conservación Amazónica (CIPCA) el mismo que se encuentra ubicado en el cantón Santa Clara, en la provincia de Pastaza, en el kilómetro 44 vía Puyo-Tena.

4.2Condiciones meteorológicas

El CIPCA cuenta con un ambiente tropical donde la precipitación anual alcanza los 4000 mm, la humedad relativa es del 80% y la temperatura varía entre 15 a 32 °C. Su topografía se caracteriza por relieves ligeramente ondulados sin pendientes pronunciadas, distribuidos en mesetas naturales de gran extensión; la altitud varía entre los 580 y 990 msnm; la longitud es de -77,88 ° Este; la latitud es de -1,24° Norte.

Las demás especificaciones meteorológicas se registran cada 30 minutos como son: temperatura, humedad, precipitación, presión absoluta, radiación solar, velocidad del viento; desde el mes de junio del año 2013 hasta la actualidad.

4.3 Duración del Proyecto

Este proyecto desde el planteamiento del tema hasta la presentación de resultados, tuvo una duración de 7 meses dividido en las siguientes etapas que se muestran a continuación, y se emplearon los datos de las estaciones meteorológicas que se tomaron desde el mes de julio del año 2013.

- Inspección física y reconocimiento del laboratorio objeto de estudio, Redacción y presentación del perfil de tesis, Redacción y presentación del anteproyecto **(1MES).**
- Toma de datos de la estación meteorológica del CIPCA, Revisión de literatura (Estudios de casos numéricos - Revisión de contenido del software TRNSYS 17 para el sistema de refrigeración) **(1 MES).**
- Medición del laboratorio y cálculo de las cargas térmicas **(1 MES).**
- Modelación del sistema de refrigeración solar TRNSYS17 **(1 MES).**
- Simulación del sistema de refrigeración solar TRNSYS17 **(1 MES).**
- Respuesta final del sistema de refrigeración modelado y simulado - Análisis de resultados - Redacción del primer borrador - Presentación final **(2 MESES).**

4.4 Materiales y equipos

4.4.1 Equipos

- Estación meteorológica
- Software :
  -Easy Weather Plus
  -Hourly Analysis Program Carrier
  -TRNSYS17 considera los siguientes equipos (Captadores solares, Bomba1, Tanque de almacenamiento de agua caliente, Equipo de calentamiento auxiliar, Bomba 2, Máquina de absorción, Torre de enfriamiento)
- Calculadora
- Cámara
- Impresora

4.4.2 Materiales de oficina

- Bolígrafos
- Libreta - Resmas de papel

4.5 Factores de estudio

Los factores de estudio se presentan estructurados en la tabla 2.

Tabla 2. VARIABLES INDEPENDIENTES Y DEPENDIENTES

TIPO	**VARIABLES**	**DEFINICIÓN** **En relación al proyecto**	**UNIDADES DE MEDIDA**
INDEPENDIENTES	TEMPERATURA AMBIENTAL	Es la temperatura ambiente que varía de acuerdo al tiempo que se registra cada 30 minutos en el programa.	°C
	HUMEDAD RELATIVA	Humedad relativa es la cantidad de agua que se encuentra en el ambiente e importante para el proceso de climatización.	%
	RADIACIÓN SOLAR	Es la cantidad de potencia por m² que se encuentra presente y se registra cada 30 minutos, las radiaciones solares son: directa, indirecta, difusa, y total.	W/m²
DEPENDIENTES	FLUJO DE AGUA DE SALIDA	Es la cantidad de masa por unidad de tiempo que ingresa y sale de los colectores solares.	Kg/h
	TEMPERATURA DE SALIDA	Es la temperatura de entrada y salida del agua de los colectores solares medidos cada 30 minutos.	°C
	COEFICIENTE DE FUNCIONAMIENTO	Es el rendimiento de los colectores solares, que varía de acuerdo a las variables dependientes.	Adimensional
	CARGA TERMICA	Es la cantidad de potencia requerida para climatizar el laboratorio	kW

4.6 Procedimientos, diseño de la investigación y sustentación de los resultados.

4.6.1 Reconocimiento de la zona

Se efectuaron visitas al Centro de Investigación, Posgrado y Conservación Amazónica perteneciente a la UEA, para tomar en cuenta las instalaciones que se involucrarían y beneficiarían de este proyecto, siendo los laboratorios los que participaron en esta investigación.

4.6.2 Descripción de las instalaciones de los laboratorios del CIPCA

Mediante los planos de la instalación se pudo conocer el dimensionamiento de cada ambiente, estos datos fueron ingresados al programa Carrier 4.04 logrando así determinar y obtener los valores de la carga térmica mensualmente y anualmente, para de esta manera poder proseguir con la selección de los equipos a utilizarse en el sistema general.

Las instalaciones donde se realiza el estudio cuentan con diez ambientes:

1.- Aula biblioteca (Área 24m^2)

2.-Oficina técnicos (Área 15,04 m^2)

3.-Estereoscopia (Área 15,36 $m^{2)}$

4.-Colección de herbario (Área 71,1 m^2)

5.-Prearchivo (Área 15,36 m^2)

6.-Dirección (Área 8,84 m^2)

7.-Bodega (6,45 m^2)

8.-Baño (2,03 m^2)

9.-Sala de espera (21,97 m^2)

10.-Hall (Área 44,80 m^2)

Esta instalación tiene una altura de 2,7 m.

4.6.3 Toma de datos de las estaciones meteorológicas

La toma de datos se basó en la recopilación de datos cada 30 minutos de las variables independientes (Temperatura °C, Humedad %, radiación solar W/m^2). Estos datos fueron interpretados mediante el software EASYWEATHERPLUS y también mediante METEONOROM. La recopilación de estos datos se efectuó desde julio del 2013 hasta la actualidad.

4.6.4 Determinación de la carga térmica

Realizar un cálculo exacto de la carga térmica es muy importante cuando se habla de un proyecto de climatización.

Existen distintas fuentes de donde se originan estas cargas, siendo algunas complicadas de predecir y evaluar.

Con frecuencia existen errores al momento de estimar la carga térmica y no siempre es por las pequeñas inexactitudes de cálculo, sino por la omisión de alguna de las fuentes.

A continuación se exponen, de forma general, las mayores fuentes de carga térmica:

1. Carga de los productos: enfriamiento y mantenimiento a bajas temperaturas de un producto.
2. Carga de transmisión de calor a través de paredes, techo, suelo, puertas y tuberías.
3. Carga de radiación a través de superficies acristaladas.
4. Ocupantes: calor sensible desprendido por las personas.
5. Equipos eléctricos: calor procedente de las luces, motores y otros aparatos.
6. Cargas por infiltración: intercambio de aire acondicionado con aire exterior a través de puertas abiertas y grietas.
7. Ventilación: la sustitución controlada de aire acondicionado por aire exterior.
8. Carga latente: condensación, de la humedad procedente de fuentes tales como personas, equipos de cocina y aire exterior.
9. Otras: adición de cargas originadas en condiciones anormales.

En el laboratorio de estudio no existen todas las fuentes expuestas anteriormente, por lo tanto se analizaran solo las que estén presentes en la instalación.

El cálculo de carga térmica ha sido históricamente un procedimiento controversial que depende de muchas consideraciones (estimaciones) que se debe realizar antes de proceder con el cálculo del diseño del sistema de climatización.

Por lo que, realizamos el análisis con las ecuaciones empíricas, basados en la metodología para el cálculo, que se expone en la bibliografía de STOECKER W. F. (1987).

4.6.4.1 Temperaturas de trabajo.

El primer paso a seguir para realizar el cálculo de la carga térmica es establecer la temperatura con la se va mantener la instalación y la temperatura ambiente que se espera.

La temperatura ambiente depende de la región donde esté ubicada la instalación, que en este caso se encuentra en el CIPCA, cantón Santa Clara con una temperatura de 15° a 32° con un ambiente tropical.

La temperatura del espacio depende de la aplicación que se vaya a desarrollar en cada uno de ellos.

4.6.5 Estimación de la carga sensible.

4.6.5.1 Carga por trasmisión.

Cuando hay diferencia de temperatura a través de cualquier estructura, se producen trasmisiones de calor por conducción al interior de un ambiente refrigerado a través de las paredes, techos y suelo. La cantidad de calor trasmitida en la unidad de tiempo dependerá de la resistencia que ofrezca dicha estructura entre los dos puntos considerados.

El flujo de calor se calcula a partir de la ecuación:

$$q_t = A * U(t_0 - t_1)$$

Dónde:

q_t = calor trasmitido por unidad de tiempo (kW)

U = coeficiente total de transmisión de calor, (kW/(m^{2o}C)

A = superficie, (m^2)

t_0 = temperatura ambiente media, (°C)

t_1 = temperatura del espacio refrigerado o acondicionado, (°C)

4.6.5.2 Transmisión por radiación.

La carga trasmitida se refiere a la energía incidente en las instalaciones a través de los rayos solares que penetran por las ventanas y aquella energía es acumulada en cualquier cuerpo que se vea expuesto a ellos. Viene determinada por la siguiente expresión:

$$q_{rad} = A_{crist} * I * f$$

Dónde:

q_{rad} = calor por radiación, (kW)

I = irradiación, (kW/m^{2o}C)

A_{crist} = área de la superficie acristalada a través de los cuales penetran los rayos del sol, (m^2)

f = factor de transmisión dependiente del tipo de cristal, uso de cortinas, etc. Para este trabajo se consideró el uso de cortinas f = 0,6

4.6.5.3 Carga aportada por los ocupantes.

Todos los seres humanos o criaturas vivientes continuamente desprenden calor. El cuerpo humano, debido al funcionamiento de su metabolismo, produce calor en su interior que lo expulsa ya sea por radiación, convección o evaporación mediante el sistema respiratorio. La cantidad de calor generado y disipado depende de la temperatura ambiente y de la actividad que realiza la persona.

La ecuación utilizada en este caso es la siguiente:

$$q_{so} = N(ICSP)F_p$$

q_{so} = calor sensible aportado por las personas, (kW)

N = número de personas en los locales.

ICSP = índice de calor sensible por persona, (kW)

F_p = factor de presencia de las personas en los locales.

4.6.5.4 Carga aportada por equipos eléctricos.

Las luces, los motores y otros dispositivos, contribuyen a la carga de enfriamiento. Los elementos de iluminación convierten la energía eléctrica en luz y calor, aportando solamente carga sensible. El calor desprendido por las luces viene dado por la ecuación:

$$q_i = 1.25 * F_u * N_b * P$$

Dónde:

q_i = carga sensible aportada por la iluminación, (kW)

F_u = factor de utilización

N_b = número de bombillas

P = potencia instalada, (W)

El calor que generan los motores eléctricos depende de que si el motor está o no situado en la instalación climatizada. Si toda la energía provista al motor permanece en el espacio climatizado, la potencia eléctrica total se convierte en calor. Este sería el caso de los motores de equipos eléctricos o mecánicos que están ubicados en el laboratorio del CIPCA, el mismo que corresponde al motor del refrigerador. $q_e = N * m * fu$

q_e = carga sensible aportada por equipos, (kW)

F_u = factor de utilización

m = número de bombillas

4.6.5.5 Infiltraciones.

Esta carga que se incrementa es debido al aire frío que es desplazado por el aire exterior que ingresa a través de las grietas alrededor de las puertas y ventanas o cuando se abre una puerta. Conociéndose el volumen de aire que entra por infiltración, la carga sensible que entra debido a esta infiltración se calcula por la ecuación:

$$q_{in} = V * \rho * C(t_0 - t_1)$$

Dónde:

q_{in} = carga sensible por infiltración, (kW)

V = caudal de aire infiltrado, (m^3/h)

ρ = densidad del aire, (kg/m^3)

C = calor especifico del aire = 1,0245 (J/kg^oC)

4.6.5.6 Ventilación.

Para minimizar los olores y para mantener la frescura del aire, se debe proveer continuamente una cantidad de aire exterior a cualquier local ocupado por el público. Esta carga viene determinada por dos términos, uno sensible referido a la potencia calórica que se introduce por el simple hecho de tener dos fluidos a distintas temperaturas y otro latente que cuantifica la potencia calórica debido a la humedad relativa del aire.

La ecuación necesaria es la siguiente:

$$q_{sv} = 1.2 * V_v (T_E - T_L)$$

Dónde:

q_{sv} = Calor sensible aportado por el aire de ventilación, (kW)

V_v = Volumen de ventilación, (m^3/h)

T_E = Temperatura del aire exterior, (°C)

T_L = Temperatura en el interior del local, (°C)

4.6.5.7 Carga sensible total.

Se obtiene sumando solo las cargas sensibles.

$$Q_{ST} = q_t + q_{rad} + q_{so} + q_i + q_e + q_{in} + q_{sv}$$

4.6.6 Estimación de la carga latente.

En las instalaciones que requieren control de humedad, se debe principalmente cuantificar la carga de humedad que se pretende eliminar.

Para seleccionar el diseño los distintos valores de humedad entre el espacio controlado y los alrededores, depende de la carga que aporte cada elemento.

En el laboratorio se desea mantener una temperatura en su interior de 18^{o}C con 50% de humedad relativa en su interior.

Realizando este análisis, queda claro que para calcular la carga latente el primer paso es obtener la temperatura y las cargas de humedad dentro y fuera del espacio controlado.

Pueden tener algunas especificaciones como diversas aplicaciones en las condiciones internas que son determinadas por el producto o proceso.

Para el cálculo de la carga de humedad, deben ser seleccionados dos grupos de condiciones exteriores. Siendo las condiciones inmediatas de los alrededores del espacio controlado el primer grupo. Estos regularmente se usan para el cálculo de las cargas que penetran a través de las paredes, fugas de aire y apertura de puertas. La temperatura y humedad del aire fresco que entra a la instalación ya sea para ventilación o para renovar el aire en la sala, son el segundo grupo de condiciones. Para realizar el cálculo de carga de humedad para cada elemento, es necesario seleccionar las condiciones de diseño externas e internas.

Existen 7 fuentes principales de humedad:

- Infiltraciones a través de piso, techo y paredes.
- Evaporación debido al sudor y la respiración de las personas.
- Desorción de productos húmedos.
- Evaporación de superficies húmedas o tanques abiertos.
- Infiltraciones de aire a través de agujeros o aperturas de puertas.
- Aire exterior para ventilación.
- Generación de humedad por combustión.

En el presente proyecto se analizó las principales fuentes de humedad.

4.6.6.1 Infiltraciones por suelo, techo y paredes.

La humedad se puede difundir a través de los materiales sólidos a una razón proporcional a la diferencia de presión de vapor a través del material e inversamente proporcional a la porosidad del mismo.

Para calcular esta infiltración de humedad se utiliza la expresión:

$$q_{Li} = P * A(\Delta VP)$$

Dónde:

q_{Li} = carga latente por infiltración, (kW)

P = coeficiente de infiltración del material, (kW/m^{2}kPa)

A = área de la superficie del material, (m^2)

ΔVP = diferencia de presión de vapor a través del material, (kPa)

4.6.6.2 Aportada por el personal de trabajo.

Como estas personas trabajan en el local deshumidificado, aportan humedad debido a su respiración y a la evaporación del sudor de su piel. La razón depende de la clase de trabajo y en cierto grado del nivel de humedad que exista.

Esta carga viene dada por la expresión:

$$q_{lo} = N(ICLP)F_p$$

Dónde:

q_{lo} = calor latente aportado por las personas, (kW)

N = número de personas en los locales

ICLP = índice de calor latente por persona, (kW)

F_p = factor de presencia de las personas en los locales

4.6.6.3 Infiltraciones de aire.

Ninguna instalación, construcción o sistema de manejo de aire es herméticamente sellado, todos los locales dejan pasar una pequeña cantidad de aire que traslada humedad dentro del espacio condicionado. La humedad penetra en los locales a través de flujos de aire que entran por las grietas que existen en las paredes.

Por ejemplo, una grieta de 0.0015 m de ancho y 0.3 m de largo, deja pasar humedad a razón de 0.09472 kg/h en una ligera brisa, estas infiltraciones se calculan por la siguiente expresión:

$$q_{lg} = A * \rho * 60 * V_a (M_o - M_i)$$

Dónde:

q_{lg} = carga latente debido a infiltraciones por grietas o aberturas, (kW)

A = área de la abertura, (m^2)

ρ = densidad del aire de infiltración, (kg/m^3)

V_a = velocidad del aire a través de la abertura, (m/s)

M_o = humedad fuera de la habitación, ($g/kg_{aire\ seco}$)

M_i = humedad dentro de la habitación, ($g/kg_{aire\ seco}$)

4.6.6.4 Carga latente aportada por el aire de ventilación.

Existen tres motivos importantes para introducir aire fresco dentro de un sistema: para proveer de ventilación a las personas, para sustituir el aire que descargan los ventiladores y para mantener una presión de aire positiva en la habitación comparada con la de los alrededores. La cantidad de aire para cada una de estas funciones puede variar depende de las aplicaciones.

Esta carga la podemos calcular como:

$$q_{lv} = 2970 * V_v (W_E - W_L)$$

Dónde:

q_{lv} = Calor latente aportado por el aire de ventilación, (kW)

V_v = Volumen de ventilación, (m^3/h)

W_E = Humedad absoluta del aire exterior, ($kg_{vapor\ de\ agua}/kg_{aire\ seco}$)

W_L = Humedad absoluta del aire en el local, ($kg_{vapor\ de\ agua}/kg_{aire\ seco}$)

4.6.6.5 Carga latente total.

La carga latente total en el local se calcula mediante la sumatoria de las cargas latentes antes expuestas.

$$Q_{LT} = q_{li} + q_{lo} + q_{lg} + q_{lv}$$

4.6.7 Carga total.

La carga total existente en el local es la suma de la carga sensible más la carga latente.

$$Q_{total} = Q_{latente} + Q_{sensible}$$

4.6.8 Aplicación del paquete informático

El software TRNSYS 17 corresponde a la última versión existente en la actualidad, el mismo que sirve para realizar la modelación y simulación de sistemas que emplean todas las clases de energías renovables. En el presente estudio se realiza la modelación y simulación empleando la energía solar térmica como fuente renovable de energía, de acuerdo a los resultados obtenidos en las estaciones meteorológicas instaladas en el CIPCA se determinó que la fuente renovable de energía que tiene un mayor potencial es la energía solar térmica, la misma que se utiliza en el sistema de refrigeración por absorción.

4.6.9 Empleo del software de modelación.

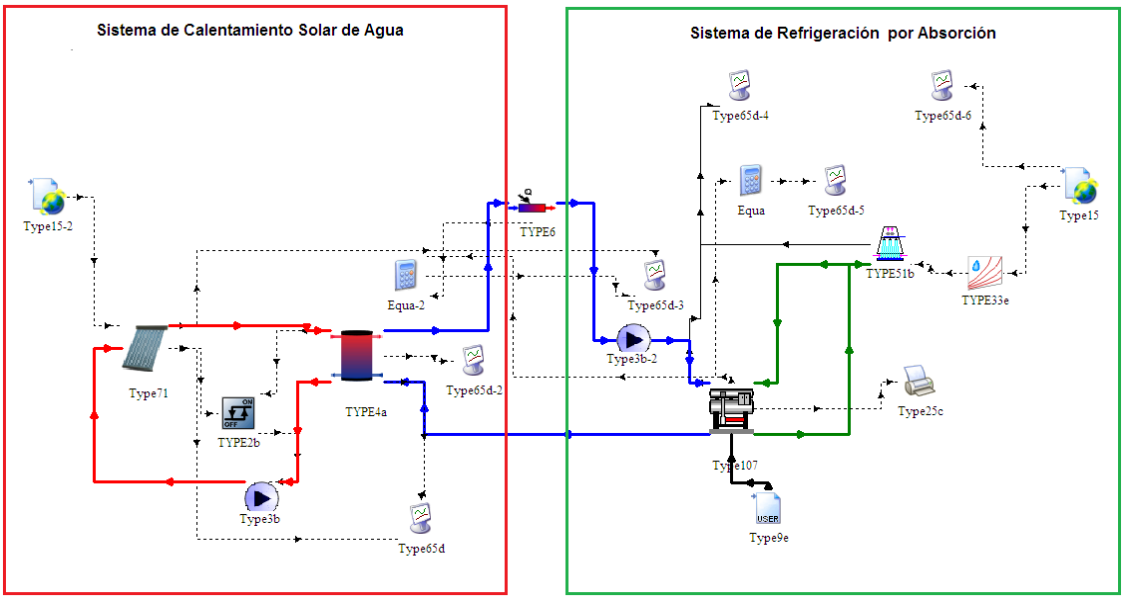
Se seleccionó el software Transient System Simulation Tool (TRNSYS 17) por ser el programa de simulación más adecuado para simulaciones de sistemas de climatización solar a nivel mundial, porque contiene formulas y modelos matemáticos de autores de trascendencia en calentamiento solar y máquinas de refrigeración por absorción.

TRNSYS 17 contiene distintas librerías con muchos componentes que se emplean normalmente en esta clase de sistemas, en especial los componentes de lectura de archivos externos como datos meteorológicos y datos de comportamiento de máquinas comerciales; por estas razones, el programa Transient System Simulation Tool (TRNSYS 17) se ajusta adecuadamente al comportamiento real de un sistema a lo largo del tiempo.

El sistema de refrigeración solar modelado está formado de dos partes: una parte del sistema solar de calentamiento de agua, y otra parte del sistema de refrigeración por absorción. La radiación solar incidente calienta el agua en un campo de colectores solares de tubos al vacío, esta agua caliente fluye hacia un tanque de almacenamiento, y posteriormente es transportada hasta la máquina de absorción a través de un calentador auxiliar que se activa si el agua caliente no tiene la temperatura mínima de 88°C. El agua caliente que se emplea en la máquina de absorción retorna a la parte inferior del tanque de almacenamiento. El agua que se emplea para el condensador de la máquina de absorción viene desde la torre de refrigeración y retorna a la misma después de condensar el refrigerante. De acuerdo a la demanda térmica a satisfacer, se emplea un flujo variado de agua fría a 7°C a la salida de la máquina de absorción. Las simulaciones del modelo planteado fueron realizadas a través del programa TRNSYS 17, constituye una herramienta más empleada en la simulación de esta clase de sistemas. TRNSYS 17 contiene distintas librerías con muchos componentes que se emplean normalmente en esta clase de sistemas, en especial los componentes de lectura de archivos externos como datos meteorológicos y datos de comportamiento de máquinas comerciales; por estas razones, el programa TRNSYS 17 se ajusta adecuadamente al comportamiento real de un sistema a lo largo del tiempo.

5. RESULTADOS

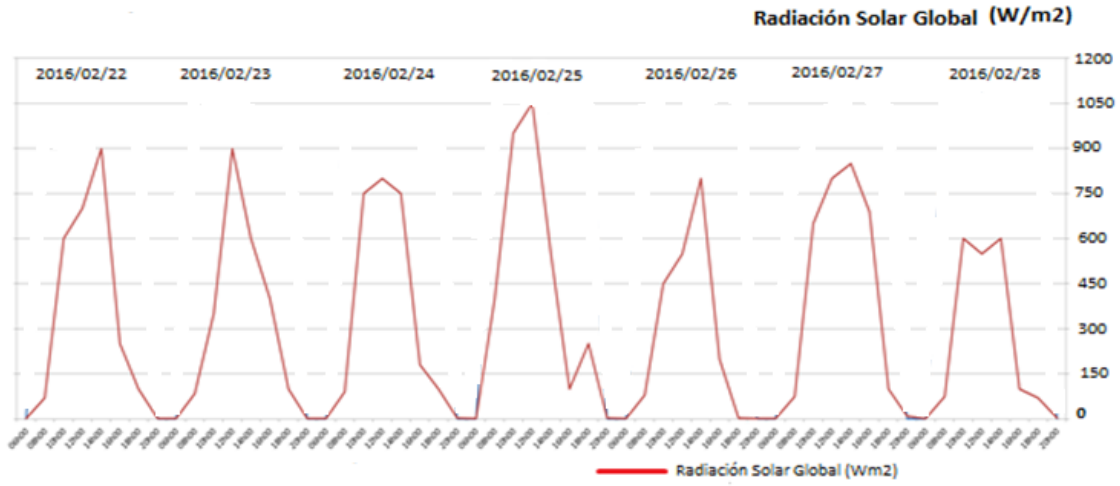
Figura 5. Sistema de Refrigeración solar modelado en TRNSYS 17



La figura 5, indica la modelación y simulación empleando TRNSYS del sistema de refrigeración solar.

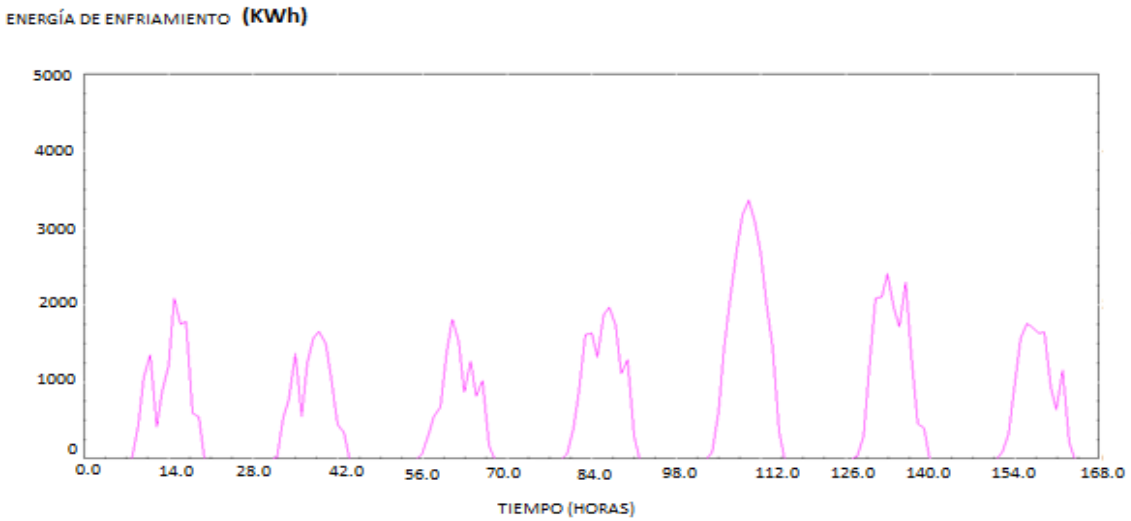
Se realizo la simulacion y modelacion de este sistema empleando tres areas de sistema de captacion solar de: 90, 100 y 110 m^2, obteniendose mejores resultados cuando se emplea una area de captacion de 100 m^2.

Gráfico 1 . Radiacion solar.



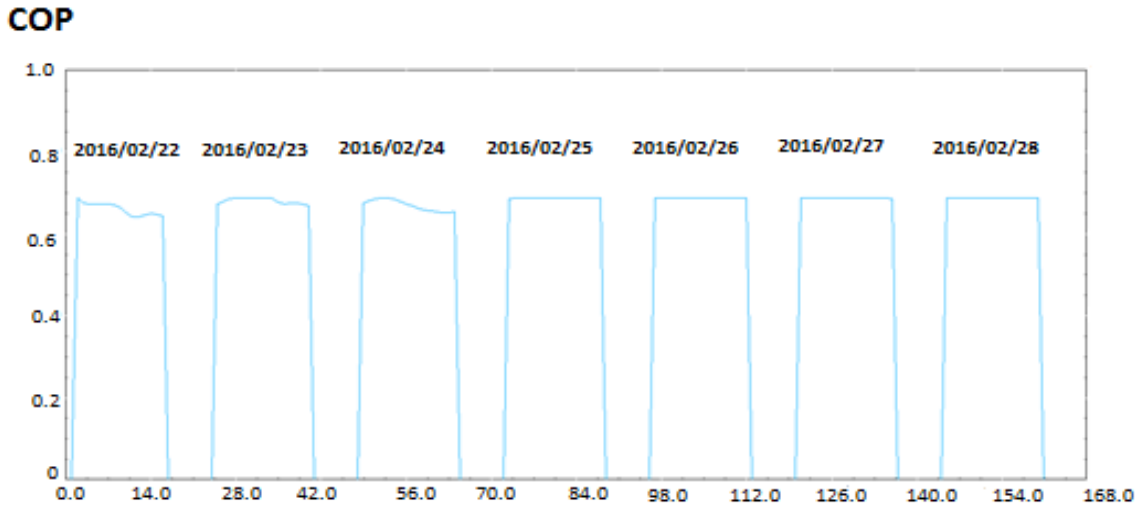
Se obtiene valores maximos de calentamiento total de 36,5 KW/h; y radiacion solar global de 1050 W/m^2.

Gráfico 2. Energia de enfriamiento



El grafico 2 muestra el valor máximo de energía de enfriamiento que se detectó el día viernes con 3400W y el valor mínimo el día martes con 1700W.

Gráfico 3. Coeficiente de rendimiento.



El grafico 3 muestra el coeficiente de rendieminto. El COP máximo fueron los días: jueves, viernes, sábado y domingo con 0,68 y el COP mínimo el día lunes con 0,65. El COP declarado por el fabricante es de 0,7.

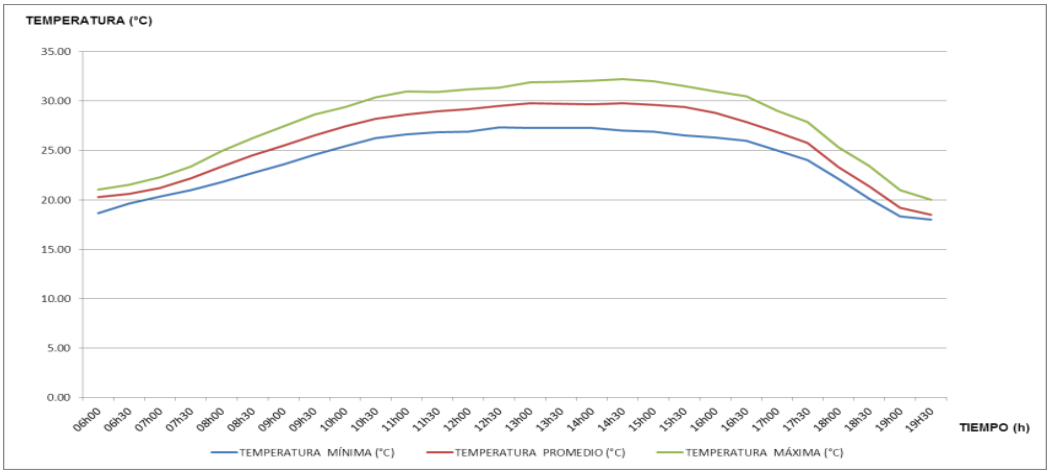
Tabla 3. RESULTADOS DEL CÁLCULO DE CARGA

Descripción del sistema	**Consultorio médico**
Carga sensible total del sistema (W)	13.724
Carga latente total del sistema (W)	5.892
Carga total (W)	19.616
Carga total (TR)	5,57
% de carga latente sobre carga total	30,04

La tabla 3 muestra los resultados de la carga térmica.

Como se observa en el laboratorio la carga total a vencer es de 19,6 kW, lo que equivale a 5,57 toneladas de refrigeración (TR), representando la carga latente el 30,04 % de la carga total.

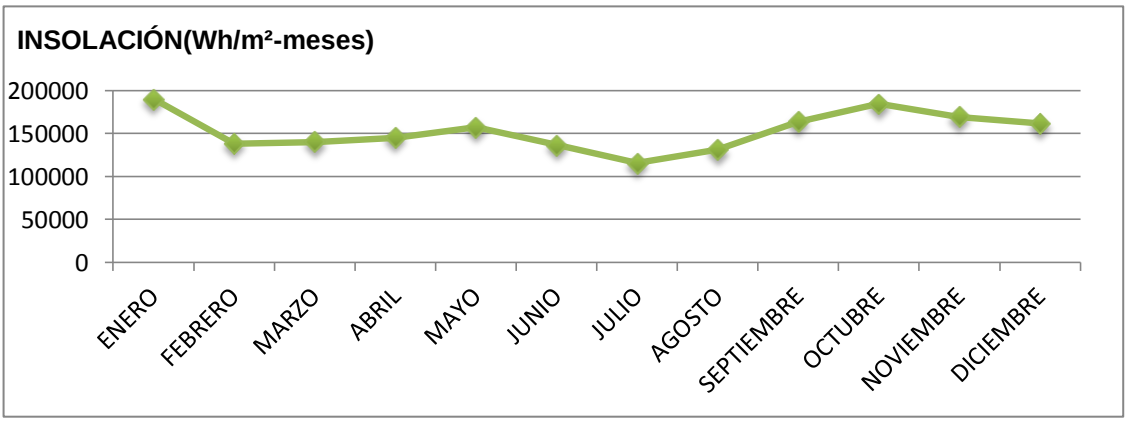
Gráfico 4. Temperatura promedio del año 2015 de 06h00 a 19h00 en el CIPCA-UEA, en Ecuador



El grafico 4 muestra la temperatura promedio del año 2015 en el CIPCA.

El intervalo de tiempo de 07h30 a 19h30, corresponde al horario de trabajo en los laboratorios; y según esta variación de temperatura considerada, genera la necesidad de climatización durante todo el año. El CIPCA por encontrarse a la cercanía de la línea ecuatorial hace que esta región tenga un fuerte potencial solar durante aproximadamente 12 horas de sol por día.

Gráfico 5. Insolación mensual en el CIPCA-UEA, en Ecuador



El grafico 5 muestra la insolación mensual del CIPCA.

Es importante indicar que a diferencia de la temperatura, la insolación solar varía según la época del año. Como se puede observar en la grafico 5, durante los meses junio, julio, y agosto; la insolación es menor debido a la alta nubosidad que existe en esta época de lluvia.

Tabla 4. EFICIENCIAS DE LOS COLECTORES DE TUBOS AL VACÍO

Eficiencias de los colectores de tubos al vacío	
Eficiencia de intercepción	0,555
Eficiencia del coeficiente de primer orden negativa	0,98
Eficiencia del coeficiente de segundo orden negativa	0,0035

Como la energía que se va a utilizar en el sistema de refrigeración por absorción es la energía solar se debe seleccionar la tecnología captadora. Por estudio bibliográfico realizado se justifica la utilización de captadores de tubos al vacío ya que las temperaturas del agua requeridas en el generador de la máquina de absorción son de alrededor de 100ºC, y en ese rango de temperaturas los captadores de tubos de vacío ofrecen un mejor desempeño.

Para la simulación se considera los colectores solares de tubos al vacío Factsheet Olymp Sunstar HP 65/20, teniendo fundamentalmente, en cuenta su eficiencia, costos de instalación, costos de mantenimiento y disponibilidad.

Para este análisis se consideró la cantidad de calor que se aporta por medio de los colectores solares y del sistema auxiliar de calentamiento a la máquina de absorción. Para determinar la pendiente óptima de los colectores solares HP 65/20 Olymp Sunstar de 2,92 m² a emplearse en el CIPCA, se analiza la cantidad de energía captada a diferentes ángulos de inclinación durante un año.

Tabla 5. MODIFICADORES DEL ÁNGULO DE INCIDENCIA

MODIFICADORES DEL ÁNGULO DE INCIDENCIA										
Ángulo	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
IAM longitudinal	1	1	1	1	0,99	0,96	0,89	0,77	0,5	0
IAM transversal	1	1	1	1,11	1,12	1	0,83	0,61	0,37	0

Tabla 6. ANÁLISIS ECONÓMICO

ANALISIS ECONÓMICO				
			COSTO ($)	
EQUIPO	**UNIDAD**	**CANTIDAD**	**Unidad**	**Total**
Colectores solares de tubos al vacío de 2,92 m^2	**U**	**35**	**320**	**11.200**
Tanque de almacenamiento	**U**	**1**	**1.000**	**1.000**
Bombas	**U**	**2**	**250**	**500**
Sistema de control	**U**	**1**	**1.000**	**1.000**
Tanque de calentamiento	**U**	**1**	**3.500**	**3.500**
Máquina de absorción de bromuro de litio y agua de 20 KW	**U**	**1**	**3.5000**	**3.5000**
TYPE 51b	**U**	**1**	**2.200**	**2.200**
Instalación y montaje	**U**	**1**	**16.320**	**16.320**
COSTO TOTAL				**70.720**

6. CONCLUSIONES

- En el estudio realizado se muestra al sistema de refrigeración solar por absorción como una alternativa interesante para climatizar los laboratorios del CIPCA de la Universidad Estatal Amazónica en la ciudad del Puyo, debido a que el Ecuador cuenta con un alto potencial solar.

- En las instalaciones de los laboratorios estudiados del CIPCA se requiere de 5 m^2 de superficie de captación de colectores solares para proporcionar 1Kw de enfriamiento.

- En estas instalaciones para 11,25 m^2 de laboratorio, se requiere 1KW de enfriamiento.

- Para estas condiciones de enfriamiento, en un área de 2,25 m^2 de los laboratorios del CIPCA, se requiere 1m^2 de área de colectores solares de tubo de vacío.

- De acuerdo a estas condiciones simuladas según TRNSYS 17 se requiere de $ 3.536 por cada KW de enfriamiento.

- El consumo de energía eléctrica en el sistema tradicional es 5 veces mayor que el sistema propuesto.

Tabla 7. BENEFICIOS ECONÓMICOS, SOCIALES Y AMBIENTALES (S. TRADICIONAL – S. PROPUESTO)

Con el empleo de este sistema de refrigeración se obtiene los siguientes beneficios:

BENEFICIOS	SISTEMA TRADICIONAL	SISTEMA PROPUESTO
ECONÓMICO	• Consumo de energía eléctrica: 5 Split de 2,2 KW= 11 KW con caudal de aire de 600 m3/h, trabajando 8 horas diarias se tiene el consumo de energía eléctrica diaria de 88 KWh, a un valor de 0,65 $/KWh se tiene un costo diario de $ 57,20. • El costo de los combustibles aumenta con el paso del tiempo al ser éstos cada vez más escasos.	• Disminución del consumo de energía eléctrica. El consumo de energía eléctrica de: 2 bombas , sistema de control y torre de enfriamiento; es de 3 HP (2,208 KW), trabajando 8 horas diarias el consumo de energía eléctrica diaria es de 17,66 KWh a un valor de 0,65 $/KWh se tiene un costo diario de $ 11,48. El consumo de energía eléctrica en el sistema tradicional es 5 veces mayor que el sistema propuesto. • El costo de operación y mantenimiento disminuye a medida que la tecnología va avanzando.
AMBIENTAL	• Disminución de emisiones de bióxido de carbono a la atmósfera. • Emiten un % de gases de efecto invernadero. 1KWh = 400gr CO_2 Split 88KWh = 35.200gr CO_2	• Eliminación de contenido de bióxido de carbono. • No emite gases perjudiciales para la salud ni emite gases de efecto invernadero que afecten el cambio climático. • La energía solar es una fuente inagotable, limpia, silenciosa.
SOCIAL		• Capacitación a la comunidad en el empleo de fuentes renovables de energía. • Crea conciencia y educación ambiental en las personas de la comunidad. • Genera fuentes de trabajo al momento de su implementación y montaje.

7. RECOMENDACIONES

- Realizar un estudio de mercado para determinar colectores solares de mayor eficiencia.

- Emplear tanques de calentamiento de agua de mayor durabilidad y eficiencia en función del costo unitario.

- Realizar un estudio de mercado para obtener la máquina de absorción de bromuro de litio y agua de 20 KW de capacidad de enfriamiento, con la finalidad de reducir su precio debido a que este equipo constituye una pieza importante en todo el sistema de refrigeración.

- Realizar una modelación y simulación según TRNSYS empleando en si los componentes con mayor eficiencia y rentabilidad para que su costo total sea el más adecuado posible.

- Capacitación a la Comunidad en donde se va a instalar este sistema, sobre el empleo de fuentes renovables de energía en sistemas de refrigeración por absorción; y sobre todo en el cuidado al medio ambiente.

8. RESUMEN

En este trabajo se expone la simulación de un sistema de refrigeración por absorción empleando energía solar, como una alternativa para climatizar los laboratorios del Centro de Investigación, Posgrado, y Conservación Amazónica (CIPCA) de la Universidad Estatal Amazónica.

La metodología con que se llevó a cabo esta investigación fue:

Reconocimiento de la zona donde se efectuaron visitas al CIPCA, para tomar en cuenta las instalaciones que se involucrarían y beneficiarían de este proyecto.

Descripción de las instalaciones de los laboratorios del CIPCA, donde mediante los planos de la instalación se pudo conocer el dimensionamiento de cada ambiente, estos datos fueron ingresados al programa Carrier 4.04 logrando así determinar y obtener los valores de la carga térmica mensualmente y anualmente.

Toma de datos de las estaciones meteorológicas la cual se basó en la recopilación de datos cada 30 minutos de las variables independientes (Temperatura °C, Humedad %, radiación solar W/m^2). Estos datos fueron interpretados mediante el software EASYWEATHERPLUS y también mediante METEONOROM.

Determinación de la carga térmica utilizando el software Carrier E20.

Empleo del software de modelación, las simulaciones fueron realizadas empleando el programa de TRNSYS 17.

Se realizó el cálculo de estimación de la carga térmica en los laboratorios objeto de estudio (224,95 m²) utilizando el software Carrier E20, el mismo que suministra una necesidad de enfriamiento de 19,616 kW, de acuerdo a la ubicación geográfica de los laboratorios en el CIPCA, la demanda de energía para climatización es durante todos los meses del año. El sistema planteado de refrigeración por absorción que utiliza energía solar, se conforma de los siguientes componentes principales: una máquina de absorción Yazaki de simple efecto de Bromuro de Litio y Agua de 20 kW o 5,68 toneladas de refrigeración (TR), colectores solares de tubos al vacío, un tanque de almacenamiento de agua caliente, un sistema auxiliar de calentamiento, y una torre de

enfriamiento. Las simulaciones fueron realizadas empleando el programa de TRNSYS 17; Los resultados muestran que el sistema más adecuado emplearía un área de captación de energía solar de 100 m^2 que será entregada con 35 colectores de tubos al vacío marca Factsheet Olymp Sunstar HP 65/20 con una inclinación de 10° orientados al norte, un volumen de almacenamiento de agua caliente de 3,2 m^3 y un flujo de agua en los colectores de 3.000 kg/h.

9. SUMARY

In this paper the simulation of the United Nations System Exposes absorption cooling using solar energy as an alternative to heat laboratories Research Centro de Investigacion, Posgrado y Conservación Amazónica (CIPA) of Universidad Estatal Amazónica.

The Methodology was carried out esta investigation was:

Recognition of the area where visits were made to CIPCA, para take into account the facilities that would be involved and benefit of esta Project.

Description of laboratory facilities CIPCA, where planes Through Facility it was known sizing Each environment, these data Were admitted to making Carrier Program 4.04 determine S. obtain and Values monthly thermal load and annually.

Taking data from meteorological stations which was based on the Data Collection Every 30 Minutes Of Independent variables (temperature ° C, Humidity%, solar radiation W / m2). Were these data interpreted EASYWEATHERPLUS By METEONOROM software and By.

Determination of the thermal load using software Carrier E20.

Use of software modeling, simulations performed were using the program TRNSYS 17.

Calculation of the thermal load estimation in laboratories under study (224,95 m²) using software Carrier E20, the same as providing a need for 19,616 kW cooling was performed, according to the Geographic Location Labs in CIPCA, Energy Demand for air conditioning is During every month of the year. The cooling system posed by Solar Energy USING absorption, is made up of the following main components: an absorption chiller Yazaki single effect lithium bromide and water of 20 kW or 5.68 Tons of Refrigeration (TR), Solar Collectors vacuum tube, the UN Storage tank Hot Water, UN auxiliary heating system and a cooling tower. Simulations performed were using the program TRNSYS 17; The results show that the UN system More PROPER catchment area would use solar power of 100 sqm to be delivered with 35 vacuum tube collectors Factsheet Olymp Sunstar brand HP 65/20 with an angle of 10 ° facing north, the UN Storage volume of 3.2 m³ Hot water and a water flow in the collector of 3,000 kg / h.

10. BIBLIOGRAFÍA

Agyenim, F., I. Knight & M. Rhodes. 2010. Design and experimental testing of the performance of an outdoor LiBr/H2O solar thermal absorption cooling system with a cold store. Solar Energy 84: Pp. 735-744.

Assilzadeh, F., S.A. Kalogirou, Y. Ali & K. Sopian. 2005. Simulation and optimization of a LiBr solar absorption cooling system with evacuated tube collectors. Renewable Energy. 30(8): Pp. 1143-1159.

Baniyounes, A.M., M.G. Rasul & M.M.K. Khan. 2013. Assessment of solar assisted air conditioning in Central Queensland's subtropical climate, Australia. Renewable Energy. 50(0): Pp. 334-341.

Calise, F., M. Dentice D'accadia & R. Vanoli. 2010. Dynamic simulation and parametric optimization of a solar-assisted heating and cooling system. International Journal of Ambient Energy. (31:4): Pp. 173-194.

Djelloul, A., B. Draoui & N. Moummi. 2013. Simulation of a solar driven air conditioning system for a house in dry and hot climate of Algeria. Courrier du Savoir. n.15, Pp. 31-39. Courrier du Savoir. (15): Pp. 31-39.

Edwards, C. 2011. Performance Assessment of Solar Absorption Cooling for Ontario Housing. Master's Thesis, Carleton University, Ottawa.

Florides, G., S. Kalogirou, S. Tassou & L. Wrobel,. 2002. Modeling simulation and warming impact assessment of a domestic-size absorption solar cooling system. Applied Thermal Engineering. Pp. 1313-1325.

ISPJAE. 2010. Fundamental of Heat and Mass Transfer. Partes 1,2 y 3.

Henning, H.M & J. Döll. 2012. Solar systems for heating and cooling of buildings. Energy Procedia 30: Pp. 633-653.

INAMHI. 2010. Datos de Irradiación solar global anual promedio en el Ecuador.

Izquierdo, M., A. Syed, P. Rodriguez, G. Maidment, J. Missenden, A. Lecuona & R. Tozer. 2005. A novel experimental investigation of a solar cooling system in Madrid. International Journal of Refrigeration. 28: Pp. 859-871.

Cevallos, J.C. 2005. Radiación solar en Argentina estimada por satélite. Argentina.

Ketjoy, N., R. Yongphayoon & K. Mansiri. 2013. Performance Evaluation of 35 kW LiBr H2O Solar Absorption Cooling System in Thailand. 10th Eco-Energy and Materials Science and Engineering (EMSES2012), School of Renewable Energy

Technology (SERT), Naresuan University, Phitsanulok 65000, Energy Procedia. 34: Pp. 198-210.

Kim, D.S & I. Ferreira. 2008. Solar refrigeration options-a state-of-the-art review. International Journal of refrigeration 31: Pp. 3-15.

López, J. 2011. Integración de sistemas de refrigeración solar en redes de distrito de frío y de calor.Universitat Rovira I Virgili, Tarragona, España.

Louafi, S & B. Draoui. 2013. Simulation and optimisation of a solar driven air conditioning system for a house in south Algeria (Bechar). International Conference on Energy and Sustainable Development.

Martínez, P.J., Martínez, J.C & M. Lucas. 2012. Design and test results of a low capacity solar cooling system in Alicante, Spain. Solar Energy. 86(10): Pp. 2950-2960.

Naranjo, C., R.D. Rousse & G. Quesada. 2013. Modeling of a solar absorption cooling system for Guayaquil, Ecuador. . 2nd International Conference on Renewable Energy Research and Applications Madrid, Spain. Pp. 20-23.

NATIONAL GEOGRAPHIC. 2013. Enería Solar.

Praene, P., O. Marc, & F. Lucas. 2011. Simulation and experimental investigation of solar absorption cooling system in Reunion Island. Applied Energy. 88(3): Pp. 831-839.

Salgado, J. M. 2010. Guía completa de la energia solar térmica y termoeléctrica. Madrid: AMV Ediciones.

SIEE-OLADE. 2013. Estructura de la Oferta de Energía Primaria.

Vidal, R & S.C. Escobar. 2011. Simulation and optimization of a solar driven air conditioning system for a house in Chile. in Proceeding of the ISES solar world Ren Energy ShopingOur. Future, congress.

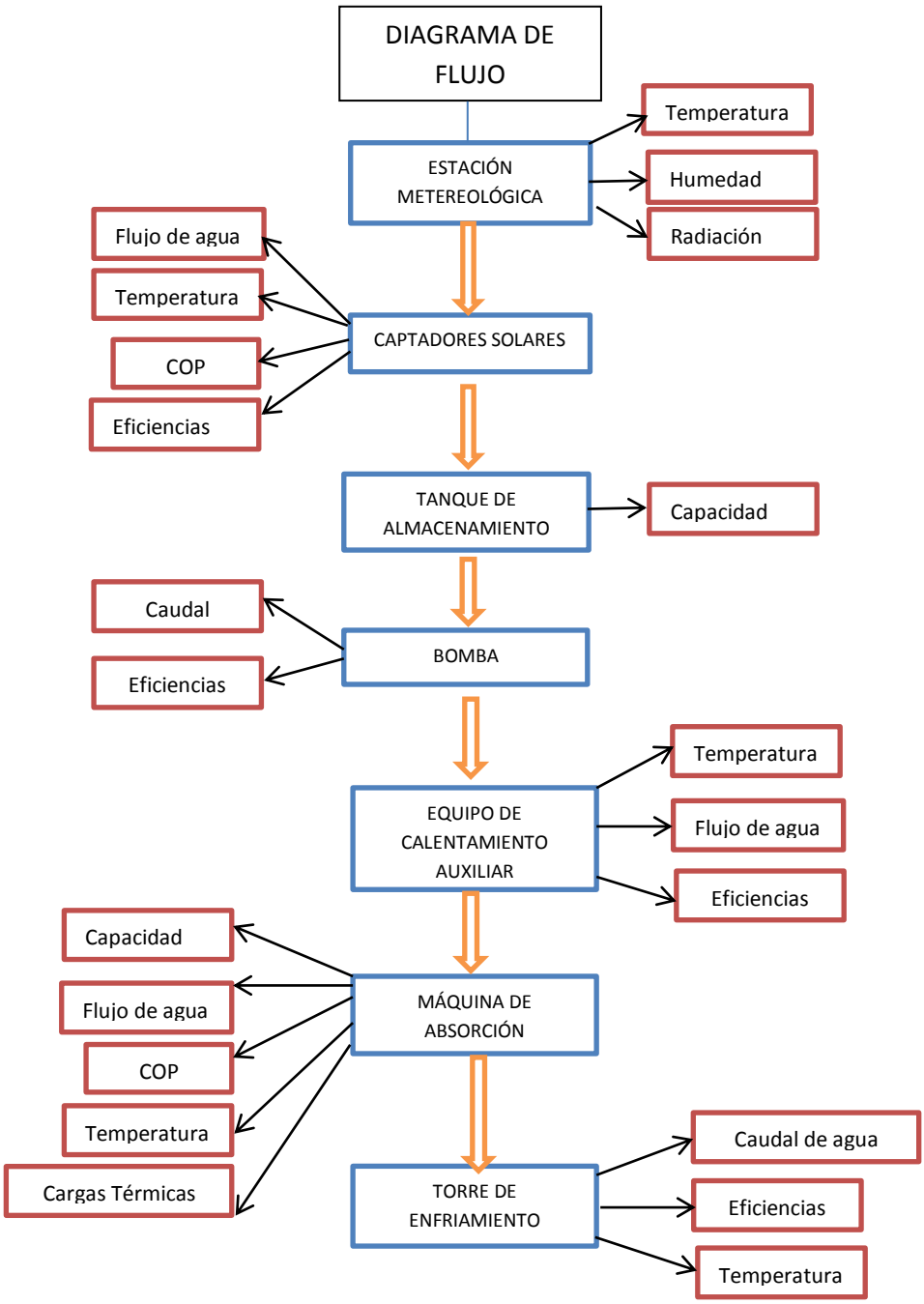
Vorobieff, P., M. Ortiz, H. Barsun, H. He & A. Mammoli. 2010. Modeling of a solar-assisted HVAC system with thermal storage. Energy and Buildings. 42(4): Pp. 500-509.

Wang, R.Z & R.G. Oliveira. 2005. Adsorption refrigeration-an efficient way to make good use of waste heat and solar energy, Proc. International Sorption Heat Pump conference, Denver, USA.

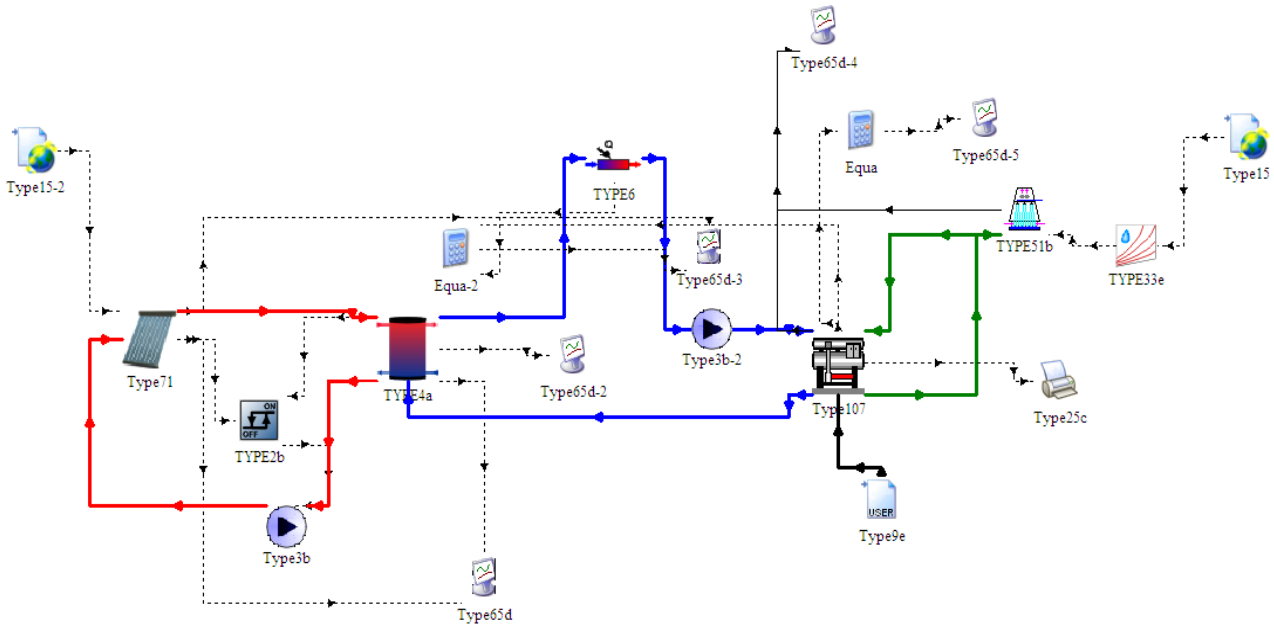
Xu, S.M., X.D. Huang & R. Du. 2011. An investigation of the solar powered absorption refrigeration system with advanced energy storage technology. Solar Energy 2011 2011: Pp. 1794-1804.

ANEXOS

Anexo 1. - Simulación de sistemas de refrigeración por absorción empleando energía solar para los laboratorios del CIPCA en la UEA



Anexo 2.- Sistema de refrigeración solar modelado en TRNSYS



SIMBOLOGÍA

TYPE 15-1 = Datos de la Estación meteorológica que lee un archivo externo TMY (Typical Meteorological Year Data) generado por Meteonorm que corresponden al CIPCA.

TYPE 15-2 = Datos de la Estación meteorológica que lee un archivo externo TMY (Typical Meteorological Year Data) generado por Meteonorm que corresponden al CIPCA.

TYPE 71 = Colector solar de tubos de vacío, emplea un archivo externo de modificadores del ángulo de incidencia transversal y longitudinal para calcular el rendimiento del colector.

TYPE 4a= Tanque de almacenamiento, consta de dos entradas y dos salidas.

TYPE 6 = Calentador auxiliar a gas con una capacidad máxima de calentamiento de 40 kW, a una temperatura de consigna de 88°C que corresponde a la temperatura óptima de funcionamiento de la máquina de absorción.

TYPE 107 = Máquina de absorción de simple efecto, de Bromuro de Litio y Agua del modelo Yazaki WFC SC 20 con una capacidad nominal de 20 kW.

TYPE 2b = Permite modelar el control eléctrico del sistema; este control se emplea para la bomba de circulación del agua según «Type 3b» a través de los colectores solares.

TYPE 3b = Bomba de circulación del agua.

TYPE 9e = Sistema de refrigeración por absorción.

TYPE 65d = Impresoras

Esta simbología es arrojada por el mismo software TRNSYS 17.

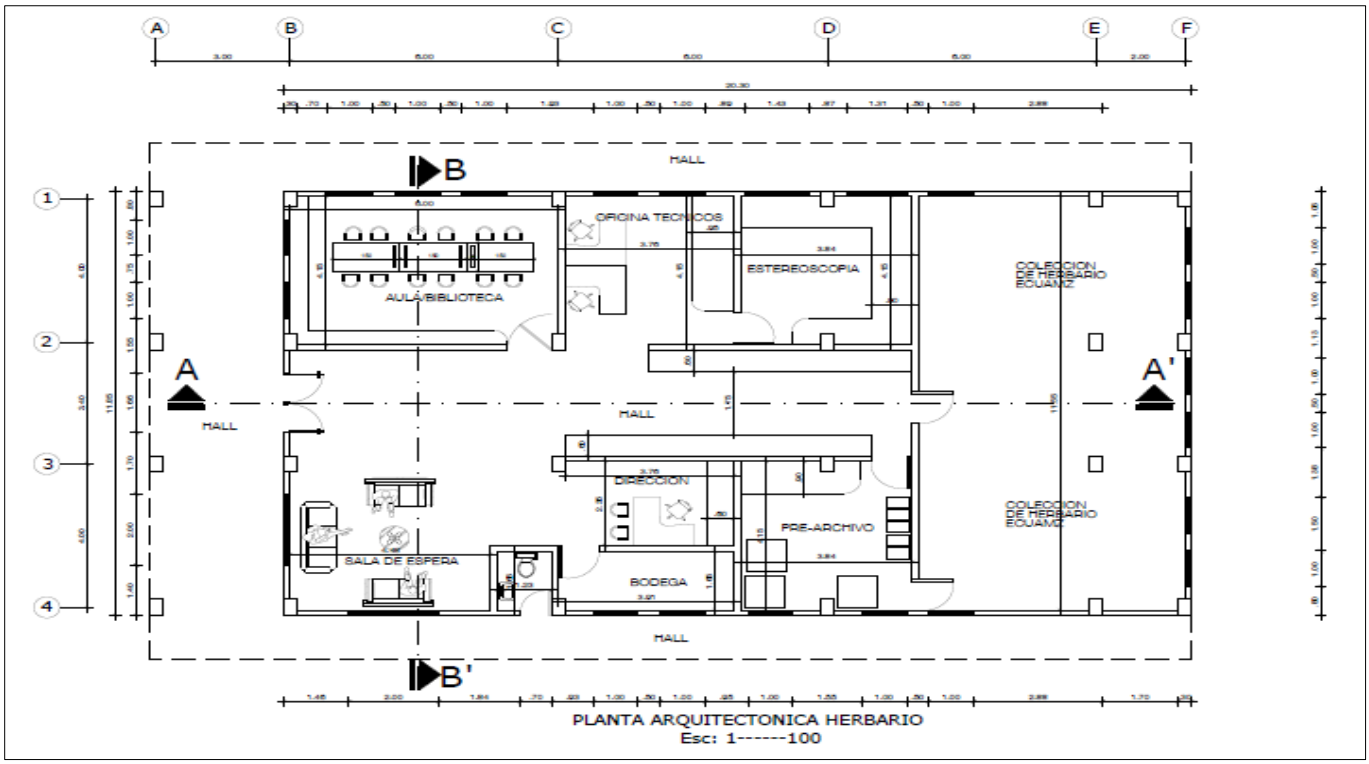
Anexo3.- Cronograma de actividades.

ACTIVIDADES	MES 1				MES 2				MES 3				MES 4				MES 5				MES 6				MES 7			
Inspección física y reconocimiento del laboratorio objeto de estudio.	x	x																										
Redacción y presentación del perfil de tesis.	x	x																										
Redacción y presentación del anteproyecto.			x	x																								
Toma de datos de la estación meteorológica del CIPCA.					x	x	x	x																				
Revisión de literatura: -Estudios de casos numéricos -Revisión de contenido del software TRNSYS 17 para el sistema de refrigeración.					x	x	x	x																				
Medición del laboratorio y cálculo de las cargas térmicas.									x	x	x	x																
Modelación del sistema de refrigeración solar TRNSYS17.													x	x	x	x												
Simulación del sistema de refrigeración solar TRNSYS17.																	x	x	x	x								
Respuesta final del sistema de refrigeración modelado y simulado.																					x	x						
Análisis de resultados.																							x	x				
Redacción del primer borrador.																									x	x		
Presentación fina.																									x	x		
Defensa de Tesis.																											x	x

Anexo 4.- Presupuesto

REQUERIMIENTOS	VALOR
SOFTWARE TRNSYS 17	$ 7000 *UEA
ESTACIÓN METEREOLÓGICA	$1500 *UEA
SOFTWARE METEONORM	$ 400
CÁMARA FOTOGRÁFICA	$ 60.oo
MATERIALES DE OFICINA • Resmas de papel (2) • Libreta • Bolígrafos	$ 12.oo $ 9.oo $ 2.oo $ 1.oo
	TOTAL $ 484

Anexo 5.- Planta arquitectónica Herbario



Anexo 6.-Registro fotográfico



Gráfico 6. Estación meteorológica.

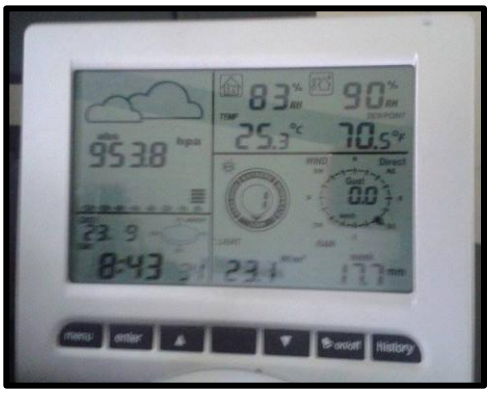


Gráfico 7. Estación meteorológica



Gráfico 8. Vista frontal del herbario



Gráfico 9. Hall del Herbario



Gráfico 10. Biblioteca del Herbario



Gráfico 11. Colección de Herbario