



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

---

FACULTAD DE INGENIERÍA

**“ANÁLISIS ENERGÉTICO DE UN SISTEMA TIPO  
HÍBRIDO EN LA ALBERCA OLÍMPICA  
DE CIUDAD UNIVERSITARIA”**

TESIS  
PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
**INGENIERO MECÁNICO**

PRESENTA:  
**SALVADOR RODRÍGUEZ PARRA**

TUTOR:  
**DR. RODOLFO HERRERA TOLEDO**



CIUDAD UNIVERSITARIA, SEPTIEMBRE 2014



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## Índice

Símbolos, unidades y abreviaturas .....	4
Objetivo general .....	6
Introducción .....	7

### **CAPÍTULO 1**

<b>Descripción del sistema de calentamiento de agua en la AOCU .....</b>	<b>10</b>
1.1.Descripción del subsistema térmico .....	12
1.2.Descripción del subsistema hidráulico .....	15
1.3.Descripción del subsistema eléctrico .....	16
1.4.Sistema de calentamiento de agua de la AOCU .....	17

### **CAPÍTULO 2**

<b>Instrumentación de la AOCU .....</b>	<b>20</b>
2.1.Propiedades termodinámicas y puntos de medición .....	21
2.2.Tubería .....	25
2.3.Instrumentación .....	26
2.4.Instrumentos de medición .....	27
2.4.1.Instrumentos de medición de temperatura.....	29
2.4.2.Instrumentos de medición de presión .....	31
2.4.3.Instrumentos de medición de flujo volumétrico .....	32

### **CAPÍTULO 3**

<b>Análisis del calentamiento de agua por medio de calderas y bombas de calor .....</b>	<b>34</b>
3.1.Análisis del sistema actual .....	35
3.1.1.Temperatura de la AOCU .....	35
3.1.2.Consumo y aportación energética.....	39
3.2.Bombas de calor .....	43
3.2.1.Sistema con bombas de calor.....	44
3.2.2.Aportación energética.....	45
3.2.3.Costo energético.....	47

### **CAPÍTULO 4**

<b>Análisis del calentamiento de agua por medio de calderas, bombas de calor y paneles solares .....</b>	<b>50</b>
4.1.Descripción del sistema térmico solar .....	51
4.2.Sistema de Calentamiento Solar .....	53
4.2.1.Diagrama del Calentamiento Solar .....	56

4.3. Análisis del sistema solar térmico .....	57
4.3.1. Aportación sistema solar térmico.....	60
4.3.2. Aportación sistema solar térmico, bombas de calor y calderas ...	61
4.3.3. Análisis de las bombas centrífugas.....	62
4.3.4. Análisis de costo en comparación con otros sistemas .....	63
4.4. Costo kWh de los sistemas .....	65

## **CAPÍTULO 5**

<b>Propuesta de instrumentación del SHCA .....</b>	<b>67</b>
5.1. Características de la instrumentación .....	68
5.2. Instrumentación del sistema de calderas .....	71
5.3. Instrumentación del sistema de bombas de calor .....	72
5.4. Instrumentación del sistema solar térmico .....	74
5.5. Instrumentación del SHCA .....	76
5.5.1. Costo de instrumentación del SHCA.....	77
5.5.2. Tiempo de recuperación de la inversión .....	78
Conclusiones .....	81
Referencias Bibliograficas .....	84

## **Anexos**

Anexo 1. Datos técnicos .....	86
Anexo 2. Consumo anual de gas lp .....	88
Anexo 3. Kilowatts hora generados .....	91
Anexo 4. Aporte energético bomba de calor.....	92
Anexo 5. Consumo eléctrico bomba de calor .....	95
Anexo 6. Aportación energética colectores solares.....	96
Anexo 7. Consumo eléctrico bombas centrífugas solar .....	97

## Símbolos, unidades y abreviaturas

### Símbolos

T	Temperatura	
P		Presión
h		Entalpía
x		Calidad
$\dot{m}$		Flujo másico
"		Pulgadas
%		Porcentaje
\$		Pesos
Q		Calor
CO <sub>2</sub>		Dióxido de Carbono

### Unidades

cm	Centímetro	
in		Pulgada
°C		Grado centígrado
l		Litro
kW		Kilowatt
kWh		Kilowatt-hora
h		Hora
m <sup>2</sup>		Metro cuadrado
HP		Caballo de potencia
°N		Grados norte
°E		Grados este



kg/cm <sup>2</sup>	Kilogramo sobre centímetro cuadrado
BTU/h	BTU (British Thermal Unit) por hora
BTU/día	BTU (British Thermal Unit) por día
MBTU/h	Mega BTU (British Thermal Unit) por hora
Gal/h	Galones por hora
V	Volts
A	Amper
kVA	Kilovolt-amper
Hz	Hertz

### **Abreviaturas**

AOCU	Alberca Olímpica de Ciudad Universitaria
SHCA	Sistema Híbrido de Calentamiento de Agua
Gas lp	Gas Licuado de Petróleo
BC	Bomba de Calor
CFE	Comisión Federal de Electricidad
NASA	National Aeronautics and Space Administration
COP	Coefficient Of Performance
CU	Ciudad Universitaria



## **Objetivo general**

El presente trabajo tiene como objetivo el realizar un análisis energético al futuro sistema de calentamiento de agua de la Alberca Olímpica de Ciudad Universitaria, así como demostrar la viabilidad económica y energética del sistema propuesto para el calentamiento de agua.

## Introducción

En la actualidad siempre se habla de que se tienen menos recursos mundiales de petróleo, lo cual ha hecho que los precios de los combustibles derivados de esta fuente energética, se incrementen constantemente. Esto llevó a un cambio de paradigma desde hace algunas décadas buscando desde entonces nuevas alternativas de sustitución de este hidrocarburo como fuente energética modificando además los sistemas de transformación energética, buscando que sean más eficientes que en el pasado.

Existen en la actualidad sistemas que funcionan utilizando varios tipos de energía con el fin de satisfacer la función para la cual fue destinado. Lo anterior se lleva a cabo para obtener un beneficio, tanto técnico para incrementar su eficiencia y económico con la reducción de su costo de operación.

Para el presente trabajo, se utilizarán estas dos ideas como los ejes rectores de la misma, tratando en la medida de lo posible, sustituir en la mayor proporción posible el consumo de gas lp en el sistema de calentamiento de agua de la **Alberca Olímpica de Ciudad Universitaria**, que nombraremos de aquí en adelante con las siglas **AOCU**, con otras fuentes energéticas, así a su vez, hacer una propuesta para que el sistema sea más eficiente, logrando disminuir el consumo y costo del recurso mismo.

El sistema de calentamiento de agua de la AOCU, está conformado por un sistema convencional con calderas, al cual, se le añadirán dos sistemas de calentamiento conformado por bombas de calor y uno solar conformado por colectores solares. En el desarrollo del trabajo veremos el porqué de contar con tres sistemas de calentamiento.

Uno de los problemas que conlleva la instalación de este sistema de calentamiento, es el control de los flujos, tanto sus propiedades termodinámicas, como los contenidos energéticos y el valor requerido de estos en el sistema, es de suma importancia ya que no se pretende modificar los parámetros actuales, pero si ofrecer un mejor

funcionamiento del sistema propuesto, ya que de esto depende que el sistema tenga una mejor eficiencia, para utilizar operativamente menos insumos.

También hay que comprobar si el consumo eléctrico de las bombas de calor sea menor, que el consumo térmico que se está sustituyendo, ya que se tiene que equiparar el costo de energía eléctrica, contra el costo de la energía (por el gas lp en las calderas) producida. El costo de la energía solar no se toma en cuenta, ya que no hay un precio por insumo, de la energía térmica obtenida.

El presente trabajo se limita en realizar los balances energéticos de cada sistema por separado, como el de las calderas, bombas de calor y solar, para después agregarlo en un solo sistema de calentamiento de agua que llamaremos **Sistema Híbrido de Calentamiento de Agua (SHCA)**, aprovechando los beneficios que presenta el realizar un análisis de segunda ley, con el que concluiremos si es conveniente desde el punto de vista termodinámico y económico. Así como propuestas pertinentes para lograr un sistema más eficiente operativamente.

En la actualidad se están logrando sistemas híbridos que mejoran la eficiencia de diferente clase de sistemas y reducen los costos operativos de los mismos, ya que operan con una o diversas fuentes de energía renovable<sup>1</sup>.

Con los ahorros en costos operativos anuales del SHCA, se pretende recuperar la inversión de instalación de los equipos y accesorios, en un determinado lapso de tiempo, con lo que posteriormente el sistema se actualizará con tecnología superior a la instalada actualmente.

El trabajo que se presenta a continuación, tiene por objetivo calcularlas aportaciones reales de cada sistema de calentamiento de agua e indicar operativamente que variables se deben controlar, para determinar la eficiencia del sistema y en su caso, proponer mejoras en el sistema.

---

<sup>1</sup> Jordi, N.S.2011Climatización de una piscina cubierta mediante la combinación de energía solar térmica, geotermia y caldera de apoyo de biomasa. 25-sep-2012  
<http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/12795/1/Memoria.pdf>



Comenzaremos con la descripción del sistema actual de calentamiento de agua de la AOCU por medio de calderas, con el cual se conocerán los componentes que lo integran, esta parte será parte del capítulo 1.

En el capítulo 2 veremos la instrumentación mínima que requiere el sistema actual de calentamiento de agua de la AOCU por medio de calderas, para conocer y analizar el comportamiento del mismo, con el objetivo de controlar las condiciones y de esta manera mejorar el desempeño operativo del sistema.

Se realizará el cálculo del consumo energético del sistema actual, así como la aportación energética del sistema de calentamiento de agua por medio de bombas de calor, esta parte corresponde al capítulo 3.

El capítulo 4 se caracteriza por el cálculo de la aportación energética del sistema solar térmico, así como el análisis energético y económico del SHCA, con lo cual se obtendrá la información necesaria para verificar la viabilidad energética y económica del sistema.

Se retomará en el capítulo 5 la instrumentación del sistema actual, como de los sistemas conformados por las bombas de calor y paneles solares. Se integrará el costo de los instrumentos de medición y se verificará cuál será el tiempo de la recuperación de la inversión comparado al ahorro económico del SHCA.

## CAPÍTULO 1

### Descripción del sistema de calentamiento de agua en la AOCU

La alberca abrió sus instalaciones en 1954<sup>2</sup>, esto nos da el contexto que en esa época, no se tenía una preocupación, por mejorar la eficiencia del sistema como actualmente sucede o la de mitigar las emisiones de contaminantes. En la actualidad se tiene una preocupación ambiental y tecnológica, ya que la creciente demanda de hidrocarburos es directamente proporcional a los costos de obtención de los mismos, por consiguiente el costo cambiará, incrementando conforme avance el tiempo.

El objetivo de cualquier sistema térmico en la actualidad, es que sea lo más eficiente posible para reducir sus insumos, por lo tanto en esto se centrará este trabajo, en el sistema para climatizar la AOCU, es por esto que se pretende mejorar el sistema actual de calentamiento, con dos aportaciones más de energía térmica, a partir de bombas de calor y paneles solares.

La Alberca Olímpica de Ciudad Universitaria cuenta con un sistema convencional de calentamiento de agua, ya que la generación de vapor es por medio de dos calderas, sin embargo, a este sistema se pretende sumar 37 bombas de calor y 1000 paneles solares, que serán donados a la Universidad Nacional Autónoma de México.

El sistema actual de calentamiento de la AOCU, está compuesto por diversos equipos, así que para facilitar la descripción y el futuro análisis del sistema, se hará una clasificación del sistema de calentamiento de agua de la AOCU en varios subsistemas, dependiendo de la aportación y el tipo de tecnología, con esto se espera facilitar la comprensión y el análisis posterior.

Ya que es un sistema complejo y vasto, se puede presentaren distintos bloques como se verá en la *Figura 1.1a* fin de que se logre una descripción más ordenada del sistema, así como facilitar el análisis a partir del segundo capítulo de este trabajo.

---

<sup>2</sup> Deportes UNAM (2012) <http://www.deportes.unam.mx/alberca/> 25-sep-12

Figura 1.1. Conformación de Sistema AOCU



En la figura anterior, podemos observar que el Sistema AOCU está conformado por Subsistemas relacionados entre sí, de tal manera, que una falla o mejora en cualquiera de estos, resultaría en un daño o un beneficio para el sistema de calentamiento.

En el cuarto de máquinas de la AOCU, nos encontramos con equipos térmicos, hidráulicos y eléctricos. Por lo que se pueden englobar en subsistemas, dependiendo de su aplicación en el sistema de calentamiento de la AOCU.

La clasificación queda de la siguiente manera:

#### **-Subsistema térmico**

Se encarga de generar y transferir la energía calorífica al agua de la alberca, realizando este ciclo continuamente en el transcurso del día, requerido para acondicionar el agua de la alberca.

### **-Subsistema hidráulico**

Es el encargado de distribuir el agua a los diferentes equipos y tuberías dentro del cuarto de máquinas de la AOCU, a través de un ciclo hasta la alberca y posteriormente regresando a los equipos para su acondicionamiento térmico.

### **-Subsistema eléctrico**

Las conexiones y equipos eléctricos se engloban en este sistema, ya que estos son de suma importancia para el sistema de calentamiento de agua de la AOCU funcione correctamente, ya que los equipos eléctricos dependen de la energía eléctrica para su funcionamiento.

## **1.1.Descripción del subsistema térmico**

Una caldera es un dispositivo de transferencia térmica que convierte la energía de un combustible fósil, a un vapor de alta entalpía a través de un medio de trabajo como el agua, y así dirige esta energía hacia un aparato externo de transferencia de calor.<sup>3</sup>

Esta conversión de energía es lograda por el quemador de la caldera, el cual es un dispositivo electromecánico que controla la combustión del combustible dentro del hogar de la caldera, con la finalidad de optimizar el proceso de combustión.

En el sistema de calentamiento de agua de la AOCU, se tienen dos calderas encargadas de generar la energía térmica, esto lo logra por medio del agua en estado líquido, que al aportarle energía térmica es transformada en vapor, el cual se distribuye a través de cabezal de vapor.

El cabezal de vapor es un dispositivo de distribución de vapor, su función es la de regular la presión de las dos corrientes de vapor de las dos calderas instaladas, (*Figura 1.2*) resultando en un control de la calidad del vapor, a través de la presión deseada tratando que la presión diferencial entre la generación de vapor y la presión del

---

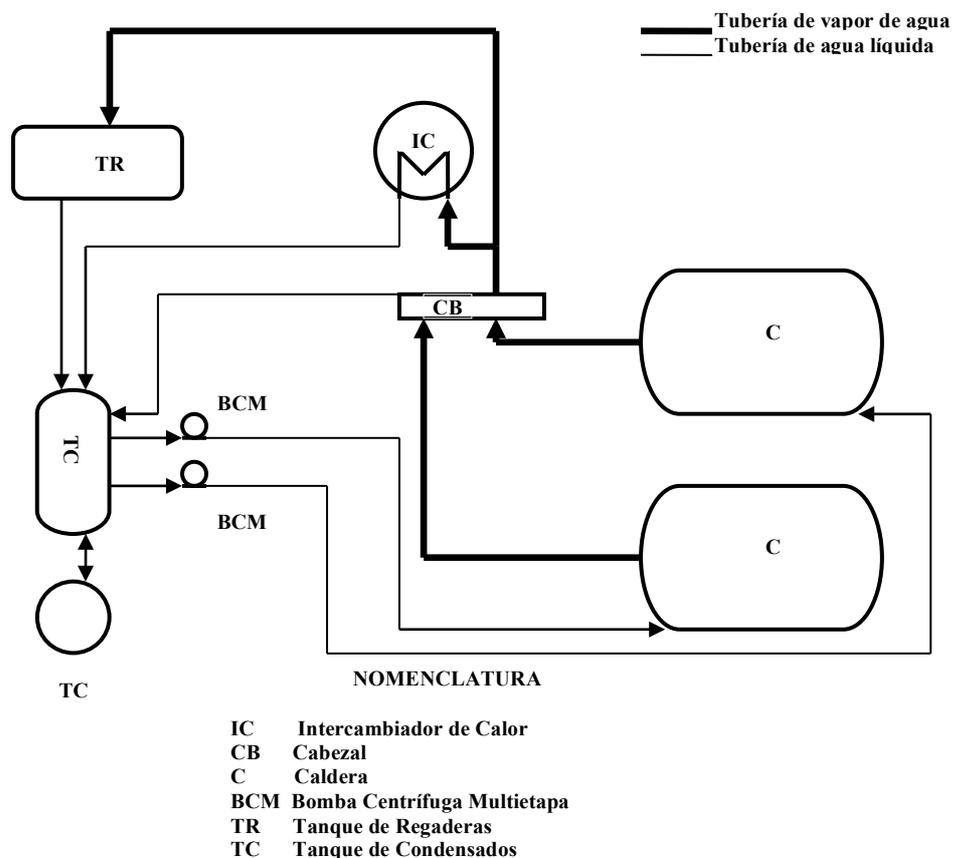
<sup>3</sup> Kohan, A.L. (2000). Manual de calderas. Madrid: McGraw-Hill.

cabezal de vapor no sea muy grande ya que esto representa un incremento de irreversibilidad en el proceso.

El cabezal se encuentra conectado al tanque de condensados a fin de recuperar cierta cantidad de agua y reutilizarla en la caldera.

Una vez que las dos corrientes de vapor se han unen en el cabezal, una sola corriente de vapor que es dirigida al intercambiador de calor y al tanque de regaderas, lo cual se logra con la división en dos flujos de vapor, donde es dirigido un mayor flujo másico de vapor al intercambiador en comparación con la dirigida al tanque de los condensados.

Figura 1.2. Diagrama de flujo de Proceso Subsistema Térmico AOCU



Primero se hablará del flujo de vapor dirigido al intercambiador de calor (**IC**), posteriormente se hablará del tanque de regaderas (**TR**). Los intercambiadores de calor son aparatos que facilitan el intercambio de energía calorífica entre dos fluidos a diferente temperatura, evitando que se mezclen entre sí.<sup>4</sup>

El flujo de vapor que pasa por el intercambiador de calor cede su energía calorífica al agua de la alberca, con este proceso este vapor pasa al estado líquido, esta agua regresará a las calderas, a fin de seguir con este ciclo, de esto se hablará más adelante, seguiremos con el tanque de regaderas.

El vapor que pasa por el tanque de regaderas que se encuentra en el área inferior del cuarto de máquinas, cede su energía térmica al agua que está contenida en el tanque, con el fin de cubrir la demanda de agua caliente en las regaderas de los vestidores de la AOCU, el vapor pasa al estado líquido, ya que anteriormente ha cedido su energía en el tanque de regaderas.

Ahora que ya tenemos el agua líquida proveniente del intercambiador de calor y del tanque de regaderas, son dirigidos estos flujos de agua a los tanques de condensados que se encuentran en la parte superior del cuarto de máquinas de la AOCU.

Tenemos dos tanques de condensados en la parte superior del cuarto de máquinas, uno se encuentra en posición vertical y otro en horizontal, los dos tanques se encuentran conectados a los tanques de salmuera, para quitar las sales disueltas en el agua, y que no afecten, tanto los equipos, como las tuberías que manejan vapor.

Ya que el agua se encuentra en los tanques de condensados, se dirige a las calderas por medio de dos bombas multietapa. Este tipo de bomba centrífuga es el resultado de unir varias bombas en serie, es decir, este tipo de bombas está formada por varios alabes en serie, con lo que se consigue una presión más elevada que una bomba centrífuga sin multietapa. El objetivo de las dos bombas multietapa es alimentar de agua a las calderas con lo que se cierra este ciclo térmico, repitiéndose el tiempo que

---

<sup>4</sup>Cengel, Y.A. (2004). Transferencia de calor. México: McGraw-Hill.

se encuentra encendido el sistema, de acuerdo las horas requeridas para climatizar la AOCU.

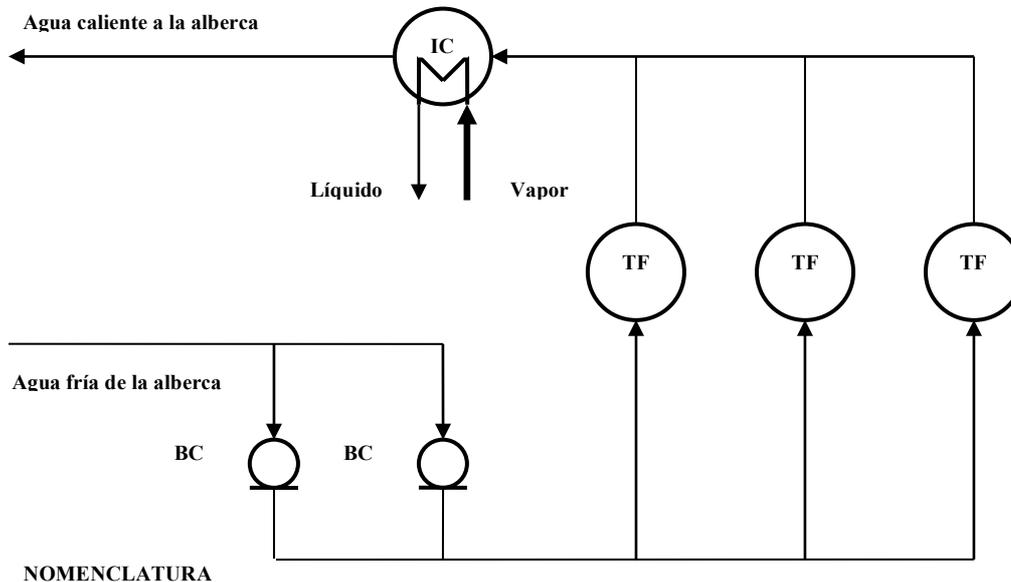
## **1.2. Descripción del subsistema hidráulico**

Este sistema comienza con el equipo que se requiere para desplazar el agua por las tuberías de este sistema a fin de ingresar el agua a la alberca con una temperatura mayor. Una bomba centrífuga es una serie de paletas o alabes dentro una carcasa, que impulsan al líquido mediante un movimiento rotativo, a fin de que el líquido se mueva en alguna dirección (Ver *Figura 1.3*).

El agua que es succionada e impulsada por las dos bombas centrifugas es dirigida a los tres tanques de filtrado, donde se quedan los contaminantes del agua atrapados en los filtros, obteniendo un flujo de agua más limpia, con esto se incrementa el intercambio de calor del vapor con el agua de la alberca.

Ya que sale el agua de los tanques de filtrado, es dirigido el caudal de agua al intercambiador de calor, donde se transfiere la energía térmica del vapor al agua de la alberca, teniendo en la salida un caudal con una mayor temperatura que es dirigido a la alberca. Este ciclo se realiza continuamente a fin de llegar a la temperatura óptima que se busca para la AOCU.

**Figura 1.3.** Diagrama de flujo de Proceso Subsistema Hidráulico AOCU



**NOMENCLATURA**  
**IC** Intercambiador de Calor  
**TF** Tanque de Filtrado  
**BC** Bomba Centrífuga

En la **Figura 1.3**, se observa cómo está conformado el proceso del subsistema hidráulico, desde la entrada del agua de la alberca hasta que sale más limpia y con una mayor temperatura a la AOCU.

### 1.3. Descripción del subsistema eléctrico

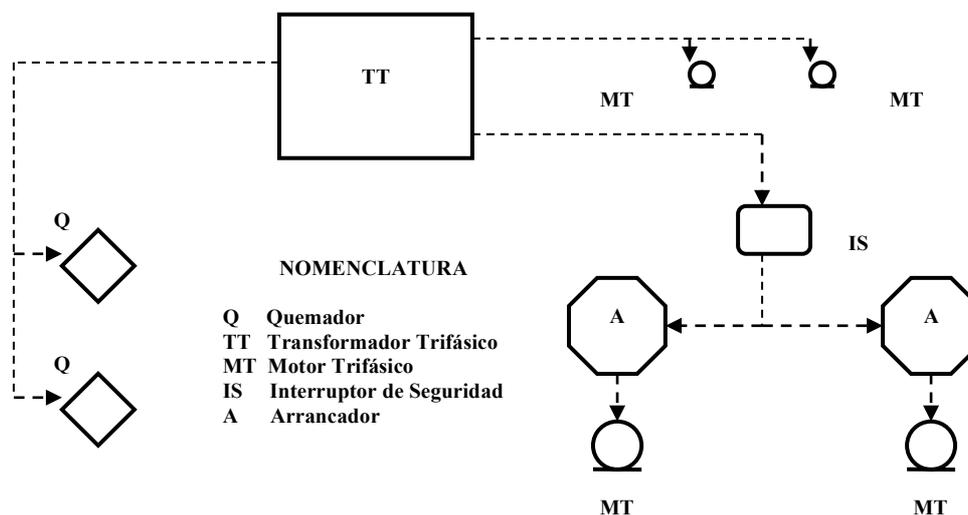
Se necesita electricidad para algunos equipos de los subsistemas del cuarto de calderas de la AOCU, para cubrir con los requerimientos de corriente y voltaje de estos, se tiene un transformador trifásico que alimenta a los equipos que necesitan corriente eléctrica para su funcionamiento.

Del transformador trifásico se conectan los diferentes equipos eléctricos, como los motores trifásicos de las bombas centrífugas, que desplazan el agua de la alberca por el sistema hidráulico y los motores trifásicos de las bombas multietapa que desplazan el agua a las calderas para seguir con el ciclo del sistema térmico.

Los motores trifásicos de las bombas centrífugas del agua de la alberca, cuentan con dos arrancadores que se encargan, del encendido y control de los motores trifásicos, a fin de que funcionen correctamente.

El transformador trifásico también alimenta a los dos quemadores de las dos calderas, al sistema de purificación, a diversos equipos que se encuentran conectados al sistema eléctrico en el cuarto de calderas.

*Figura 1.4.* Diagrama de flujo de Conexión Subsistema Eléctrico AOCU

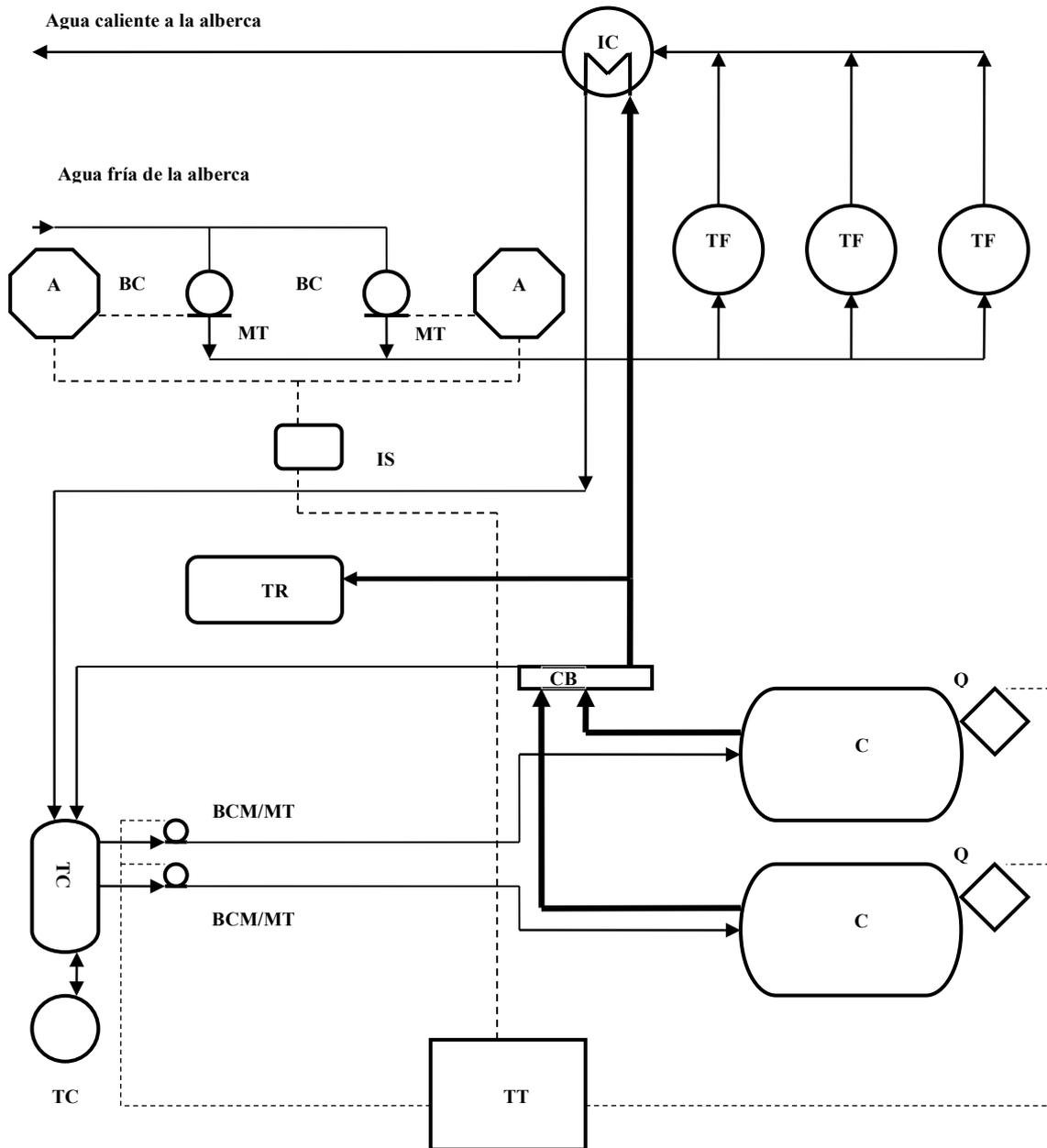


En la *Figura 1.4* se muestra como se encuentra la conexión eléctrica, con respecto al transformador trifásico y los equipos eléctricos correspondientes.

#### 1.4 Sistema de calentamiento de agua de la AOCU

Los diferentes sistemas interactúan entre ellos para lograr el objetivo de mantener en una temperatura óptima el agua de la AOCU. Cada equipo, que forma parte de un subsistema por su determinada función y estos subsistemas forman a su vez, un sistema más extenso como el que se observa en la *Figura 1.5*.

Figura 1.5. Diagrama de flujo de Proceso Sistema AOCU



NOMENCLATURA

- IC Intercambiador de Calor
- A Arrancador
- BC Bomba Centrífuga
- BCM Bomba Centrífuga Multietapa
- MT Motor Trifásico
- TF Tanque de Filtrado
- IS Interruptor de Seguridad
- TR Tanque de Regaderas
- CB Cabezal
- TC Tanque de Condensados
- C Caldera
- Q Quemador
- TT Transformador Trifásico

El ciclo de calentamiento de agua de la AOCU comienza a partir, de dos calderas con sus respectivos quemadores, estos últimos son los equipos encargados de controlar la combustión, para transferir esta energía calorífica generada y calentar el agua en las calderas, hasta que llegue al estado de vapor. Los calentadores necesitan energía eléctrica para funcionar, es por eso que están conectados al transformador trifásico, donde este les proporciona el voltaje de tres fases para que funcionen correctamente.

El vapor de cada caldera es dirigido al cabezal, por lo tanto llegan los dos flujos de vapor, es decir el cabezal sirve de regulador de presión y de mezclador, saliendo entonces un solo flujo por la tubería en dirección del intercambiador de calor y al tanque de regaderas (ver [Figura 1.5](#)). Cabe mencionar que el flujo al intercambiador de calor es más grande en comparación al direccionado al tanque de regaderas, esto se debe a que se requiere mayor transferencia de energía calorífica en el intercambiador de calor, ya que el volumen de agua de la alberca que se pretende calentar es mayor a la del agua del tanque de regaderas.

El agua de la alberca es bombeada por las dos bombas centrífugas descritas con anterioridad, pasando por los filtros hasta llegar al intercambiador de calor, donde ahí recibe la energía calorífica, para posteriormente salir a la alberca con un incremento de temperatura. Los motores de las bombas centrífugas, son alimentados por el transformador trifásico.

Una vez que el vapor ha cedido energía calorífica al agua que pasa por el intercambiador y al agua contenida en el tanque de regaderas, pasa al estado líquido, esta es encausada a los tanques de condensados, donde se regresará a las calderas por medio de las bombas centrífugas multietapa. Estas bombas dependen de los motores que les brindan la potencia para hacerlas funcionar y los motores necesitan un voltaje trifásico, el cual es proporcionado también por el transformador trifásico.

Como vemos, los sistemas están relacionados entre sí, así que una deficiencia o mejora se ve reflejada en todo el sistema de calentamiento de agua de la AOCU, por lo que si queremos afectar el sistema en general, se logrará afectando cada uno de los sistemas.

## **CAPÍTULO 2**

### **Instrumentación de la AOCU**

El sistema de calentamiento de agua de la AOCU, consiste en dos calderas situadas en el cuarto de máquinas, estas a su vez, requieren combustible a fin de cubrir la demanda de energía térmica requerida, para mantener la temperatura del agua de la AOCU.

El combustible requerido es gas lp, el cual incrementa su costo conforme pasa el tiempo, ya que las reservas de petróleo van disminuyendo respecto avanza el tiempo,<sup>5</sup> por esta razón se ha optado añadir bombas de calor y paneles solares al sistema actual de calentamiento de agua, con la finalidad de disminuir el consumo de gas lp, reduciendo los costos de operación del sistema.

Para poder hacer un dimensionamiento lo más exacto posible, de este proyecto, se necesita realizar un análisis completo de cada aportación de energía térmica al sistema, con lo cual se obtendrá la información suficiente, primero cubriendo el servicio requerido y llegar a las conclusiones pertinentes del trabajo de tesis, si es conveniente la instalación del sistema y de ser así, que condiciones son las adecuadas para el Sistema Híbrido de Calentamiento de Agua (SHCA) de la AOCU.

Para el análisis que se realizará en el presente capítulo se necesitan valores cuantificables, en distintos puntos de medición estratégicos en el sistema de calentamiento de agua por medio de caldera, por lo cual es necesario instalar equipos de medición que proporcionen estos valores.

---

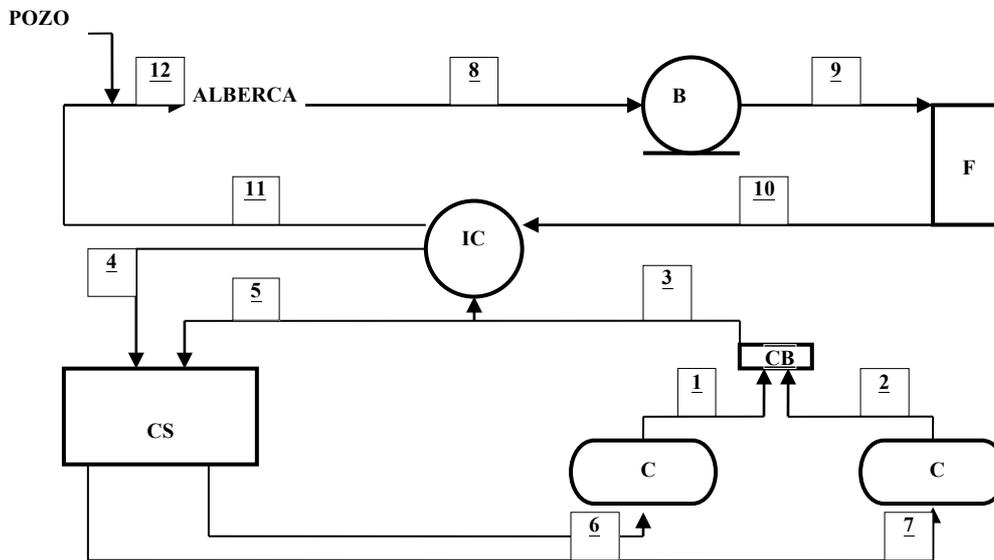
<sup>5</sup> SENER 2012, Prospectiva del mercado de gas licuado de petróleo 2012-2026  
[http://www.sener.gob.mx/res/PE\\_y\\_DT/pub/2012/PGLP\\_2012\\_2026.pdf](http://www.sener.gob.mx/res/PE_y_DT/pub/2012/PGLP_2012_2026.pdf)

## 2.1. Propiedades termodinámicas y puntos de medición

Los puntos de medición son conexiones físicas entre los componentes del sistema, donde se toma el valor de las propiedades dentro de un sistema de estudio, sabemos que de acuerdo al postulado de estado de la termodinámica, se requieren  $n+1$  propiedades de acuerdo a la sustancia de trabajo que se trate, para esta labor de obtención de propiedades, se requiere de instrumentos de medición que arrojen los valores solicitados.

El sistema actual de calentamiento de agua es vasto y complejo, refiriéndose a equipos y a sus respectivas conexiones, con lo cual se necesita sintetizar esta información, para explicar más fácilmente los puntos de medición realizamos un diagrama que incluya esos puntos seleccionados como el que se muestra:

*Figura 2.1.* Diagrama Puntos de medición



### NOMENCLATURA

- B** Bombeo
- F** Filtración
- IC** Intercambiador de Calor
- CB** Cabezal
- CS** Condensados
- C** Caldera

En la *Figura 2.1* se observa que tenemos doce puntos de interés, a lo largo del sistema actual de calentamiento de agua por medio de calderas, por lo que estos puntos nos indican, en qué lugares del sistema, se podrán instalar los futuros instrumentos de medición; pero antes de esto tenemos que saber que propiedades nos interesan, a fin de obtener los valores para completar el análisis del sistema.

Las propiedades que nos interesan del fluido en cada punto de medición son temperatura (T), presión (P), entalpía (h), calidad (x) y flujo másico ( $\dot{m}$ ), ya que con los valores de estas propiedades, se tendrá suficiente información para realizar el análisis termodinámico posterior del sistema de calentamiento de agua por medio de calderas, con el aporte térmico de las bombas de calor y el aporte térmico de los paneles solares.

Para saber los estados de los puntos de medición, necesitamos dos propiedades independientes, como lo menciona el postulado de estado; son independientes si una de ellas puede variar mientras la otra se mantiene constante.<sup>6</sup>

En la siguiente *Tabla 2.1* se encuentran relacionados los puntos de medición, con las propiedades ausentes y existentes del sistema de estudio, por lo que podemos relacionar más adelante, para ver en qué puntos podemos considerar las propiedades iguales y disminuir el número de instrumentos necesarios. Debido a la falta de presupuesto de la UNAM, ya que se pretende minimizar los costos de inversión y de operación del futuro Sistema de Calentamiento de Agua de la AOCU.

La *Tabla 2.1* enlista las propiedades requeridas para obtener el estado termodinámico de cada punto, con el fin de realizar el análisis de cada equipo y del sistema actual de calentamiento de agua por medio de calderas. También en esta tabla nos podemos basar para relacionar los puntos y propiedades, resaltando como ya se había mencionado, el ocupar solo los instrumentos de medición esenciales, para lograr el análisis del sistema.

---

<sup>6</sup> Cengel, Y.A. (2006). Termodinámica: McGraw-Hill.

*Tabla 2.1.* Propiedades

<b>PUNTOS DE MEDICIÓN</b>	<b>PROPIEDADES</b>
Punto 1	·Se tiene presión y calidad ·Se requiere flujo másico
Punto 2	·Se tiene presión y calidad ·Se requiere flujo másico
Punto 3	·Se tiene presión ·Se requiere flujo másico y temperatura
Punto 4	·Se requiere temperatura, presión y flujo másico
Punto 5	·Se tiene presión y entalpía ·Se requiere flujo másico
Punto 6	·Se requiere temperatura, presión y flujo másico
Punto 7	·Se requiere temperatura, presión y flujo másico
Punto 8	·Se requiere temperatura, presión y flujo másico
Punto 9	·Se tiene presión ·Se requiere temperatura y flujo másico
Punto 10	·Se tiene presión, temperatura y flujo másico
Punto 11	·Se requiere temperatura, presión y flujo másico
Punto 12	·Se requiere temperatura, presión y flujo másico

A lo largo del sistema tenemos en algunas corrientes que son divisiones de flujo por lo que el estado termodinámico es el mismo a excepción del flujo másico, así que en estos casos, ya no necesitamos instrumentación para medir las propiedades en estos puntos, puesto que se ya son conocidas. Para observar lo anterior a continuación se mostrará una tabla con las propiedades dependientes e independientes y a su vez, las propiedades que tienen valores iguales.

En la *Tabla 2.2* se puede observar que tenemos propiedades dependientes de otra, a su vez que se pueden calcular con otras propiedades ya conocidas, esto nos proporciona el saber cuántos y cuáles serán los instrumentos necesarios de medición que nos proporcionaran los valores necesarios, para los cálculos posteriores del sistema de estudio.

El código de colores nos indica que tipo de propiedad de acuerdo a una clasificación propuesta, por ejemplo; el recuadro que dice "Propiedad conocida", se refiere a que este valor ya lo conocemos actualmente, puesto que en estos puntos si existen instrumentos de medición funcionales, con los que podemos cuantificar la propiedad.

Tabla 2.2. Propiedades termodinámicas consideradas

CODIGO DE COLORES					
		Propiedad conocida			
		Propiedad desconocida			
		Propiedad calculable			
		Propiedad dependiente			
PUNTO	T	P	h	x	$\dot{m}$
1	$T_1 = (P_1, x_1)$	$P_1$	$h_1 = (T_1, P_1)$	$x_1$	$\dot{m}_1$
2	$T_2 = (P_2, x_2)$	$P_2$	$h_2 = (T_2, P_2)$	$x_2$	$\dot{m}_2$
3	$T_3$	$P_3$	$h_3 = (T_3, P_3)$	$x_3$	$\dot{m}_3 = (\dot{m}_2 + \dot{m}_1)$
4	$T_4$	$P_4$	$h_4 = (T_4, P_4)$	$x_4 = (T_4, P_4)$	$\dot{m}_4$
5	$T_5 = T_3$	$P_5$	$h_5 = (T_5, P_5)$	$x_5 = x_3$	$\dot{m}_5 = (\dot{m}_3 - \dot{m}_4)$
6	$T_6$	$P_6$	$h_6 = (T_6, P_6)$	$x_6$	$\dot{m}_6$
7	$T_7 = T_6$	$P_7 = P_6$	$h_7 = h_6$	$h_7 = h_6$	$\dot{m}_7$
8	$T_8 = T_9$	$P_8$	$h_8 = (T_8, P_8)$	$x_8 = (T_8, P_8)$	$\dot{m}_8 = \dot{m}_9$
9	$T_9$	$P_9$	$h_9 = (T_9, P_9)$	$x_9 = x_8$	$\dot{m}_9$
10	$T_{10} = T_9$	$P_{10}$	$h_{10} = (T_{10}, P_{10})$	$x_{10} = x_9$	$\dot{m}_{10} = \dot{m}_9$
11	$T_{11}$	$P_{11}$	$h_{11} = (T_{11}, P_{11})$	$x_{11} = x_{10}$	$\dot{m}_{11} = \dot{m}_{10}$
12	$T_{12}$	$P_{12}$	$h_{12} = (T_{12}, P_{12})$	$x_{12} = x_{11}$	$\dot{m}_{12}$

La "Propiedad desconocida", nos indica, valores desconocidos de estas propiedades; para estos valores se requerirán instrumentos de medición que cuantifiquen el valor respectivo de la propiedad. Tenemos también el recuadro que dice "Propiedad calculable", que nos dice que estas variables tendremos que calcularlas, puesto que no existen instrumentos que midan estas propiedades directamente, y aunque existieran eso incrementaría el sistema de control del sistema. Para finalizar, tenemos el recuadro "Propiedad dependiente", los valores de estas propiedades, son iguales a otros puntos de medición o dependen de otros.

Ya que tenemos especificadas las propiedades con las que se cuentan, propiedades con valores faltantes, propiedades que necesitan calcularse y propiedades dependientes de otras, podemos definir la cantidad de instrumentos de medición que se necesitarán posteriormente.

## 2.2. Tubería

Ahora que ya tenemos definidos los puntos de medición y los estados termodinámicos correspondientes, podemos caracterizarlos, de tal manera que se propongan los instrumentos de medición de cada uno de los diferentes puntos propuestos, con el fin de satisfacer la medición de la propiedad que se necesite en cada uno.

Para definir el tipo de instrumentos de medición, se debe de tomar en cuenta el diámetro de la tubería, ya que cada instrumento necesita un rango de tubería lineal para evitar las fluctuaciones en la medición y poder tener una lectura correcta y precisa.

Cabe mencionar que en algunos puntos de medición, el contenido de la tubería es vapor de agua, por lo que esto involucra otras condiciones de selección de los instrumentos de medición, esto implica otras especificaciones para la selección de los equipos, como se verá más adelante.

*Tabla 2.3.* Diámetros de flujos de sistema actual<sup>7</sup>

Puntos de medición	Perímetro (cm)	Diámetro (cm)	Diámetro (in)	Equivalencia
Punto 1	54	17.18873385	6.76721805	6 "
Punto 2	54	17.18873385	6.76721805	6 "
Punto 3	54	17.18873385	6.76721805	6 "
Punto 4	19	6.047887837	2.3810582	2 "
Punto 5	19.4	6.175211792	2.43118574	2 "
Punto 6	19.4	6.175211792	2.43118574	2 "
Punto 7	19.4	6.175211792	2.43118574	2 "
Punto 8	86	27.37465021	10.7774213	10 "
Punto 9	86	27.37465021	10.7774213	10 "
Punto 10	86	27.37465021	10.7774213	10 "
Punto 11	86	27.37465021	11.7774213	10 "
Punto 12	86	27.37465021	12.7774213	10 "

<sup>7</sup>Elaboración propia con datos de levantamiento.

Como se observa en la *Tabla 2.3* se tomaron las medidas de los diferentes perímetros de las tuberías, ya que se contaba con una cinta métrica para las mediciones, de ahí se calcularon los diámetros externos en centímetros y en pulgadas, para llegar a las medidas equivalentes de las tuberías.

Para llegar a las equivalencias correspondientes del diámetro de las distintas tuberías se buscaron en tablas de distintos fabricantes de tuberías, hasta que se llegaron a los tres tipos de diámetros de tubería que son de dos, seis y diez pulgadas, que están compuestos por acero al carbono, con estos valores se puede dar una idea de cuáles serán las características de instalación de los instrumentos de medición.

### 2.3. Instrumentación

De acuerdo a los puntos de medición, diámetros y flujo de trabajo, se propondrán los instrumentos de medición que satisfagan las necesidades del sistema, por esto se tiene que ver cuáles son las necesidades de medición en cada punto.

*Tabla 2.4.* Instrumentos de medición

PUNTO	DIÁMETRO	TEMPERATURA	PRESIÓN	FLUJO MÁSSICO
1	6"			X
2	6"			X
3	6"	X		
4	2"	X	X	X
5	2"		X	
6	2"	X	X	X
7	2"			X
8	10"		X	
9	10"			
10	10"			
11	10"	X	X	
12	10"	X	X	X

En esta parte se tienen tres propiedades que pueden ser cuantificadas por instrumentos de medición, las cuales son temperatura, presión y flujo másico. Estas

propiedades pueden ser medidas por una gran variedad de instrumentos, ya que existen numerosos tipos de estos.

En la *Tabla 2.4* se puede ver en qué puntos de medición se requieren mediciones de temperatura, presión o flujo másico, para poder colocar los instrumentos de medición pertinentes a fin de obtener los valores deseados. También se observa la relación de cada punto de medición con su respectivo diámetro de tubería en pulgadas, con la finalidad de tener una idea de las características futuras que deben poseer cada equipo de medición, ya que si no se toman en cuenta estas especificaciones, se tendrán instrumentos de medición que no cumplan con las especificaciones de instalación y por consecuencia se tendrán valores erróneos de medición.

Los instrumentos de medición son variados en la forma de tomar medidas, en el rango de medición y en las especificaciones de instalación, por eso se deben de tomar en cuenta estos aspectos, para que se logre la decisión correcta de que instrumento de medición es el más adecuado tanto técnica como económicamente, a fin de cumplir con las necesidades de medición del sistema.

## **2.4. Instrumentos de medición**

En algún momento de nuestra vida hemos utilizado un instrumento de medición, ya sea de utilización casera o industrial. Con el fin de conocer la variable que necesitamos conocer o con el fin de que la aplicación del mismo sistema lo requiera.

Un instrumento de medición es un dispositivo que compara magnitudes físicas, a fin de obtener el valor cuantificable de la variable que se requiera medir. Los instrumentos de medición son de una gran utilidad, ya que en muchas aplicaciones necesitamos los valores de las propiedades de un sistema, a fin de conocerlas y controlarlas, para tener un sistema más eficiente y con un mejor desempeño en la función del mismo.

Ya que en la actualidad existen todo tipo de instrumentos de medición, a continuación se presentará una breve explicación de los mismos, puesto que la teoría de

instrumentación es muy basta y no es el objetivo del presente trabajo, se presentará lo fundamental sin ahondar en el tema. Se pueden clasificar los instrumentos de medición por su función:<sup>8</sup>

*Tabla 2.5.* Clasificación de instrumentos de medición

TIPO	DEFINICIÓN
Instrumentos ciegos	Estos son los instrumentos de medición que no presentan el valor visible de la variable a medición, como por ejemplo los termostatos, interruptores de presión o temperatura.
Instrumentos indicadores	Tienen por característica el tener una escala graduada o un panel digital, para visualizar el valor de la variable que se está midiendo.
Instrumentos registradores	Este tipo registra con trazo continuo o a puntos la variable, y puede ser circular o de gráfico rectangular o alargado según sea la forma del gráfico.
Transductores	Este tipo se diferencia por ser dispositivos con la capacidad de recibir una señal de entrada de una o más cantidades físicas, convirtiéndola en una señal de salida.

El SHCA de la AOCU requiere un sistema de monitoreo y de control, ya que como en el primer capítulo se habló de esto, se pretende adicionar paneles solares y bombas de calor al actual sistema, esto nos aumenta el número de propiedades termodinámicas que tendremos que monitorear, ya que la eficiencia del SHCA de la AOCU, depende de cómo se controlen estas variables.

Por esta razón es conveniente adquirir instrumentos de medición que tengan la capacidad de enviar una señal de salida, al sistema de monitoreo y control, que se pretende colocar en un futuro cuarto de máquinas de la AOCU que pueda controlar el sistema a distancia y pueda enseñarse a los alumnos de ingeniería como puede funcionar el sistema de calentamiento, evitando realizar un gasto innecesario en un futuro de no considerarse esta situación, bajo estas condiciones se elegirán los instrumentos de medición del sistema actual de calentamiento de agua.

<sup>8</sup> Bustillos, P.O. (2001). Instrumentación Industrial: Universidad de Oriente Venezuela  
13-Nov-2012 <http://es.scribd.com/doc/40492525/107/Tipos-de-instrumentos-para-medir-temperaturas>

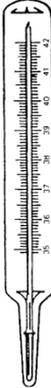
### 2.4.1. Instrumentos de medición de temperatura

El concepto de temperatura se origina con la percepción de nuestros sentidos. Dicho concepto se basa en la noción de “calor” o “frío” que transmite un cuerpo.<sup>9</sup>

Para este concepto se necesitan instrumentos de medición que nos permita una lectura más precisa de la misma, ya que para lo que alguien puede ser mas “frío” o mas “caliente”, para otra persona puede que no sea la misma comparación, por esta razón se necesita tener escalas ya definidas de temperatura, y los instrumentos de medición nos darán la cuantificación de la temperatura del objeto en estudio, en este caso del sistema de calentamiento de agua de la AOCU.

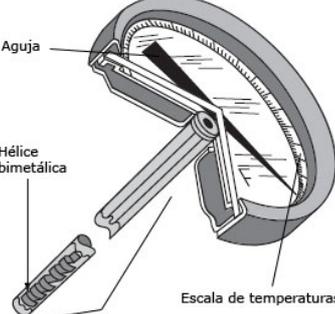
Tenemos una gran variedad de instrumentos de medición de temperatura, con distintos principios de funcionamiento, por lo que se enunciaran algunos tipos de estos, para poder tomar una correcta decisión posteriormente, a fin de elegir los instrumentos de medición de temperatura para analizar nuestro sistema.

*Tabla 2.6.* Instrumentos de medición de temperatura

INSTRUMENTO	DEFINICIÓN	IMAGEN
Termómetro	Es un instrumento, el cual por medio del cambio de volumen de una sustancia líquida o gaseosa, en el interior del mismo, nos da una lectura del valor de la temperatura por medio de una escala grabada.	 <p>10</p>

<sup>9</sup> Michael J. Moran, Howard N. Shapiro (2005). Fundamentos de termodinámica técnica: Reverté

<sup>10</sup> Ciencias Naturales Online (2013) 24-Mar-13

<p>Termómetro bimetálico</p>	<p>Este tipo de termómetro se caracteriza por tener dos tiras metálicas de diferentes coeficientes de expansión entre ellas, las cuales se encuentran enrolladas en forma helicoidal; cuando se aumenta la temperatura las láminas tienden a desenrollarse, este movimiento gira la aguja en un indicador graduado, con lo que se puede observar el valor de la temperatura del cuerpo.</p>	 <p>Diagram illustrating the components of a bimetallic thermometer: <b>Aguja</b> (needle), <b>Hélice bimetálica</b> (bimetallic helix), and <b>Escala de temperaturas</b> (temperature scale). A note states: <b>Funda conteniendo bimetálico que se introduce en sector a medir temperatura</b> (11).</p>
<p>Termistor</p>	<p>Un termistor es una resistencia que varía con la temperatura, esto se debe a que posee un semiconductor, donde por medio de un circuito eléctrico se puede obtener el valor de este cambio eléctrico, y así cuantificar el valor de la temperatura.</p>	 <p>12</p>
<p>Termopar</p>	<p>El principio de funcionamiento de un termopar se debe a que dos alambres de diferentes metales se encuentran conectados a un circuito cerrado, donde al pasar una corriente eléctrica y al estar a diferentes temperaturas las uniones, se genera un diferencial de potencial llamada fuerza electromotriz térmica (fem). La cual puede ser cuantificada y de esta manera proporcionar el valor de la temperatura.</p>	 <p>13</p>
<p>Pirómetro</p>	<p>Un pirómetro es un instrumento que mide por medios eléctricos temperaturas muy elevadas, alrededor de más de los 450 °C, existen pirómetros ópticos, de radiación, de resistencia y termoelectrónicos.</p>	 <p>14</p>

<sup>11</sup>Sapiensman (2013)24-Mar-13

<sup>12</sup>Hanna Instruments (2013) 31-Mar-13

<sup>13</sup>Servovendi (2013) 31-mar-13

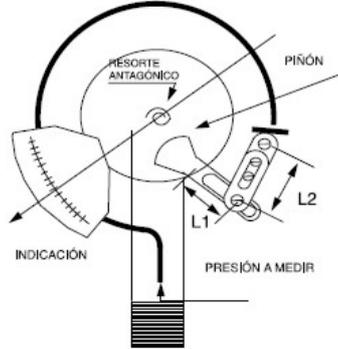
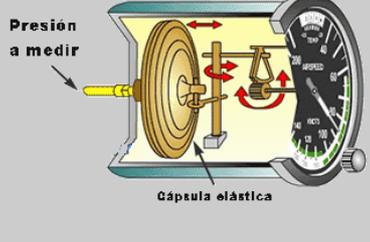
<sup>14</sup>Direct Industry (2013) 31-Mar-13

## 2.4.2. Instrumentos de medición de presión

Se define como presión a la cantidad de fuerza que se ejerce sobre una unidad de área de alguna sustancia<sup>15</sup>. La presión actúa en todas las direcciones de la sustancia a la que se encuentra sometida.

Para medir la presión se tienen instrumentos de mediciones muy variadas y distintas, dependiendo de la aplicación requerida, por ejemplo se tienen instrumentos de medición que miden la presión, comparándola con la ejercida de un líquido con densidad y altura conocidas, como son: el manómetro de tubo en U, manómetro de tubo inclinado, manómetro de toro pendular, etc. Cabe mencionar que estos instrumentos no son factibles, para nuestro sistema de estudio, ya que no miden presiones del rango requerido y por ende no se ahondara en la descripción de estos instrumentos de medición.

*Tabla 2.7.* Instrumentos de medición de presión

INSTRUMENTO	DEFINICIÓN	IMAGEN
<p>Manómetro Bourdon</p>	<p>Este tipo de manómetro consiste en un tubo de sección elíptica denominado tubo Bourdon<sup>16</sup>. El principio de funcionamiento consiste, en la deformación del tubo Bourdon debida a la presión ejercida por algún fluido, esta deformación es transmitida, por medio de un arreglo mecánico en el instrumento, en movimiento que hace que gire la aguja que indica el valor de la presión.</p>	 <p>17</p>
<p>Manómetro de diafragma</p>	<p>El manómetro posee un diafragma formado por una o varias cápsulas unidas rígidamente mediante soldadura, con lo cual debido a la presión se deforman, transfiriendo este movimiento por medio de palancas a la aguja indicadora del instrumento de medición.</p>	 <p>18</p>

<sup>15</sup>Robert L. Mott (2006). Mecánica de Fluidos: Pearson

<sup>16</sup>El nombre del tubo es debido a que lo invento Eugène Bourdon (1808-1884)

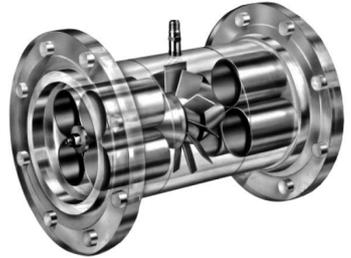
<sup>17</sup>Sapiensman (2013) 31-Mar-13

<p>Transductor</p>	<p>Son instrumentos que al ser sometidos a una presión, nos dan como respuesta una señal eléctrica, la cual conectándose a un medidor, se puede cuantificar la variable de estudio, en este caso la presión.</p>	 <p>19</p>
--------------------	--	--

### 2.4.3. Instrumentos de medición de flujo volumétrico

El flujo volumétrico se refiere al volumen de una sustancia que pasa por un punto en específico, en un intervalo determinado de tiempo. Los equipos de medición de flujo másico, por lo regular ocupan un espacio considerado, por lo cual se ha elegido un medidor de flujo volumétrico, considerando de que el peso de un litro de agua es similar a un kilogramo, no tenemos mucha variación en la transformación de la unidad

*Tabla 2.8.* Instrumentos de medición de flujo volumétrico

INSTRUMENTO	DEFINICION	IMAGEN
<p>Instrumento de medición de flujo por medio de placa de orificio</p>	<p>Una placa orificio es una restricción con una abertura más pequeña que el diámetro de la cañería en la que está inserta. La placa orificio típica presenta un orificio concéntrico, de bordes agudos. Debido a la menor sección, la velocidad del fluido aumenta, causando la correspondiente disminución de la presión. El caudal puede calcularse a partir de la medición de la caída de presión en la placa orificio.</p>	 <p>20</p>
<p>Instrumento de medición de flujo por medio de turbina</p>	<p>Se usa para medir caudal de líquidos limpios mediante la detección de la rotación de los álabes de una turbina colocada en la corriente de flujo. Las partes básicas del medidor son el rotor de turbina y el detector magnético. El fluido que circula sobre los álabes del rotor lo hace girar y la velocidad rotacional es proporcional al caudal.</p>	 <p>21</p>

<sup>18</sup>Sabelotodo (2013)31-Mar-13

<sup>19</sup>Irvin Systems (2013)31-Mar-13

<sup>20</sup>Alibaba (2013) 31-Mar-13

<sup>21</sup>Direct Industry (2013) 13-abr-13

INSTRUMENTO	DEFINICION	IMAGEN
Instrumento de medición de flujo magnético	<p>Su funcionamiento se basa en la Ley de Faraday de inducción magnética. Una partícula cargada eléctricamente que pasa a través de un campo magnético produce una tensión perpendicular tanto al campo magnético como al vector velocidad y esta tensión es proporcional a la velocidad de la partícula. Dado que un líquido conductor contiene partículas cargadas, al pasar a través de un campo magnético, producirá una tensión (Ley de Faraday).</p>	 <p>22</p>
Rotámetro	<p>Consiste en un flotador, encerrado en un tubo de vidrio troncocónico, terminado en bloques metálicos convenientes para su inserción vertical en la conducción. Al pasar el fluido, el flotador asciende, girando si está dotado de la espiral aludida, situándose a una altura determinada según la velocidad del mismo. El flotador determina por su peso la diferencia constante de presión.</p>	 <p>23</p>

<sup>22</sup>Alibaba (2013) 15-abr-13

<sup>23</sup>Alibaba (2013) 15-abr-13

### **CAPÍTULO 3**

#### **Análisis del calentamiento de agua por medio de calderas y bombas de calor**

En el capítulo 1, se hizo una descripción del sistema actual de calentamiento de agua de la AOCU, con la cual se visualizó el ciclo termodinámico del mismo, así como los subsistemas que lo componen, de esta forma se sabe los equipos que lo conforman.

Para realizar un análisis real del sistema actual, se solicitaron las bitácoras de las dos calderas (se lleva a cabo de forma horaria en los días de operación del sistema), las cuales contienen la información del consumo de gas lp, así como las temperaturas de entrada y salida del agua de la alberca, con lo cual se logró un valor de consumo más preciso en cuanto al valor en litros del gas lp.

La información obtenida de las temperaturas de entrada y salida del agua de la alberca se graficó, con el fin de determinar el perfil de temperatura del agua, puesto que se tienen fluctuaciones donde varían estos dos valores y en donde se busca controlar las condiciones, con el fin de tener un comportamiento estable en esta propiedad del agua.

A partir del análisis del sistema actual de calentamiento de agua de la AOCU, se calculará la aportación de energía de las 33 bombas de calor, con lo cual se pretende disminuir el consumo de gas lp y comparar costos contra la energía eléctrica requerida para este sistema, ya que de no cumplirse un ahorro en costos se concluiría que no es una solución viable, debido a que el objetivo de este proyecto es disminuir tanto el costo de los insumos, así como la emisiones de CO<sub>2</sub> al medio ambiente, debido al combustible quemado.

### **3.1. Análisis del sistema actual**

El sistema actual de calentamiento de agua de la AOCU, fue descrito en el capítulo 1, donde se conoció como está conformado, así como la función que desempeña cada equipo y las conexiones entre los mismos.

Ahora se hará un análisis energético del sistema actual, enfocado en la información obtenida en las bitácoras de las dos calderas pertenecientes a este, con lo cual se podrán comprobar algunos aspectos de eficiencia y control, puesto que el sistema actual, carece de un control operacional adecuado, y esto disminuye la eficiencia energética y aumenta las emisiones de contaminantes al ambiente.

#### **3.1.1. Temperatura de la AOCU**

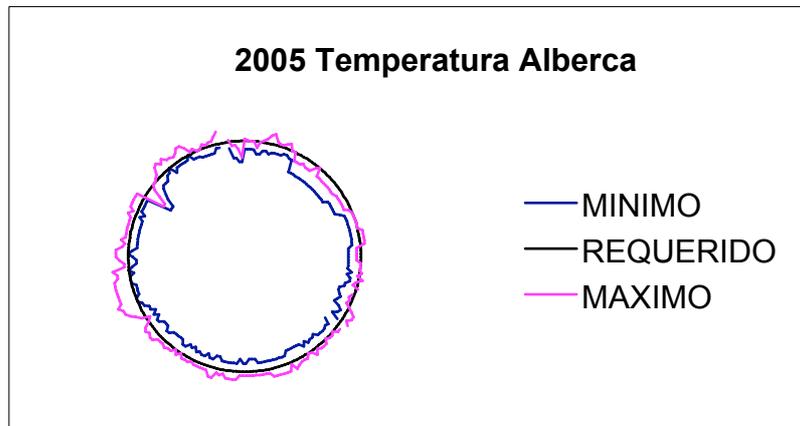
En base al conjunto de datos obtenidos de temperatura de la AOCU, contenidos en las bitácoras otorgadas por la Administración de la AOCU, se graficó con los datos disponibles la temperatura de los años 2005 al 2007 y del 2010 al 2012.

La comparativa fue realizada a la temperatura de confort del agua de una alberca que son los 28 °C<sup>24</sup> (REQUERIDO), contra las temperaturas de entrada y salida (MÍNIMO Y MÁXIMO respectivamente), con estos valores se hizo una gráfica polar, ya que de este modo podemos observar el comportamiento anual de la temperatura del agua de la AOCU. A continuación se muestran los gráficos por cada año.

---

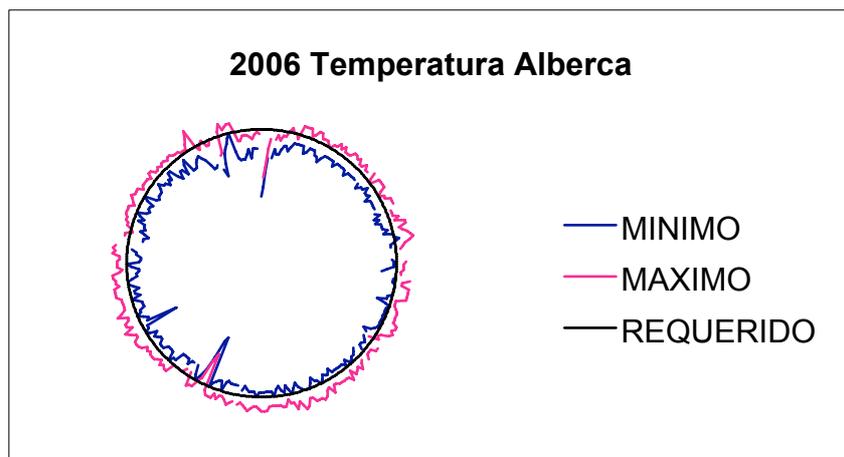
<sup>24</sup>FINA Facilities Rules 2013-2017

Gráfica 3.1. Temperatura 2005<sup>25</sup>



En la *Gráfica 3.1* el MINIMO, se refiere a la temperatura más baja del agua de la AOCU registrada en ese día, ya que la temperatura más alta se refiere al MAXIMO en la gráfica y el REQUERIDO está dado por los 28°C, que es la temperatura de confort del agua de la alberca. Por otro lado observando esta gráfica del año 2005, nos percatamos que en algunos días durante el año no hubo actividad, ya que se corta la gráfica, pero también nos damos cuenta de la variabilidad de la temperatura del agua de la alberca, puesto que en días se sobrepasa la temperatura antes mencionada y en otros se queda muy por debajo de esta.

Gráfica 3.2. Temperatura 2006<sup>26</sup>

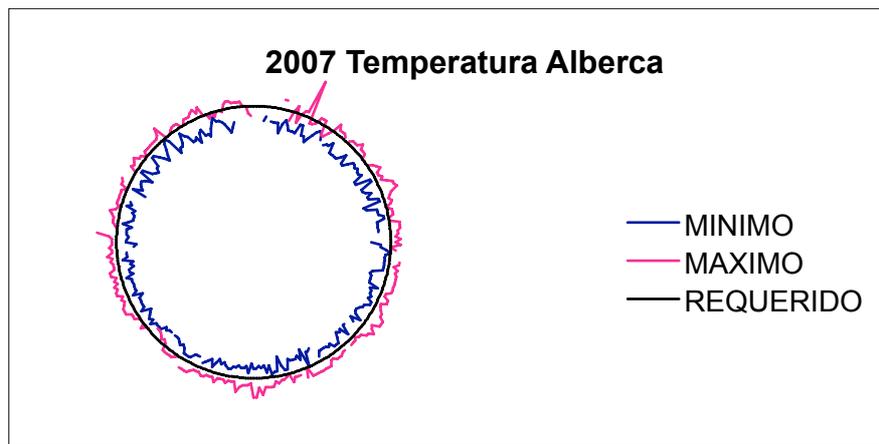


<sup>25</sup>Elaboración propia con información de bitácoras de la AOCU.

<sup>26</sup>Elaboración propia con información de bitácoras de la AOCU.

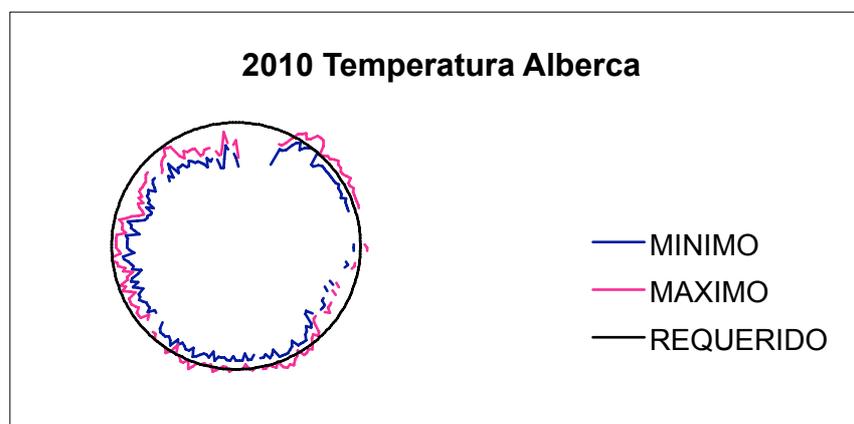
En el año 2006 correspondiente a la *Gráfica 3.2* se tienen un comportamiento con mayor variabilidad en las temperaturas recabadas en las bitácoras. Nos podemos dar cuenta de esto, ya que se tiene una gran cantidad de picos en la gráfica, tanto como el valor MINIMO como para el MAXIMO, así como días en los que no hubo ninguna actividad o registro de estos días.

*Gráfica 3.3.* Temperatura 2007<sup>27</sup>



Para el año 2007 como se observa en la *Gráfica 3.3* existe un pico elevado en la línea de la temperatura alta (MAXIMO), hace denotar el desperdicio de energía para en este caso, ya que la temperatura del agua de la alberca esta por arriba de la temperatura de confort para este caso.

*Gráfica 3.4.* Temperatura 2010<sup>28</sup>

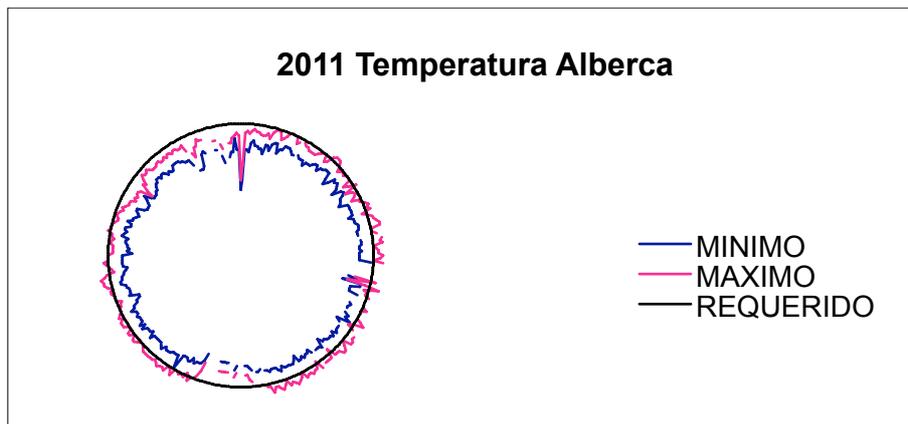


<sup>27</sup> Elaboración propia con información de bitácoras de la AOCU.

<sup>28</sup> Elaboración propia con información de bitácoras de la AOCU.

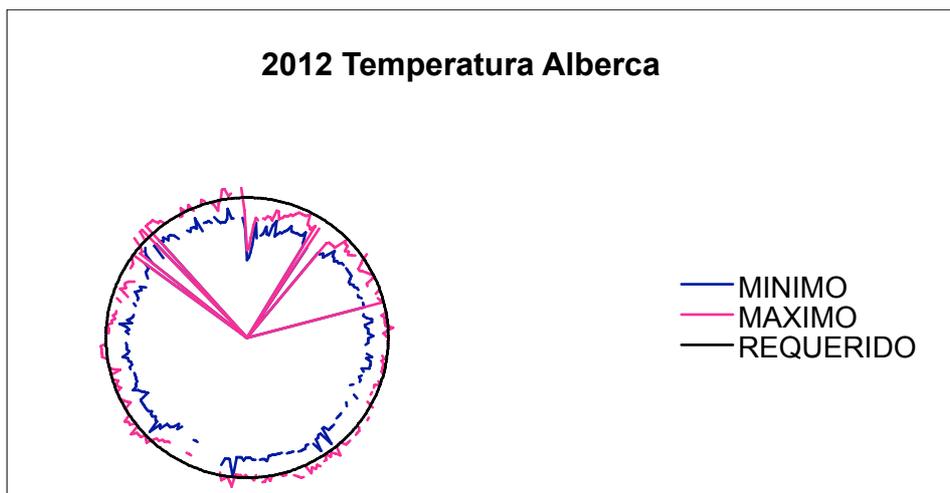
En el caso de la *Gráfica 3.4* la temperatura del agua de la alberca en varios días del año 2010, estuvo por debajo de la temperatura de confort, donde se pudieron ver afectados los usuarios de las instalaciones deportivas.

*Gráfica 3.5.* Temperatura 2011<sup>29</sup>



El comportamiento del sistema en el año 2011 fue un poco más estable en comparación a los años pasados como se puede ver en la *Gráfica 3.5*, puesto que el MAXIMO se encuentra cercano a la línea de REQUERIDO, a excepción en algunos días, donde hubo fluctuaciones en los valores de temperatura.

*Gráfica 3.6.* Temperatura 2012<sup>30</sup>



<sup>29</sup> Elaboración propia con información de bitácoras de la AOCU.

<sup>30</sup> Elaboración propia con información de bitácoras de la AOCU.

En el año 2012 tenemos un comportamiento totalmente variable, puesto que gracias a que hubo algunos planes de mantenimiento correctivo como preventivo, en algunos casos la temperatura no se elevó, ya que el sistema no se encontraba en funcionamiento.

En general se observa en las gráficas anteriores que el control de temperatura en el agua de la AOCU es nulo, ya que tenemos demasiadas variaciones en comparativa con el círculo, que representa la temperatura óptima a la que el agua se debe mantener, que por lo contrario, solo podemos observar picos que significan un exceso o déficit en la temperatura alcanzada del agua de la AOCU.

Estos valores inconstantes en la temperatura del agua, provocan un aumento en los insumos de las calderas, viéndose reflejado un aumento en el costo de la operación del sistema y contaminantes liberados a la atmósfera.

### **3.1.2 Consumo y aportación energética**

El consumo de gas lp en el sistema de calentamiento de agua de la AOCU por medio de calderas, es un valor que podemos calcular de las bitácoras de la alberca, con esta información se puede realizar una hoja de datos conforme a cada día de funcionamiento del cuarto de calderas.

El consumo fue dividido entre las estaciones del año: primavera, verano, otoño e invierno. Se pensó de esta manera, ya que la eficiencia de los sistemas de calentamiento de agua conformado por las calderas, las bombas de calor y los paneles solares, dependen del ambiente el cual, es cambiante conforme transcurre el año.

Tabla 3.1. Consumo real<sup>31</sup>

2005	T <sub>1</sub> [°C]	T <sub>2</sub> [°C]	Consumo diario promedio de gas LP[l]	kWh
Primavera	25.92	29.63	2,874.46	17,264.41
Verano	26.01	29.02	3,109.78	18,677.81
Otoño	23.5	26	2,262.50	13,588.91
Invierno	24.85	27.29	3,289.74	19,758.68
2006	T <sub>1</sub> [°C]	T <sub>2</sub> [°C]	Consumo diario promedio de gas LP[l]	kWh
Primavera	26.44	29.42	3,249.40	19,516.36
Verano	26.08	29.60	3,463.67	20,803.29
Otoño	25.02	28.88	3,761.96	22,594.90
Invierno	25.30	28.84	3,885.14	23,334.69
2007	T <sub>1</sub> [°C]	T <sub>2</sub> [°C]	Consumo diario promedio de gas LP[l]	kWh
Primavera	25.94	29.61	3,353.55	20,141.89
Verano	25.89	29.02	3,033.85	18,221.75
Otoño	25.24	28.66	3,734.42	22,429.49
Invierno	25.07	28.90	3,926.21	23,581.37
2010	T <sub>1</sub> [°C]	T <sub>2</sub> [°C]	Consumo diario promedio de gas LP[l]	kWh
Primavera	25.82	28.61	2,724.59	16,364.32
Verano	25.35	27.71	2,745.57	16,490.31
Otoño	22.90	25.31	2,884.79	17,326.47
Invierno	--	--	--	--
2011	T <sub>1</sub> [°C]	T <sub>2</sub> [°C]	Consumo diario promedio de gas LP[l]	kWh
Primavera	25.23	28.86	2,921.11	17,544.62
Verano	24.74	27.99	2,869.65	17,235.56
Otoño	23.34	26.28	2,856.67	17,157.61
Invierno	23.82	26.79	3,429.21	20,596.34
2012	T <sub>1</sub> [°C]	T <sub>2</sub> [°C]	Consumo diario promedio de gas LP[l]	kWh
Primavera	24.61	28.65	2,528.89	15,188.91
Verano	23.63	27.35	2,367.84	14,221.59
Otoño	24.31	27.93	2,886.39	17,336.10
Invierno	22.68	25.88	3,145.37	18,891.54

En la *Tabla 3.1* se resumen las temperaturas de entrada (T<sub>1</sub>) y de salida (T<sub>2</sub>) del agua de la alberca en grados centígrados, así como el consumo diario promedio de gas lp por estación de año y el consumo en kilowatt-hora (kWh) proporcionado por el combustible, considerando que las calderas tienen un 82%<sup>32</sup> de eficiencia cada una. En el caso del año 2010 en la estación de invierno, no se encontraron suficientes datos en las bitácoras existentes de la AOCU.

<sup>31</sup> Elaboración propia con información de bitácoras de la AOCU.

<sup>32</sup> De acuerdo a mediciones realizadas por Proyectos de Ahorro de Energía Facultad de Ingeniería PAE-FI en 2009 y 2012, se comprueba este valor en la eficiencia

Como podemos observar en algunos casos, no se cumple con la demanda de la temperatura del agua de la alberca, puesto que no se llega a la temperatura de confort de la alberca de 28 °C, por esta razón se hizo la siguiente tabla, donde se puede ver el consumo promedio ideal diario de gas lp, en donde ( $T_2$ ) es igual a 28°C.

*Tabla 3.2.* Consumo ideal

2010	$T_1$ [°C]	$T_2$ [°C]	Consumo diario ideal promedio de gas LP[l]
Primavera	25.82	28.00	2,666.68
Verano	25.35	28.00	2,773.88
Otoño	22.90	28.00	3,191.56
Invierno	--	--	--
2011	$T_1$ [°C]	$T_2$ [°C]	Consumo diario ideal promedio de gas LP[l]
Primavera	25.23	28.00	2,833.96
Verano	24.74	28.00	2,870.97
Otoño	23.34	28.00	3,043.28
Invierno	23.82	28.00	3,584.05
2012	$T_1$ [°C]	$T_2$ [°C]	Consumo diario ideal promedio de gas LP[l]
Primavera	24.61	28.00	2,471.81
Verano	23.63	28.00	2,424.36
Otoño	24.31	28.00	2,893.77
Invierno	22.68	28.00	3,403.68

Para la *Tabla 3.2* solo se utilizaron los años más recientes a partir del 2010 al 2012, debido a que no existe una digitalización para preservar la información de las bitácoras, ya que se entiende que no se puede mantener mucho tiempo el archivo muerto, puesto que utilizaremos la información más cercana a la fecha de realización del análisis, a fin de obtener el consumo promedio de gas lp, correspondiente al valor de  $T_2=28^\circ\text{C}$ .

Obtenido el consumo promedio ideal de gas lp, el cual se calculó considerando la temperatura en las bitácoras e interpolando con respecto al valor de la temperatura requerida  $T_2=28^\circ\text{C}$ , de esta manera se obtuvieron estos datos, con el objetivo de visualizar la diferencia que se tiene del consumo actual y comprobar si existe un exceso o déficit de combustible, llegando a la temperatura de confort del agua de la AOCU.

*Tabla 3.3.*Diferencia de consumo

2010	Consumo promedio de gas LP[l]	kWh
Primavera	57.92	424.20
Verano	-28.30	-207.32
Otoño	-306.77	-2,246.98
Invierno	--	--
2011	Consumo promedio de gas LP[l]	kWh
Primavera	87.16	638.38
Verano	-1.31	-9.63
Otoño	-186.60	-1,366.79
Invierno	-154.84	-1,134.14
2012	Consumo promedio de gas LP[l]	kWh
Primavera	57.09	418.14
Verano	-56.52	-413.99
Otoño	-7.38	-54.07
Invierno	-258.32	-1,892.05

Al tener cuantificado el exceso o déficit de la cantidad de gas lp y el consumo energético en kWh diarios, nos podemos dar cuenta que es incorrecta la operación en el cuarto de máquinas del sistema de calentamiento de agua de la AOCU, puesto que no se realiza de una manera eficiente, ya que en la estación de primavera de cada año se está excediendo la temperatura de 28°C y en las demás estaciones se está por debajo de esta.

En la *Tabla 3.3* el símbolo menos (-) indica que en estos casos, se tuvo un déficit de litros de gas lp y de kWh, ya que no se alcanzó la temperatura de 28°C en el agua de la alberca. Para el caso de los valores positivos significa que se sobrepasó la temperatura de 28°C, así como el valor positivo indica los litros de gas lp y kWh excedidos en las calderas, con lo cual se está realizando un gasto innecesario de energía.

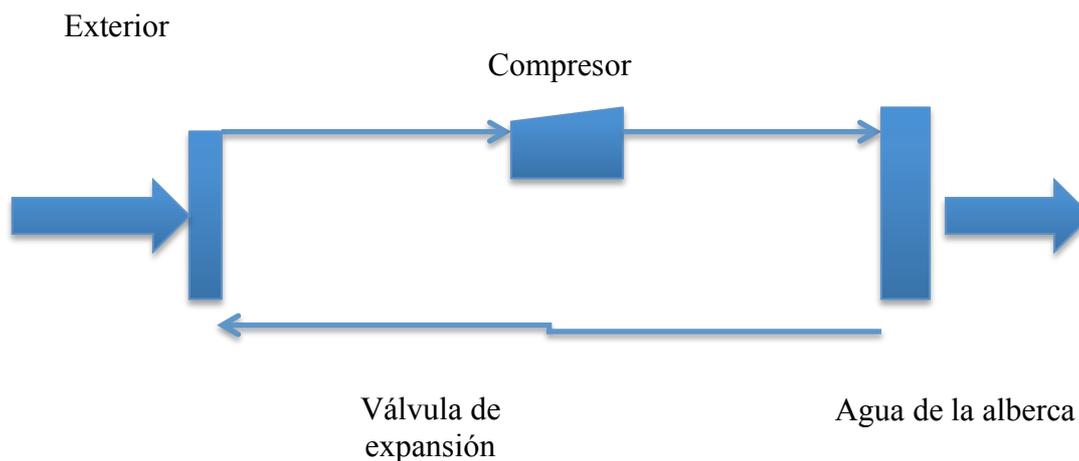
### 3.2. Bombas de calor

Una bomba de calor y un refrigerador son esencialmente lo mismo, ya que se rigen por el mismo ciclo termodinámico, la diferencia es la finalidad de cada uno. El refrigerador tiene por objetivo extraer calor de un medio frío y el objetivo de una bomba de calor, es suministrar calor a un medio caliente<sup>33</sup>.

El costo de una bomba de calor en principio es elevado comparado contra otros equipos de calefacción, pero el beneficio se ve reflejado a mediano plazo, ya que el rendimiento de este equipo, hace que su costo de operación sea menor que los otros equipos de calefacción, significa que el costo-beneficio a mediano plazo está a favor de la bomba de calor.

Sabemos que la energía térmica normalmente se desplaza del cuerpo de mayor temperatura al de menor temperatura, pero en la bomba de calor esta transferencia se invierte, ya que ahora se desplaza la energía térmica del cuerpo con menor temperatura al de mayor temperatura.

*Figura 3.1.*Funcionamiento de Bomba de Calor (BC)



<sup>33</sup>Cengel , Y.A. (2004). Transferencia de calor. México: McGraw-Hill.

Para lograr invertir la transferencia de calor, se requiere suministrar energía a la bomba de calor como se observa en la *Figura 3.1*, por medio de un compresor. Gracias a las propiedades físicas del refrigerante que circula por la bomba de calor, se logra transferir calor al mismo por medio de un cambio de fase del mismo.

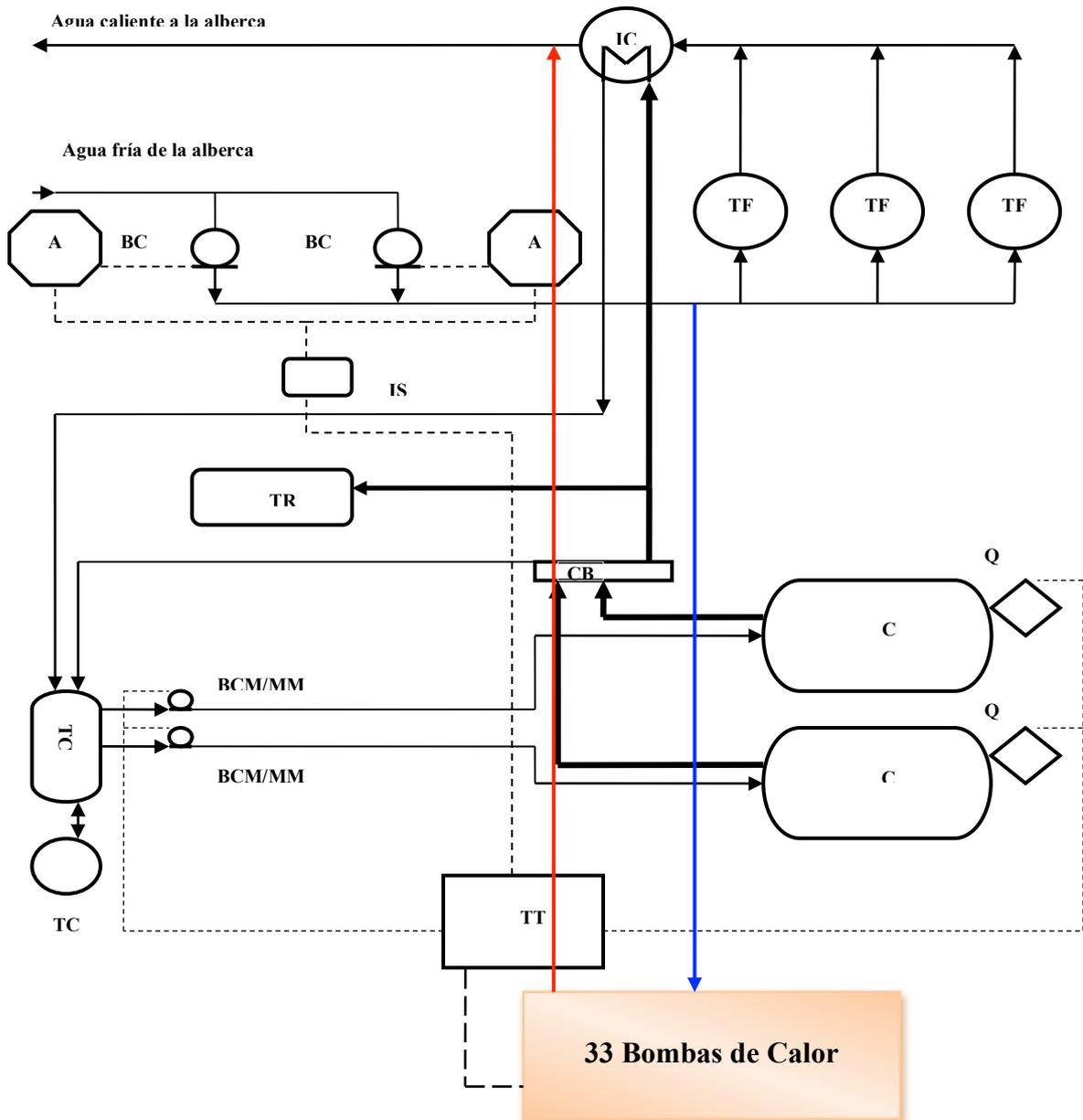
De esta manera se consigue transferir la energía térmica del aire del exterior al agua de la alberca con un menor costo, al compararlo con otros sistemas de calefacción similares.

### **3.2.1. Sistema con bombas de calor**

Se propone que el flujo de alimentación a las bombas de calor sea después de la bomba centrífuga, pero antes de los tanques de filtrado, ya que la caída de presión es considerable después del proceso de filtrado y con esto no se lograría impulsar el agua en dirección a las bombas de calor que se encuentran en la parte exterior del cuarto de calderas.

Para el caso de la descarga del agua proveniente de las bombas de calor, se pretende conectar después del intercambiador de calor, como se muestra en la *Figura 3.2*. Se conecta de esta manera debido a que la temperatura del flujo de agua de las bombas de calor se encontrará a 30°C aproximadamente, ya que si la temperatura después del intercambiador de calor es menor a esta, se enfriará el agua perdiendo la energía antes aportada por estos equipos.

Figura 3.2. Sistema de calentamiento de agua de la AOCU con bombas de calor



### 3.2.2. Aportación energética

Como ya se había mencionado la bomba de calor es un equipo, que depende de la temperatura del ambiente donde se encuentre, así que su rendimiento se verá reflejado en la variación del clima de la Ciudad Universitaria.

El tiempo diario de encendido de las bombas de calor está relacionado con la aportación energética que brindan al sistema de calentamiento de agua de la AOCU, donde la unidad que se utiliza para medir la energía en este proyecto es kilowatt-hora (kWh).

*Tabla 3.4.* Aportación energética diaria de las bombas de calor real

Estación del Año	Horas	[kWh]	Aporte	Horas	[kWh]	Aporte	Horas	[kWh]	Aporte
Primavera	13	7,062	43%	10	5,432	33%	8	4,346	27%
Verano	13	8,245	52%	10	6,342	40%	8	5,074	32%
Otoño	13	9,515	55%	10	7,319	42%	8	5,855	34%
Invierno	13	8,484	43%	10	6,526	33%	8	5,221	26%

*Tabla 3.5.* Aportación energética diaria de las bombas de calor ideal

Estación del Año	Horas	[kWh]	Aporte	Horas	[kWh]	Aporte	Horas	[kWh]	Aporte
Primavera	13	7,062	44%	10	5,432	34%	8	4,346	27%
Verano	13	8,245	51%	10	6,342	39%	8	5,074	31%
Otoño	13	9,515	52%	10	7,319	40%	8	5,855	32%
Invierno	13	8,484	40%	10	6,526	31%	8	5,221	25%

Entre más tiempo se mantengan encendidas las bombas de calor, mayor será su aporte energético real, como se puede ver en la *Tabla 3.4*, donde se calcularon los kWh para 13, 10 y 8 horas de funcionamiento de los equipos, teniendo una mayor aportación energética con 13 horas de funcionamiento. Pero también tendrán un costo económico más alto, esto se considerara en el apartado económico del proyecto

En el caso de la *Tabla 3.5*, se hace el cálculo para  $T_2=28^{\circ}\text{C}$ , con cual se disminuye la aportación de las bombas de calor en las estaciones del año, exceptuando primavera que es la estación que esta excedido el consumo real sobre el consumo ideal.

No se hizo el cálculo del funcionamiento para más horas, ya que el horario de la alberca es de 9 a 16 horas y en la noche se mantiene el sistema de calentamiento de la AOCU sin operación, por lo tanto no sería conveniente mantener las bombas de calor encendidas. Cabe mencionar que se elige el caso medio de 10 horas de encendido de las bombas de calor, ya que el sistema solar del que se hablará en el próximo capítulo

estará en funcionamiento alrededor de 8 horas, que es la duración de la radiación solar óptima para el sistema durante el día.

### 3.2.3. Costo energético

Un factor de suma importancia es la energía eléctrica necesaria para el funcionamiento de las bombas de calor, debido a que se comprobará si existe ahorro en el costo de la energía eléctrica contra el costo de la energía térmica proporcionada por el gas lp.

Para realizar el cálculo de la energía eléctrica se consultaron las tarifas vigentes del año 2013 en la página de la Comisión Federal de Electricidad, donde se tomaron los precios y la metodología para el cálculo del costo en tarifa HM.<sup>34</sup>

*Tabla 3.6.* Costo de energía eléctrica en tarifa HM

Estación del Año	Consumo [kWh]	Horas de funcionamiento [h]	Costo total [€]
Primavera	122,958.00	10	\$242,089.90
Verano	108,256.50	10	\$219,184.10
Otoño	121,621.50	10	\$233,161.90
Invierno	104,247.00	10	\$216,636.20

En principio las bombas de calor operarán alrededor de 10 horas en los días de servicio de la AOCU, es por esta razón que el consumo de energía varía, ya que en el año se tienen días no laborables, por lo que se ve suspendido el servicio en las instalaciones de la misma.

Estas variantes se ven reflejadas en la *Tabla 3.6*, donde el costo de la energía eléctrica depende del costo que CFE estima para cada mes del año 2013, ya que el costo de la energía eléctrica mes con mes varía.

Para realizar una comparativa entre la energía producida por combustión del gas lp y la energía térmica producida (a través de la energía eléctrica) en las bombas de calor, se compara el costo de los insumos para cada sistema y determinar si es posible obtener

<sup>34</sup>Comisión Federal de Electricidad <http://www.cfe.gob.mx> 13-Nov-13

ahorros de capital por año. Ahora que ya se tiene el costo de la energía eléctrica suministrada a las 33 bombas de calor, se procede a calcular el costo de la energía térmica producida por el gas lp.

*Tabla 3.7.* Costo de energía térmica gas lp

Estación del Año	Aportación [kWh]	Gas lp [l]	Costo Total
Primavera	488,947.50	66,754.80	\$478,629.28
Verano	494,741.52	67,545.66	\$558,808.88
Otoño	658,755.90	89,937.90	\$644,854.23
Invierno	509,067.78	69,501.12	\$574,990.34

En la *Tabla 3.7*, se realizó una conversión de la energía aportada por las bombas de calor en kWh entre la equivalencia del gas lp que es de 7.32 kWh/l<sup>35</sup>, esto significa que la aportación de energía térmica que nos brindan las bombas de calor, al igualarlo con el costo del gas lp nos arroja estos costos por estación del año.

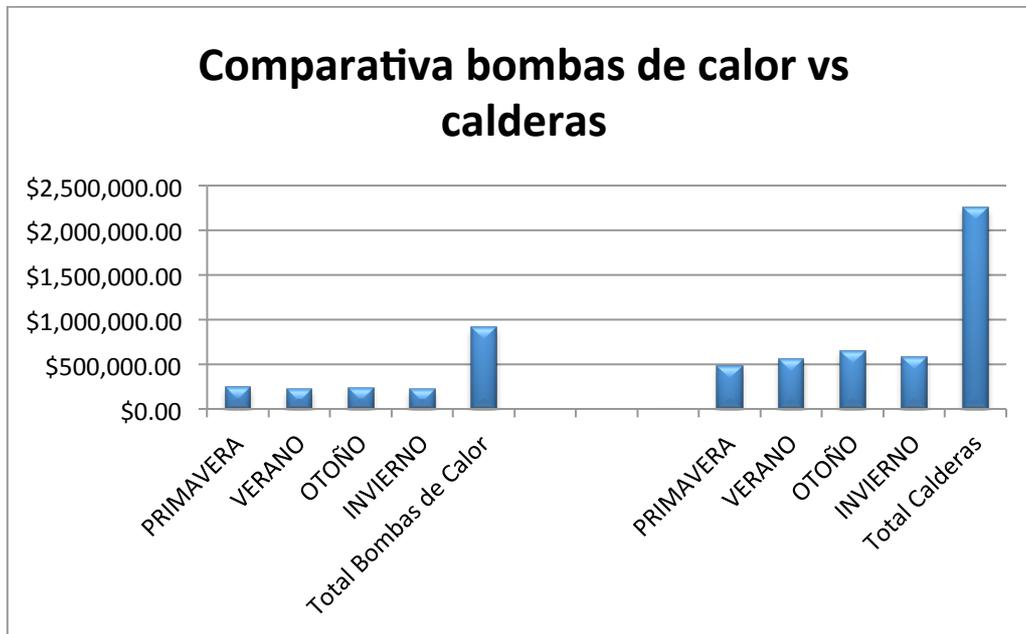
Al hacer la suma del costo total por año de la energía eléctrica de las bombas de calor nos arroja el resultado de **\$911,072.10**, que es lo que aproximadamente costará el mantener encendidas las bombas de calor por 10 horas en los días de servicio de la AOCU, cabe mencionar que es un costo variable, ya que depende del costo del suministro de energía eléctrica en tarifa HM de la CFE.

En el caso del costo de la energía térmica proporcionada en la combustión del gas lp en las calderas, podemos observar que es mayor el costo de la producción de la misma cantidad de energía con respecto a las bombas de calor. Si hacemos la suma de la *Tabla 3.7*, obtenemos **\$2,257,282.74** que es, más de lo doble comparado con el costo en el caso de las bombas de calor.

Estamos hablando que al utilizar las bombas de calor se ahorraría anualmente la cantidad de **\$1,346,210.64**, la cual es una cantidad muy favorable, puesto que este dinero se puede emplear a favor del mantenimiento, reparación y operación de la AOCU.

<sup>35</sup><http://www.sener.gob.mx/> Secretaría de Energía

Gráfica 3.7. Comparativa bombas de calor vs calderas



En la *Gráfica 3.7*, se puede observar la diferencia que hay de costos entre la energía producida por las bombas de calor contra la misma cantidad producida por las calderas, donde la diferencia es grande si comparamos los dos costos totales al año, puesto que se acentúa y se comprueba que a pesar que las bombas de calor requieren energía eléctrica, se consigue un ahorro energético y económico.

Se comprobó que para el caso de las bombas de calor, resulta viable el instalarlas y conectarlas al sistema de calentamiento del agua de la AOCU, ya que aportan en promedio el 35% de la demanda energética de la alberca, así como se obtiene un ahorro significativo en el costo de la energía producida. Ahora se verá en el siguiente capítulo el análisis para el sistema de energía solar térmica que se pretende combinar con los dos sistemas, que ya hemos mencionado.

## CAPÍTULO 4

### **Análisis del calentamiento de agua por medio de calderas, bombas de calor y paneles solares**

La energía solar es altamente rentable, ya que no tiene ningún costo de insumo para obtenerla, la desventaja es que solo la podemos obtener durante el día y la máxima capacidad de obtención depende de las condiciones climáticas, así como de la orientación del colector con respecto al sol, que a su vez disminuye o incrementa la eficiencia del mismo.

Se pretende mostrar como una opción viable el incorporar un sistema de colectores solares al sistema actual de calentamiento de agua de la AOCU, ya que como se mencionó antes, esta forma de obtención de energía térmica se logra en el día y el horario de servicio de la AOCU se empata con las horas del día donde tenemos sol.

Ahora que tenemos el análisis del sistema actual de calentamiento del agua de la AOCU, combinado con la aportación energética de las 33 bombas de calor que se pretenden instalar, ahora se procederá el análisis de los 1000 paneles solares que se sumarán al sistema de calentamiento del agua de la AOCU.

El tipo de colector solar que se instalará en la AOCU está fabricado en polipropileno de alta resistencia, lo que alarga la vida del mismo a través del paso del tiempo, la marca de los colectores es HELIOL model HC40 y Modulo Solar. Cabe mencionar que estos colectores solares serán donados a la UNAM, por lo cual no traerá un costo inicial de inversión y los costos serán únicamente por instalación.

En este capítulo se analizará la operación a futuro sistema de calentamiento de la AOCU por medio de colectores solares (ya que el sistema es prácticamente nuevo), con el objetivo de comprobar la viabilidad del mismo con respecto al actual sistema de calentamiento por medio de calderas, así como cuantificar el ahorro económico en términos de operación del sistema en conjunto de calderas, bombas de calor y colectores solares.

#### **4.1. Descripción del sistema térmico solar**

Como se mencionó anteriormente el sistema térmico solar de calentamiento del agua de la AOCU, se compondrá por 1000 paneles solares los cuales ocuparan un área determinada en las instalaciones que componen la AOCU, la razón es que deben ser instalados a una distancia relativamente corta al cuarto de calderas, donde se sumará el flujo de agua proveniente de los colectores solares al flujo suministrado por las bombas de calor y que este a su vez, pase por el intercambiador de calor.

Como se mencionó en el Capítulo 3 el agua proporcionada por las bombas de calor será vertida en el sistema antes de pasar por el intercambiador de calor, ya que las calderas proporcionarán la energía restante en este caso. En el sistema térmico solar, se repetirá el lugar de la interconexión con el resto del sistema, con el objetivo de que el sistema de calentamiento por medio de calderas aporte la energía faltante al agua de la AOCU, en caso de que los dos sistemas en conjunto, no alcancen la aportación total de energía térmica al agua, para satisfacer la demanda del sistema total.

Un factor importante de este sistema es la potencia de bombeo del agua con respecto al conjunto de colectores solares, para que el agua sea suministrada y retornada del cuarto de calderas a los colectores y viceversa, es necesario un sistema de bombeo que mantenga la presión adecuada. Como la potencia de cada bomba es proporcional a la distancia de la tubería que se tendrá, nos conviene una menor distancia para tener una menor potencia de bombeo, obteniendo un menor consumo de energía eléctrica, por parte de estos equipos y reducir el costo de operación de los mismos.

Por esta razón, se buscaron áreas cercanas al cuarto de calderas donde se puedan instalar los 1000 colectores solares en su totalidad, ya que al no haber un espacio de estas dimensiones, nos queda la posibilidad de seccionar el sistema térmico solar en diferentes áreas de instalación, con el fin de colocar los 1000 colectores a una distancia relativamente corta.

A continuación se muestran las áreas propuestas para la instalación:

1. Actividades Deportivas
2. Edificio Ludoteca
3. Corredor

*Figura 4.1.* Áreas de instalación de colectores solares



En el área 1 correspondiente a actividades deportivas se instalarán 550 colectores solares con un área aproximadamente de 2250 m<sup>2</sup>, mientras que el área 2 correspondiente a la ludoteca se instalarán 175 colectores solares con un área aproximada de 720 m<sup>2</sup> y en el área 3 (Corredor) se instalarán 275 colectores con un área aproximada de 1200 m<sup>2</sup>.

La elección de estas áreas se debe a la cercanía que tienen con el cuarto de calderas de la AOCU, ya que como se había mencionado antes, la distancia que se busca es la menor posible, con el objetivo de requerir bombas centrífugas de una potencia menor.

## 4.2. Sistema de Calentamiento Solar

Los colectores solares que se pretenden instalar en la AOCU, son fabricadas con polipropileno de alta resistencia a los rayos ultravioleta, evitando la degradación del material al transcurrir el tiempo, incrementando su vida útil.

Figura 4.2. Colector solar Heliocol HC-40<sup>36</sup>



En la imagen podemos apreciar que son de polipropileno color negro, con el objetivo de captar una mayor cantidad de energía calorífica y así lograr una temperatura mayor en el agua de la AOCU.

Como se acaba de mencionar se tendrá un fluido que es el agua el cuál se desplazará por medio de los colectores solares, con el objetivo de aumentar su temperatura y ser mezclada con el agua de la AOCU, de esta manera gradualmente se incrementará la temperatura del agua hasta a llegar a los 28°C, el cuál es el valor óptimo de confort.

Cabe mencionar que se requerirán intercambiadores de calor en el sistema de colectores solares, ya que el agua proveniente de la alberca contiene algunas sustancias que pueden dañar los equipos que conforman el sistema solar térmico, es por esta razón que el agua que circulara en los colectores solares solo brindara la energía térmica al agua de la alberca sin mezclarse con esta.

<sup>36</sup><http://www.heliocol.com.mx/> HELIOCOL

Para lograr que el fluido se encuentre a la presión necesaria para realizar el recorrido hacia los colectores solares y de regreso hacia la AOCU, serán necesarias bombas centrífugas, que impulsarán al fluido, en este caso el agua que será mezclado con el flujo proveniente de las bombas de calor.

Como se mencionó antes, las áreas donde se distribuirán los colectores solares serán: actividades deportivas, ludoteca y corredor, esta última área contiene otra área llamada pasillo. Las características y posicionamiento de las bombas quedarán de la siguiente manera:

*Tabla 4.1.* Bombas Centrífugas

<b>ÁREA</b>	<b>EQUIPO</b>
Actividades Deportivas	Bomba Centrífuga de 20 HP
Ludoteca	Bomba Centrífuga de 7.5 HP
Corredor	Bomba Centrífuga de 15 HP
Pasillo	Bomba Centrífuga de 15 HP
Agua de la Alberca	Bomba Centrífuga de 15 HP

La potencia de cada una de las cinco bombas centrífugas requeridas por el sistema, es proporcional a la distancia del cuarto de máquinas de la AOCU, así como al flujo de agua con respecto a cada una de las cuatro áreas donde se realizará el sembrado de los colectores solares, como se puede ver en la *Tabla 4.1*, la bomba centrífuga del "Agua de la Alberca" será utilizada para vencer la caída de presión del flujo proveniente del cuarto de calderas al sembrado de colectores solares, (Véase *Figura 4.1*. Diagrama del Sistema de Calentamiento Propuesto).

En la tabla anterior se observa que en el área de actividades deportivas se requiere la bomba con más potencia comparada con las demás, que es de 20 HP, mientras que la ludoteca requiere la de menor potencia con 7.5 HP, la potencia del conjunto de bombas centrífugas es de 72.5 HP.

Cada una de las bombas centrífugas alimentará a un número determinado de colectores solares, que a su vez se conectan a un intercambiador de calor, encargado

de transferir la energía térmica captada por los colectores solares, al agua de la AOCU sin que se mezclen las dos corrientes, por los inconvenientes antes mencionados.

La bomba centrífuga del área "Agua de la Alberca" como se mencionó con anterioridad, será utilizada para mantener la presión del agua a través del recorrido por los intercambiadores de calor, así como el retorno del flujo a la corriente del agua con mayor temperatura que desembocará en la AOCU, con la finalidad de climatizar este espacio.

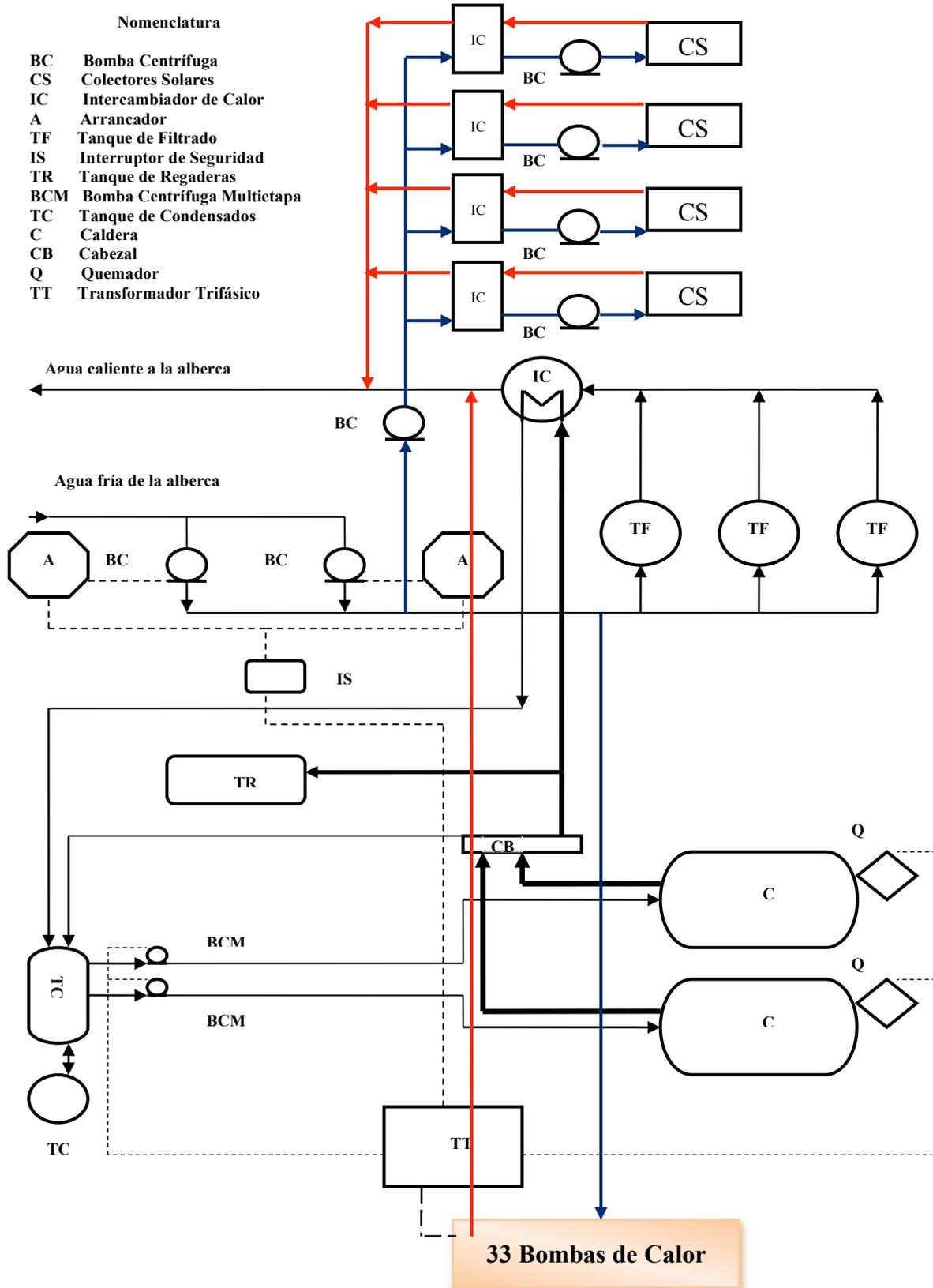
Cómo se puede observar en esta parte del contenido, se requieren cinco bombas centrífugas, las cuales tendrán un consumo de energía eléctrica y por consecuencia un costo por la misma, reflejándose en un costo operativo mientras estas funcionen, por lo que se tendrá que analizar el costo del consumo anual de energía eléctrica de estos equipos.

La ventaja de la energía solar, es que no existe un costo de obtención por la misma como en el caso de las calderas o las bombas de calor, donde se paga por el gas lp o la energía eléctrica en cada caso para obtener energía térmica y transferirla al agua de la AOCU.

A continuación se muestra la distribución del sistema descrito con anterioridad en el sistema actual, junto con el sistema de calentamiento de agua por medio de bombas de calor, y así conformar el SHCA.

### 4.2.1. Diagrama del Calentamiento Solar

Figura 4.1. Diagrama del Sistema de Calentamiento Propuesto



La distancia que habrá del sistema de colectores solares al cuarto de máquinas es considerable con respecto a la presión que se debe de mantener, para el correcto funcionamiento del mismo. Se requerirá una bomba centrífuga que llevé el agua a las cuatro bombas centrífugas, que a su vez mantendrán la presión del agua para llevarla a los colectores solares de las respectivas áreas antes descritas, así como a los intercambiadores de calor donde se realizará la transferencia de energía térmica al agua de la AOCU.

El flujo de agua caliente ingresa a través del llamado circuito primario al intercambiador de placas proporcionado por los colectores solares, el cual cede su energía al flujo del agua proveniente de los tanques de filtrado, así como el de las bombas de calor (como se puede observar en la *Figura 4.1*).

El propósito del posicionamiento de la conexión hidráulica, es con el objetivo de tener a las calderas como un sistema adicional, el cual aportará la energía térmica restante, para cubrir la demanda térmica del agua de la AOCU.

### **4.3. Análisis del sistema solar térmico**

En el capítulo anterior se realizó el análisis del sistema de calentamiento de agua por medio de calderas y bombas de calor, cómo se pudo observar en el caso de las bombas de calor su rendimiento depende del clima, pues en este caso también el clima juega un papel importante, ya que la cantidad de energía térmica captada depende de las condiciones climáticas del momento viéndose reflejada en la cantidad de energía térmica que es transferida al agua de la AOCU.

Para realizar un correcto análisis del sistema solar, tenemos que saber cuáles son las condiciones climáticas de la Ciudad de México y en específico de Ciudad Universitaria, puesto como ya se mencionó con anterioridad, la aportación energética que brindaran el conjunto de colectores solares depende del clima anual.

Cabe mencionar que el proyecto de instalación de los paneles solares incluye también la instalación de la estación meteorológica en la parte alta de las oficinas del centro de control de monitoreo (CCM) de los paneles solares ubicado en la ludoteca, con esta información de radiación se calculará, cuando el sistema trabaje completamente la cantidad de energía disponible y la absorbida por los paneles solares.

Actualmente se está calibrando la estación meteorológica, por lo pronto, a fin de tener datos lo más fidedignos posibles, se trabaja sobre la plataforma de la NASA, con un programa nombrado RETScreen Plus, el cual lo obtenemos de forma gratuita en una versión de prueba, el cual tiene una opción para conocer la radiación solar en distintas partes del mundo, así como algunos otros datos variados. Por lo que solicitamos al programa estos datos de la Ciudad Universitaria, la cual está ubicada en la Latitud °N 45.4 y Longitud °E -75.7 y se obtiene lo siguiente:

*Tabla 4.2.* Condiciones Climáticas Ciudad Universitaria<sup>37</sup>

Mes	Temperatura del aire [°C]	Humedad relativa [%]	Radiación Solar diaria-horizontal [kWh/m <sup>2</sup> ]	Temperatura del suelo [°C]
Enero	15.1	59.7	4.58	14.9
Febrero	17.7	53.2	5.39	17.4
Marzo	16.8	45.7	6.01	20.8
Abril	20.5	46.9	5.95	23.5
Mayo	20.5	55.2	5.77	23.6
Junio	19.8	40.3	5.42	21.0
Julio	19	69.0	5.17	20.2
Agosto	18.6	68.6	4.99	20.2
Septiembre	18.3	74.1	4.50	19.1
Octubre	18.3	72.0	4.57	17.7
Noviembre	16.3	67.6	4.51	16.1
Diciembre	13	64.0	4.26	14.7
Anual	17.8	62.2	5.09	19.1

Podemos observar en la *Tabla 4.2* que Marzo, Abril y Mayo, son los meses con mayor radiación solar en el año, estos meses son correspondientes a primavera. Como nuestro análisis de las bombas de calor y calderas, se realizó la división del año en las cuatro estaciones para saber en qué parte del año se tiene una mayor y menor

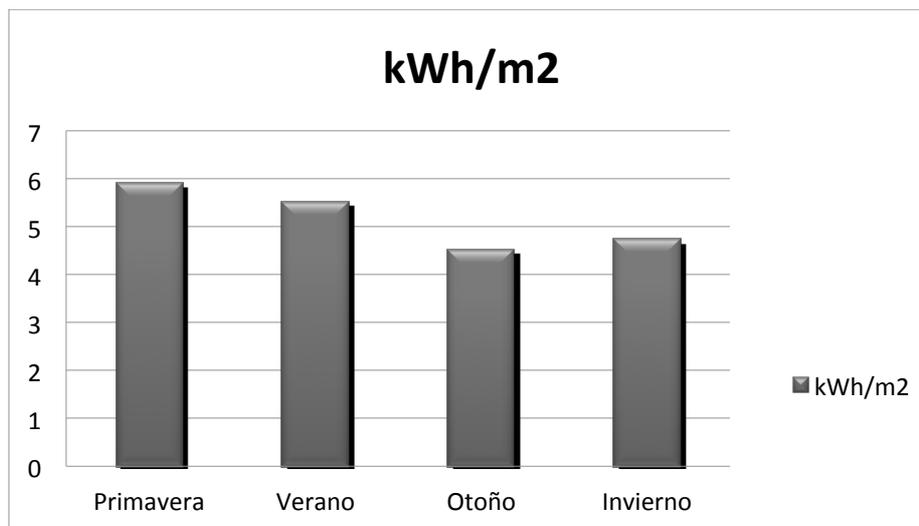
<sup>37</sup> Nasa 2013 RETScreen Plus

aportación energética del sistema de calentamiento de la AOCU, igual para la parte del sistema solar se realizará de esta forma.

Los cálculos se basaron en el método F-CHART<sup>38</sup>, ya que es una metodología eficiente para cálculos de este tipo y con el objetivo de tener un resultado correcto de la aportación energética de los colectores solares, se realizaron los cálculos en hojas de Excel siguiendo este método.

Al tener la radiación solar en unidades de kilowatt-hora nos facilita las operaciones, ya que el resultado que se arrojará por parte de la aportación energética de los colectores solares, corresponderá la unidad a la obtenida por parte de las calderas y bombas de calor.

Gráfica 4.1. Radiación Solar por Estación



En la Gráfica 4.1 nos damos cuenta que la estación con mayor radiación solar es la primavera con 5.91 kWh/m<sup>2</sup> por día, seguida por el verano con 5.53 kWh/m<sup>2</sup> por día, le sigue el invierno con 4.74 kWh/m<sup>2</sup> por día y al final tenemos el otoño con un valor de 4.53 kWh/m<sup>2</sup> por día.

<sup>38</sup> Konstruir (2014) <http://konstruir.com/C.T.E/HE-4-Contribucion-solar-minima-de-agua-caliente-sanitaria/Metodo%20F-Chart.pdf> 12-may-14

En el capítulo 2 se obtuvo la demanda en kWh del sistema de calentamiento del agua de la AOCU, estos resultados serán de utilidad para saber la aportación del sistema solar, con respecto a las de bombas de calor y al final sabremos el porcentaje que cubrirá el sistema de calderas, (ver *Tabla 4.3*).

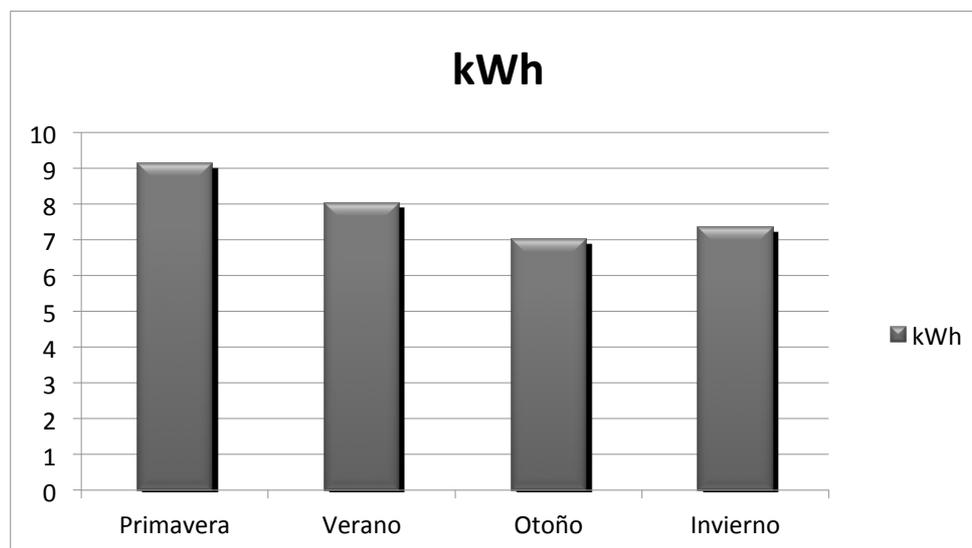
*Tabla 4.3.* Demanda energética de la AOCU

Estación del Año	kWh (demanda diaria)
PRIMAVERA	19,464.90
VERANO	19,701.15
OTOÑO	22,287.73
INVIERNO	25,591.07

#### 4.3.1. Aportación sistema solar térmico

Ya que se tienen las condiciones climáticas antes descritas en Ciudad Universitaria, se procede a calcular el aporte del sistema de colectores solares en kWh por día, ya que nuestro análisis lo hemos desarrollado de esta manera.

*Gráfica 4.2.* Aporte en kWh por cada colector solar en cada estación del año



Con anterioridad habíamos visto que en la estación de la primavera, teníamos el mayor índice de radiación solar del año, pues en el aporte diario de cada colector solar en kWh este comportamiento se repite, ya que cada colector aporta 9.15 kWh en esta

estación del año, siendo la más elevada, seguida del verano con 8.04 kWh por colector, el invierno con 7.35 kWh y al final el otoño con 7.01 kWh. (*Gráfica 4.2*).

Al tener estos valores, se procede a calcular el aporte del conjunto de colectores y sumar al aporte de las bombas de calor, para restarlo a la demanda de la AOCU, el resultado nos dirá que porcentaje cubrirá el sistema de calderas, en el caso de no satisfacer el 100% de la energía demandada de la AOCU. Cabe mencionar que en el caso de los cuatro intercambiadores de calor tenemos una eficiencia del 80%, lo cual nos quiere decir que de la energía total transferida por el agua de los colectores solares, se tiene que multiplicar por este porcentaje, con el fin de conocer la energía térmica que se transfiere al flujo del agua de la AOCU.

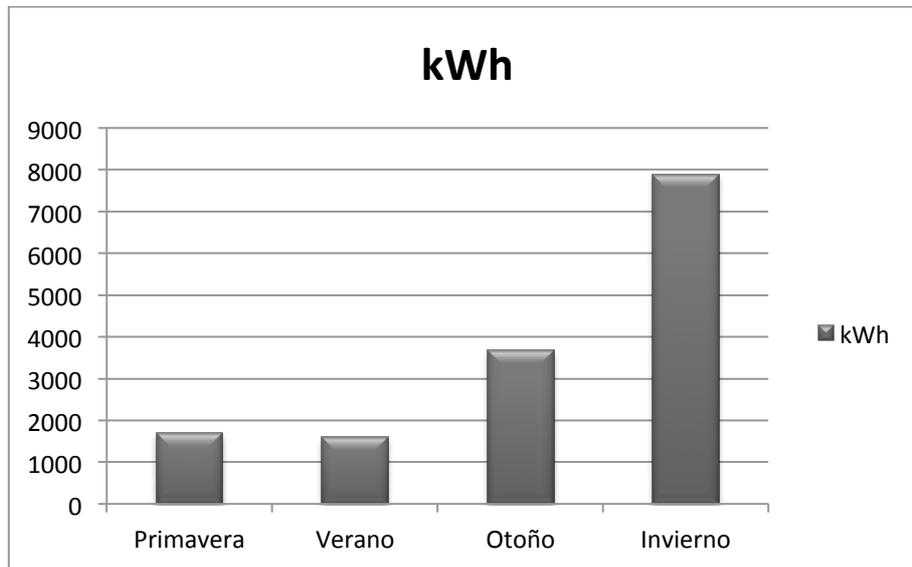
#### 4.3.2. Aportación sistema solar térmico, bombas de calor y calderas

*Tabla 4.4.* Aportación energética del sistema solar diaria

Estación del Año	kWh	Aporte Solar al Sistema	Aporte Bombas de Calor	Total	Diferencia
Primavera	7,202.01	37%	34%	71%	29%
Verano	6,501.38	33%	39%	72%	28%
Otoño	5,571.93	25%	40%	65%	35%
Invierno	5,885.95	23%	31%	54%	46%

La aportación energética en primavera por parte del sistema solar es mayor en comparación con el resto del año, por lo que en conjunto con la aportación de las bombas de calor, casi se cubre la totalidad de la demanda energética de la AOCU. En el caso de verano la diferencia es menor, debido a la aportación energética de las bombas de calor, ya que su COP se incrementa en el en verano y otoño, pero en este último la captación solar disminuye e incrementa la diferencia de porcentaje de aportación, (véase *Tabla 4.4*).

Gráfica 4.3. Diferencia Aportado por Calderas en kWh



Se comprueba que entre los dos sistemas alternos de generación de energía térmica (colectores solares y bombas de calor), no se cubre la demanda de energía térmica de la AOCU, quedando un porcentaje de diferencia que será cubierto por las calderas, pero cabe mencionar que existe un ahorro económico al agregar estos sistemas, al sistema actual de calentamiento de agua por medio de calderas.

En verano tenemos un menor aporte de energía aportada por las calderas con un valor de 1600.24 kWh (*Gráfica 4.3*), en primavera el valor es de 1696.59 kWh, en otoño el aporte es de 3671.19 kWh y el invierno es la estación con un mayor aporte de energía con 7896.08 kWh, con lo cual nos damos cuenta que en el verano se cuenta con una mayor aportación energética conjunta del sistema de bombas de calor y colectores solares.

#### 4.3.3. Análisis de las bombas centrífugas

Ya que sabemos cuál será el porcentaje aportación energética a cada sistema, tenemos que analizar el gasto energético de las bombas centrífugas del sistema solar, con el objetivo de comprobar que la demanda energética de las mismas sea menor que el aporte del sistema de colectores solares para que el proyecto sea viable.

Sabemos que el sol irradia en los colectores solares alrededor de 8 horas por lo cual las bombas centrífugas del sistema solar trabajarán durante este período de tiempo, por lo que tendremos que realizar el cálculo tomando en cuenta el período de tiempo y los días de cada estación donde se encuentra en funcionamiento la AOCU.

Para realizar el cálculo de la energía eléctrica se consultaron las tarifas vigentes del año 2013 en la página de internet de la Comisión Federal de Electricidad, donde se tomaron los precios y la metodología para el cálculo del costo de la energía eléctrica en tarifa HM.<sup>39</sup>

*Tabla 4.5.* Costo de energía eléctrica de bombas centrífugas

Estación del Año	Consumo [kWh]	Costo total [ \$ ]
Primavera	39,744	\$84,484.86
Verano	34,992	\$76,844.91
Otoño	39,312	\$81,205.92
Invierno	33,696	\$76,226.68

Si hacemos la suma del costo total de los kilowatt-hora consumidos en la tarifa HM de la *Tabla 4.5.* Nos da como resultado **\$318,762.37** al año, que es el precio de la energía requerida de las 5 bombas centrífugas del sistema solar térmico durante todo el año.

Para comprobar si es que existe ahorro en la energía térmica captada por los colectores solares, tenemos que saber cuánto es el ahorro económico, en comparación con el sistema actual de calentamiento por medio de calderas del agua de la AOCU.

#### **4.3.4. Análisis de costo en comparación con otros sistemas**

El proyecto será viable si el costo de energía producida actualmente por el sistema de calentamiento de agua por medio de calderas es mayor en comparación al conjunto de paneles solares, ya que lo que se busca es la reducción de costos operativos en el sistema de calentamiento del agua de la AOCU.

<sup>39</sup> Comisión Federal de Electricidad <http://www.cfe.gob.mx> 21-Abril-14

La energía térmica captada por los colectores solares no tiene ningún costo, ya que la radiación solar no es un insumo por el que tengamos que pagar, como los combustibles o la energía eléctrica, y con el beneficio de no generar ninguna clase de emanación de contaminantes a la atmósfera.

*Tabla 4.6.* Costo energía térmica con gas lp

Estación del Año	Aportación [kWh]	Gas lp [l]	Costo Total
Primavera	659,189.70	89,997.03	\$645,278.70
Verano	520,019.70	68,539.16	\$491,425.77
Otoño	504,894.60	68,931.69	\$494,240.20
Invierno	529,061.40	62,600.29	\$448,844.08

La radiación solar al no tener ningún costo refleja un ahorro mayor en el caso del sistema de calentamiento solar, ya que si sumamos el costo total anual de la *Tabla 4.6* nos resulta la cantidad de **\$2,079,788.76**; este valor nos indica que este es el precio de la energía captada por los colectores solares si la obtuviéramos con el sistema de calderas. Cabe mencionar que los kWh son los totales por cada estación del año, y los litros de gas lp, como el costo, están calculados por los días que conforman cada estación del año.

La suma anterior es el monto del ahorro anual que obtendremos si instalamos el sistema solar antes mencionado, pero cabe mencionar que a esta cantidad de dinero se le tiene que restar el costo de la energía eléctrica demandada anual por cada una de las bombas centrífugas que serán parte del sistema.

Si restamos los **\$318,762.37** (costo anual de energía eléctrica de bombas centrífugas) a **\$2,079,788.76** (ahorro anual sistema solar), seguimos teniendo los números a nuestro favor, ya que cada año que opere el sistema de colectores solares, se ahorrarán **\$1,761,026.38**, este ahorro se puede aprovechar para el futuro sistema de control y automatización del sistema de calentamiento del agua de la AOCU, ya que como hemos visto hasta ahora, implementando el sistema de bombas de calor y el sistema de colectores solares, se obtienen importantes ahorros en la operación del sistema.

#### 4.4. Costo kWh de los sistemas

En el capítulo anterior y en el presente, se ha visto el aporte energético los tres sistemas que compondrán el sistema de calentamiento del agua de la AOCU, así como sus características, su costo de operación, etc. Falta analizar el costo de kWh de cada sistema, para ver de una manera más clara que sistema es el que tiene el mayor ahorro económico, así como el que posee el menor.

Se analizarán los tres casos de los sistemas de calderas, bombas de calor y colectores solares con la información obtenida a lo largo del presente trabajo, por lo que se tiene:

*Tabla 4.7.* Costo kWh calderas

Calderas	
Litro de gas lp	7.32 kWh/ litro
Eficiencia calderas	82%
Costo de gas lp	\$7.17/litro
Costo	\$1.20/kWh

*Tabla 4.8.* Costo kWh bombas de calor

Bombas de Calor	
Costo eléctrico	\$911,072.10
Aportación energética	2,151,512.70 kWh
Costo	\$0.42/ kWh

*Tabla 4.9.* Costo kWh colectores solares

Colectores Solares	
Costo eléctrico	\$318,762.37
Aportación energética	2,213,165.40 kWh
Costo	\$0.14/ kWh

En las tablas anteriores, podemos observar que se obtienen los costos de cada kWh generado por sistema, con lo cual se comprueba que los colectores solares poseen el mayor ahorro económico, costando diez veces menos en comparación con el sistema de calderas y tres veces menos a diferencia de las bombas de calor.



El costo del kWh generado por las bombas de calor es intermedio, ya que es casi la tercera parte del costo con respecto a las calderas y tres veces más caro en comparación a los colectores solares.

Podemos observar que se tienen grandes ahorros implementando los sistemas de bombas de calor y los colectores solares, pero se llevará una inversión por la instalación de los mismos, así como también un costo por los equipos de control mencionados en el capítulo 2, con la finalidad de automatizar el sistema de calentamiento de agua de la AOCU y no se tengan variaciones, que ocasionan ineficiencias en el sistema con respecto a la operación del mismo. En el capítulo siguiente se abordarán estos temas.



## **CAPÍTULO 5**

### **Propuesta de instrumentación del SHCA**

Hasta el momento se tiene el análisis de los tres sistemas que conformarán el sistema híbrido de calentamiento del agua de la AOCU, esto implica que sabemos ahora cuál será el aporte energético de cada sistema, así como el ahorro económico de los mismos.

En el capítulo 2 se dieron a conocer los puntos de medición de propiedades termodinámicas del sistema actual, así como la instrumentación con la cual se podría analizar el comportamiento actual del mismo, con el fin de disminuir las pérdidas del sistema. También se habló de las características de los instrumentos, así como las características de la tubería en los puntos de colocación.

Cuando se comenzó el análisis de los sistemas desde el capítulo 3, se observaron irregularidades en la operación del cuarto de calderas de la AOCU, con lo cual se tienen pérdidas económicas y variaciones de temperatura en el agua, provocando mayor consumo de recursos de operación para calentar el agua.

Con el fin de evitar estas pérdidas y tener un control automático del sistema híbrido de calentamiento de agua de la AOCU, se pretende tener las herramientas necesarias para monitorear y controlar las condiciones de los procesos de la misma.

El objetivo de este capítulo es dar un panorama general de la instrumentación básica del SHCA, así como su costo de inversión y el tiempo de recuperación de la misma con respecto al ahorro del costo de combustible de gas lp, ya que como observamos anteriormente se consiguen importantes ahorros económicos anuales al implementar el sistema de bombas de calor y el sistema de colectores solares.

El tipo de instrumentación para los sistemas de colectores solares y bombas de calor, será muy similar que en el caso del sistema actual (Véase Capítulo 2). Se hará una propuesta de los instrumentos convenientes del SHCA, puesto que un futuro próximo se automatizará este sistema, con el objetivo de reducir costos operativos y aumentar la eficiencia del mismo.

### 5.1. Características de la instrumentación

Cómo se ha mencionado con anterioridad, es necesario que los instrumentos de medición tengan señal de salida para que se conecte al futuro sistema de control del SHCA que se pretende instalar, ya que se busca analizar el comportamiento del mismo. Se cotizaron equipos de medición con las características antes mencionadas, por lo que a continuación se muestran estos equipos.

#### -Temperatura

Para este caso en particular, se requieren sensores de temperatura con señal de salida para conectarse al monitoreo y control del SHCA, por lo que se eligió un termistor Sitrans TH100 marca SIEMENS.

Figura 5.1. Termistor Sitrans TH100<sup>40</sup>



<sup>40</sup>Siemens (2014) <http://www.automation.siemens.com/mcms/sensor-systems/en/process-instrumentation/temperature-measurement/head-transmitter/pages/sitrans-th100.aspx?ismobile=true>  
08-may-14

El termistor incluye un termopozo en acero inoxidable, para su instalación en diversos diámetros de la tubería del punto de medición donde sea instalado.

*Tabla 5.1.* Precio termistor<sup>41</sup>

DIÁMETRO	PRECIO
2"	\$3,786.00
4"	\$3,786.00
6"	\$3,786.00
10"	\$3,786.00

En el caso de los termistores el precio no varía el costo dependiendo del tamaño de la tubería en donde sea instalado el equipo, ya que las características del instrumento de medición no cambian sin importar el diámetro de la tubería, puesto que la instalación se realiza con un termopozo, como se muestra en la *Tabla 5.1.*

### **-Presión**

En este caso se elige un transductor de presión, el cual nos da una señal de salida, que se conectará al monitoreo y control del SHCA. Este instrumento de medición es también de la marca SIEMENS, se llama Sitrans P DSIII.

*Figura 5.2.* Transductor Sitrans P DS III<sup>42</sup>



<sup>41</sup> JGL Controls International, S.A. de C.V. 09-may-14

<sup>42</sup> <http://www.automation.siemens.com/mcms/sensor-systems/es/instrumentacion-de-procesos/medicion-de-presion/sitrans-p-ds-iii/pages/sitrans-p-ds-iii.aspx> 08-may-14

*Tabla 5.2.* Precio transductor de presión<sup>43</sup>

DIÁMETRO	PRECIO
2"	\$15,364.20
4"	\$15,364.20
6"	\$15,364.20
10"	\$15,364.20

El precio de los transductores de presión no cambia como se puede observar en la *Tabla 5.2*, por la misma razón que en el caso de los termistores, ya que sin importar el diámetro de la tubería las características del equipo se mantienen.

### **-Flujo volumétrico**

Para la medición del flujo volumétrico se elige un instrumento de medición magnético, puesto que otros tipos de instrumentos tienden a tener una caída de presión considerable como son los medidores por placa de orificio o los que cuentan con turbina, con esta caída de presión es necesario incrementar la potencia de bombeo, teniendo un mayor de costo de operación del sistema, por esta razón es más conveniente este tipo de instrumento aunque el precio de este sea un poco más elevado en comparación a otros tipos de instrumentos, ya que en el futuro se recupera esta inversión con el ahorro en el costo de la energía eléctrica del sistema de bombeo.

Para este caso se elige un medidor de flujo magnético Sitrans FM MAGFLO-MAG5100W marca SIEMENS, el cual se adapta muy bien a nuestros requerimientos, ya que también cuenta con una señal de salida para conectarse al equipo de monitoreo y control del SHCA.

---

<sup>43</sup> JGL Controls International, S.A. de C.V. 09-may-14

*Figura 5.3.* Medidor magnético de flujo Sitrans F M-MAG 5100W<sup>44</sup>



*Tabla 5.3.* Precio medidor de flujo magnético<sup>45</sup>

DÍAMETRO	PRECIO
2"	\$30,996.15
4"	\$34,120.60
6"	\$37,008.05
10"	\$47,274.45

Para el caso del precio del medidor de flujo magnético depende del diámetro de la tubería en que sea instalado cómo se puede observar en la *Tabla 5.3*, la razón de este comportamiento es la variación del rango de flujo que mide, así como el tamaño del equipo, ya que su instalación es bridada con respecto a la tubería existente.

## 5.2. Instrumentación del sistema de calderas

En el Capítulo 2 se mostraron los puntos de medición en lugares específicos del sistema de calentamiento de agua actual, donde con los instrumentos adecuados podemos tener una medición de las variables involucradas, con el objetivo de controlarlas y manipularlas, dependiendo de los requerimientos del sistema.

Los instrumentos de medición para el sistema de calentamiento de agua por medio de calderas, se presenta de la siguiente manera:

<sup>44</sup>Siemens [http://www.automation.siemens.com/mcms/infocenter/dokumentencenter/sc/pi/InfocenterLanguagePacks/Catalog%20sheet%20SITRANS%20F%20M%20MAG%205100%20W/sitransf\\_fmrag5100w\\_fi01en.pdp](http://www.automation.siemens.com/mcms/infocenter/dokumentencenter/sc/pi/InfocenterLanguagePacks/Catalog%20sheet%20SITRANS%20F%20M%20MAG%205100%20W/sitransf_fmrag5100w_fi01en.pdp) 09-may-14

<sup>45</sup>JGL Controls International, S.A. de C.V. 09-may-14

*Tabla 5.4.* Instrumentación calderas

MEDICIÓN					
Temperatura		Presión		Caudal	
Número	Diámetro	Número	Diámetro	Número	Diámetro
2	10"	3	10"	1	10"
1	6"	3	2"	2	6"
2	2"			3	2"

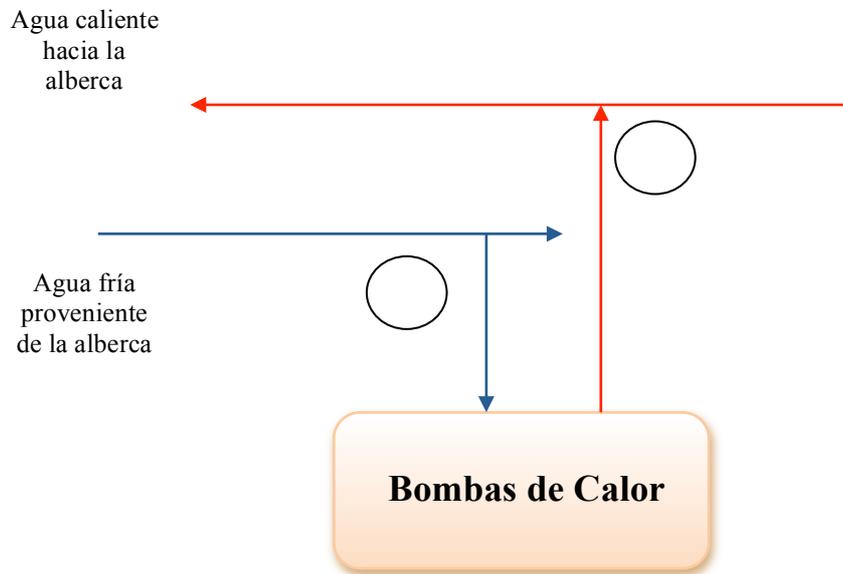
En la *Tabla 5.4* se cuantifica la cantidad de instrumentos requeridos por cada tamaño de diámetro de tubería en el punto de medición donde se colocará el tipo de instrumento dependiendo del tipo de variable: temperatura, presión o caudal. En el caso de la temperatura, son necesarios cinco instrumentos, para la presión se requieren seis instrumentos y el caudal se solicita también seis instrumentos de medición. (La ubicación de los mismos se señala en el Capítulo 2).

### 5.3. Instrumentación del sistema de bombas de calor

El sistema de calentamiento de agua por medio de bombas de calor, aportará un determinado porcentaje de la energía total demandada por la AOCU, la cual dependerá de la estación del año, puesto que el COP varía conforme la temperatura ambiente que se tenga.

Como se mencionó con anterioridad se pretende automatizar y controlar la operación del SHCA, ya que actualmente con el sistema actual se tienen variaciones importantes, puesto que los operarios del cuarto de máquinas no tienen un control del mismo, causando desperdicio de energía, que se ve reflejado en un costo adicional de recursos necesarios para el funcionamiento de las instalaciones.

*Figura 5.4.* Puntos de medición de bombas de calor



Los puntos de medición que nos interesan del sistema de calentamiento de agua por medio de bombas de calor, son los de alimentación y descarga, con esta información podemos conocer las propiedades termodinámicas del agua proveniente de la alberca y de la descarga hacia a la alberca.

*Tabla 5.5.* Instrumentación de bombas de calor

PUNTO	DIÁMETRO	TEMPERATURA	PRESIÓN	CAUDAL
1	6"		X	X
2	6"	X	X	

En el punto 1 de medición de las bombas de calor, ya se sabe cuál es la temperatura del agua, puesto que se tiene un termómetro análogo con el cual se puede cuantificar esta propiedad del fluido, pero cabe mencionar que también requerimos la medición de la presión y el caudal en este punto. (Véase *Tabla 5.5*).

Para el punto 2 de medición de las bombas de calor, se requiere la cuantificación de las variables de presión y temperatura, ya que existe una variación en las propiedades del agua después de pasar por el conjunto de bombas de calor, donde el agua sufre una caída de presión y un incremento en su energía térmica proporcionada por las

bombas de calor. El caudal será el mismo del punto 1 al punto 2, puesto que no hay retención de flujo en el sistema y se conserva la materia en este caso de estudio.

#### **5.4. Instrumentación del sistema solar térmico**

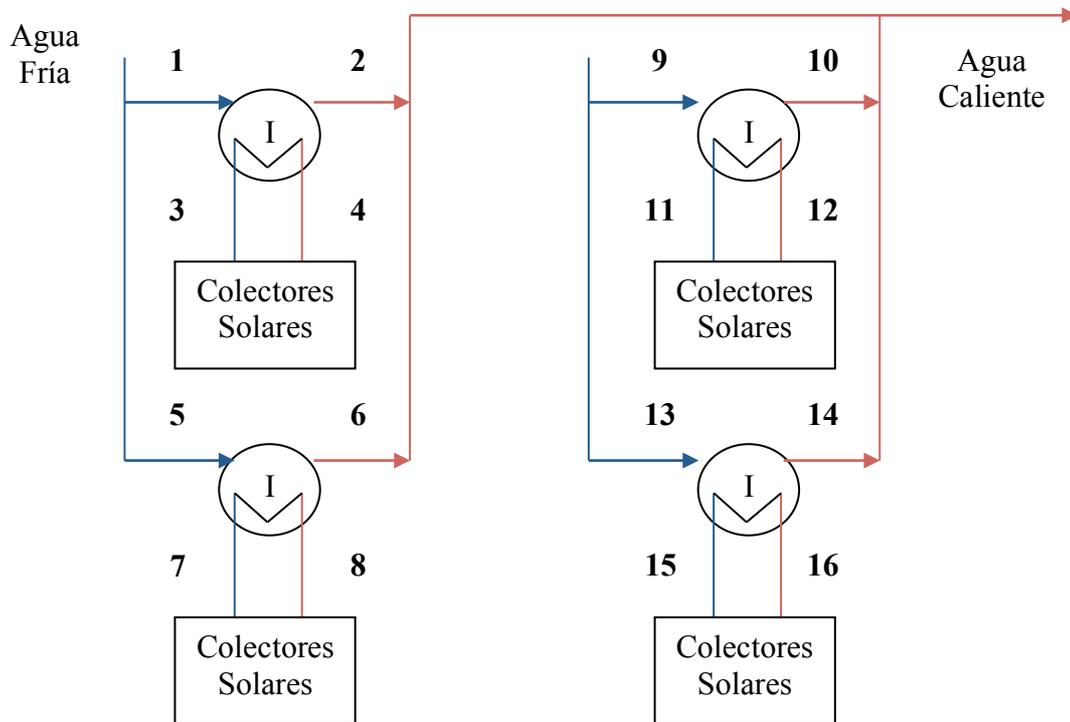
La energía solar es altamente rentable durante el día y con las condiciones climáticas adecuadas para su obtención, ya que para aplicaciones nocturnas o lugares geográficos con una baja radiación solar, no es tan conveniente la instalación de estos equipos, ya que la inversión es alta y el tiempo de recuperación de esta sería en un periodo de tiempo largo.

Para la aplicación del calentamiento del agua de la AOCU, es una buena opción la instalación de colectores solares, puesto que el funcionamiento de las instalaciones es durante el día y en las horas donde se tiene una radiación solar suficiente para calentar el agua suministrada a estos equipos.

El fluido de estudio, en este caso el agua que será suministrada a los colectores solares cambiarán sus propiedades a lo largo de su recorrido por los colectores solares, las bombas centrífugas y los intercambiadores de calor.

Para cuantificar las variables necesarias para determinar los estados termodinámicos, en los diferentes puntos de medición, se requieren instrumentos de medición adecuados y seleccionados previamente, con el fin de satisfacer los requerimientos del sistema.

Figura 5.5. Puntos de medición de colectores solares



Los puntos de interés del sistema solar térmico son la entrada de agua fría y la salida de agua caliente proveniente del agua de la AOCU, así como del agua de los colectores solares de cada uno de los cuatro intercambiadores de calor, por lo que observando la *Figura 5.5*, nos percatamos de que existen 16 puntos de medición, con lo cual se cuantificarán variables con el objetivo de determinar el estado termodinámico de cada punto y controlar las condiciones del sistema dependiendo de los requerimientos del mismo.

Tabla 5.6. Instrumentación de colectores solares

PUNTO	DIÁMETRO	TEMPERATURA	PRESIÓN	CAUDAL
1	4"	X	X	X
2	4"	X		
3	4"	X		X
4	4"	X		
5	4"	X		X
6	4"	X		
7	4"	X		X
8	4"	X		

9	4"	X		X
10	4"	X	X	
11	4"	X		X
12	4"	X		
13	4"	X		X
14	4"	X		
15	4"	X		X
16	4"	X		

En la *Tabla 5.6*, se observa que el número de instrumentos necesarios para el sistema solar térmico es mayor en comparación con los necesarios en los dos sistemas pasados, esto se debe a que tenemos cuatro intercambiadores de calor con dos entradas y dos salidas, en donde se transfiere energía a dos flujos. Es necesario cuantificar estos cambios, ya que de esta manera se tendrá un mejor control operativo del SHCA.

## 5.5. Instrumentación del SHCA

Hasta ahora se tiene la propuesta de la instrumentación del SHCA, así como la cuantificación de los equipos de medición de cada uno de los tres sistemas que conformarán al SHCA. Ahora se procede a cuantificar los equipos de medición de temperatura, presión y flujo volumétrico, con el objetivo de saber cuál será el costo de inversión de los equipos.

*Tabla 5.7.* Instrumentación del SHCA

DIÁMETRO	TEMPERATURA	PRESIÓN	FLUJO VOLUMÉTRICO
10"	2	3	1
6"	2	2	3
4"	16	2	8
2"	2	3	3

El sistema de calentamiento de agua por medio de bombas de calor, es el que requiere una menor cantidad de instrumentos de medición a comparación del sistema de colectores solares, cómo se puede observar en la *Tabla 5.7*, ya que en este sistema al

contener los cuatro intercambiadores de calor, es necesario una mayor instrumentación para monitorear los cambios termodinámicos que se tienen en el agua.

Ahora que sabemos cuántos instrumentos de medición se requieren en el SHCA, así como el diámetro de la tubería donde se instalará cada uno, se procederá a realizar un análisis del costo de estos equipos, así como del tiempo en que se recuperará la inversión comparando el costo contra el ahorro que se obtiene anualmente al conectar los nuevos sistemas de calentamiento (bombas de calor y colectores solares), al sistema actual.

### 5.5.1. Costo de instrumentación del SHCA

El costo de los instrumentos de medición de temperatura y presión, no varía dependiendo el diámetro de la instalación, mientras que el medidor de flujo volumétrico, si varía su costo, por lo que es de suma importancia, conocer el diámetro de la tubería donde será instalado.

*Tabla 5.8.* Costo de la instrumentación del SHCA

INSTRUMENTO	DIÁMETRO	PRECIO
Termistor	2"	\$3,786.00
Termistor	4"	\$3,786.00
Termistor	6"	\$3,786.00
Termistor	10"	\$3,786.00
Transductor de presión	2"	\$15,364.20
Transductor de presión	4"	\$15,364.20
Transductor de presión	6"	\$15,364.20
Transductor de presión	10"	\$15,364.20
Medidor de flujo magnético	2"	\$30,996.15
Medidor de flujo magnético	4"	\$34,120.60
Medidor de flujo magnético	6"	\$37,008.05
Medidor de flujo magnético	10"	\$47,274.45

En la *Tabla 5.8*, aparecen plasmados los precios de la instrumentación propuesta de todos los equipos para obtener el costo total por el número de instrumentos necesarios del SHCA.

*Tabla 5.9.* Costo total

INSTRUMENTO	PRECIO UNITARIO	UNIDADES	PRECIO TOTAL
Termistor	\$4,921.80	22	\$108,279.60
Transductor de presión	\$19,973.46	10	\$199,734.60
Medidor de flujo magnético	\$40,294.99 - \$61,456.78	15	\$681,527.40

En el caso del medidor de flujo magnético, el costo varía dependiendo del diámetro de la tubería donde es instalado, ya que el tamaño del instrumento también varía con respecto a este mismo. En la *Tabla 5.9* se puede observar el rango de precios de los medidores magnéticos de flujo que van desde **\$40,294.99** a **\$61,456.78**, en el caso del termistor y del transductor de presión el precio es constante.

Cabe mencionar que al precio de cada instrumento se le agregó un 30% de costo adicional aproximado en el precio original, ya que se consideró el precio de instalación, así como los materiales adicionales por el proveedor, los cuales se utilizarán en estos trabajos.

El total de instrumentos de medición de temperatura, presión y flujo volumétrico son 47, los cuáles al sumarlos obtenemos **\$989,541.60**, que es el costo de inversión del suministro e instalación de la instrumentación del SHCA sin IVA, al sumarle el IVA nos resulta la cifra de **\$1,147,868.26**.

### 5.5.2. Tiempo de recuperación de la inversión

En esta parte del capítulo ya se tienen el costo total de la instrumentación del SHCA, por lo cual se comparará el costo de la inversión contra el ahorro anual en combustible de gas Ip del SHCA y se verá en qué período de tiempo este dinero será recuperado.

*Tabla 5.10.* Ahorro total anual

SISTEMA	AHORRO
Calderas	\$0.00
Bombas de Calor	\$1,346,210.64
Colectores Solares	\$1,761,026.38
Total Ahorro: \$3,107,237.02	

Para el caso del sistema de calderas no se tienen ningún ahorro, ya que es el sistema de comparación de los otros dos sistemas, como se puede ver en la *Tabla 5.10* el ahorro total es de **\$3,107,237.02**, en esta cantidad ya viene incluido el gasto eléctrico adicional de las bombas de calor, así como de las bombas centrífugas del sistema solar térmico, este valor es el ahorro económico anual que se tendrá de combustible.

El costo de la instrumentación del SHCA será de **\$1,147,868.26**, ya viene incluido el costo de instalación, así como el material necesario para ello y el IVA. Por lo que en comparación al ahorro podemos observar, que recuperaremos el gasto en menos de un año.

*Gráfica 5.1.* Ahorro total anual





Si realizamos una división del ahorro entre los doce meses del año y lo graficamos, nos da como resultado la *Gráfica 5.1*, en la cual se marca el punto en el que se recuperará la inversión a la mitad del cuarto mes. Exactamente se recuperará el monto de la inversión en el día 135 a partir de la puesta en marcha del SHCA.

El tiempo de recuperación del costo de inversión de los instrumentos de medición propuesto para analizar y monitorear el SHCA, es un tiempo corto en comparación a otros proyectos, ya que en menos de cuatro meses, se recupera la inversión y a partir de esto el ahorro en el combustible de gas lp, se puede utilizar para otros fines.

## CONCLUSIONES

El objetivo del presente trabajo era realizar un análisis energético al futuro sistema de calentamiento de agua de la Alberca Olímpica de Ciudad Universitaria, así como demostrar si el proyecto es viable o no, ya que existían varias interrogantes al comienzo de la tesis.

El sistema actual de calentamiento de agua de la AOCU logra su objetivo de climatizar el agua de la alberca en la mayoría de las ocasiones, aunque en otros días al año la temperatura del agua no alcanza los 28°C, esto se debe al control nulo en las operaciones de los equipos del cuarto de control, ya que el personal que se encarga de laborar ahí no cuenta con las herramientas necesarias para tener un correcto control en la operación del sistema de calentamiento de agua por medio de calderas. A comparación de los sistemas actuales el costo operativo del sistema de calentamiento de agua actual es elevado, ya que en la actualidad se están implementando otras formas de generar energía, aparte del uso de los hidrocarburos, que por lo general en la mayoría de los sistemas funcionan a través de estos.

La operación de las calderas es deficiente, ya que existen variaciones importantes de temperatura del agua de la alberca a lo largo del día, esto nos da como resultado un desperdicio o déficit de energía térmica, en este caso proporcionada por la combustión de gas lp, lo cual nos incrementa los costos operativos, que a su vez se ve reflejado en un presupuesto anual mayor otorgado a la AOCU.

Se proponen dos sistemas adicionales de calentamiento de agua, que se fusionarán con el sistema actual, conformando estos tres sistemas el SHCA, el cuál disminuirá los gastos operativos del mismo, proporcionando energía térmica por medio de bombas de calor y colectores solares, los cuáles funcionan con energía eléctrica y radiación solar térmica respectivamente.

Las bombas de calor al operar por medio de energía eléctrica y tener un COP (Coefficient Of Performance) elevado, nos entrega alrededor de de cuatro unidades de calor por cada unidad de energía eléctrica, como vemos en el capítulo 4 al hacer un comparativo del precio del kWh generado por cada sistema nos damos cuenta que es tres veces más barato obtener la energía térmica a través de las bombas de calor con respecto al sistema de calentamiento de agua actual.

En el caso del sistema térmico solar formado por los colectores solares, intercambiadores de calor y bombas centrífugas, se obtiene un ahorro mayor, ya que el único insumo necesario es la energía eléctrica demandada por cada una de las bombas centrífugas, el costo del kWh producido por este sistema es tres veces menor a comparación del sistema de bombas de calor, cabe mencionar que la aportación energética sería mayor si no pasarán por los intercambiadores de calor. Pero los intercambiadores de calor son necesarios, ya que el agua proveniente de la alberca es mezclada con químicos para su limpieza, estas sustancias afectan a través del paso del tiempo a las bombas centrífugas y colectores, provocando el desgaste de las partes móviles o incrustaciones en las tuberías, es por esta razón que se requiere el intercambiador de calor, puesto que su función es la de transferir la energía térmica del agua de los colectores solares al agua de la alberca, sin que estas se mezclen.

La instrumentación en el sistema de calentamiento de agua actual y en el sistema futuro es indispensable, ya que existen varios procesos en el transcurso del ciclo del calentamiento de agua, por lo tanto tenemos varias propiedades termodinámicas en constante cambio, por lo que al controlar estas variaciones, se necesitan equipos de medición que monitoreen al sistema afín de que el operador tenga la información pertinente para la manipulación del sistema.

El SHCA es económicamente viable, ya que se obtienen importantes ahorros económicos, así como la recuperación de la inversión de la instrumentación en un periodo corto de tiempo, los equipos de calentamiento de agua por medio de bombas de calor y colectores solares, serán donados a la UNAM, por lo cual no se tienen algún costo de inversión de estos equipos.



Cabe mencionar que aparte del ahorro económico que se está alcanzando, también se tiene una disminución de contaminantes emitidos por el sistema actual de calentamiento de agua, ya que los colectores solares no tienen ninguna emanación de  $\text{CO}_2$  para producir energía térmica como en el caso de la combustión del gas lp en el sistema de calderas. En el caso de las bombas de calor no podemos decir lo mismo, ya que aunque no se tenga una combustión de combustible, al ser alimentadas por energía eléctrica, existe un grado de contaminación ahí, ya que la energía eléctrica en su mayoría es producida por plantas termoeléctricas, esto significa que se quema combustible para la generación de la misma.

## Referencias bibliográficas

- Bustillos, P.O. (2001). *Instrumentación Industrial*. Venezuela: Universidad de Oriente Venezuela.
- Cengel Y. A. (2004). *Termodinámica*. México: McGraw-Hill.
- Cengel Y.A. (2004). *Transferencia de calor*. México: McGraw-Hill.
- Creus Antonio (2011). *Instrumentación industrial*. España: Marcombo.
- Estrada Gasca Claudio A. & Islas Samperio Jorge (2010). *Energías alternativas: propuesta de investigación y desarrollo tecnológico para México*. México: Academia Mexicana de Ciencias.
- Incropera Frank P. & De Witt David P (1999). *Fundamentos de transferencia de calor* (4ta. Ed.). México: Prentice Hall.
- Jiménez Cisneros Blanca Elena (2001). *La contaminación ambiental en México: causas, efectos y tecnología apropiada*. México: Limusa.
- Jordi, N.S. (2011). *Climatización de una piscina cubierta mediante la combinación de energía solar térmica, geotermia y caldera de apoyo de biomasa*. España: Màsters Universitari.
- Kohan, A.L. (2000). *Manual de calderas*. Madrid: McGraw-Hill.
- Méndez Muñiz Javier María & Cuervo García Rafael (2007). *Energía solar térmica*. España: Fundación Confemetal.
- Moran Michael J. & Shapiro Howard N. (2005). *Fundamentos de termodinámica técnica*. España: Reverté.
- Rey Martínez Francisco Javier & Velasco Gómez Eloy (2005). *Bombas de calor y energías renovables en edificios*. España: Thomson.
- SENER (2012). *Prospectiva del mercado de gas licuado de petróleo 2012-2026*
- Severns W.H. / Degler H.E. / Miles J.C. (1982). *Energía mediante vapor, aire o gas*. España: Reverté.

## Referencias electrónicas

- <sup>10</sup>Ciencias Naturales Online (2013)  
<http://www.cienciasnaturalesonline.com/wpcontent/uploads/2009/03/termometros.gif>  
24-Mar-13
- <sup>11</sup>Sapiensman (2013)  
[http://www.sapiensman.com/medicion\\_de\\_temperatura/images/dilatacion2.jpg](http://www.sapiensman.com/medicion_de_temperatura/images/dilatacion2.jpg)  
24-Mar-13
- <sup>12</sup>Hanna Instruments (2013)  
[http://www.hannaarg.com/imagenes\\_productos/1359594566\\_1.jpg](http://www.hannaarg.com/imagenes_productos/1359594566_1.jpg) 31-Mar-13
- <sup>13</sup>Servovendi (2013)  
[http://www.servovendi.com/media/catalog/product/cache/1/image/265x265/17f82f742ffe127f42dca9de82fb58b1/s/o/sonda\\_de\\_temperatura-termopar\\_tipo\\_k\\_50\\_a\\_400\\_c\\_tp-02\\_.jpg](http://www.servovendi.com/media/catalog/product/cache/1/image/265x265/17f82f742ffe127f42dca9de82fb58b1/s/o/sonda_de_temperatura-termopar_tipo_k_50_a_400_c_tp-02_.jpg) 31-mar-13
- <sup>14</sup>Direct Industry (2013) [http://img.directindustry.es/images\\_di/photo-g/pirometro-infrarrojo-fijo-para-alta\\_temperatura-17612-2732939.jpg](http://img.directindustry.es/images_di/photo-g/pirometro-infrarrojo-fijo-para-alta_temperatura-17612-2732939.jpg) 31-Mar-13
- <sup>17</sup>Sapiensman  
(2013)<http://www.sapiensman.com/ESDictionary/imagenes/Bourdon.jpg>31-Mar-13
- <sup>18</sup>Sabelotodo (2013)  
<http://www.sabelotodo.org/aparatos/imagenes/presion1.gif> 31-Mar-13
- <sup>19</sup>Irvin Systems (2013)  
<http://www.irvinsystems.com/wp-content/uploads/2011/05/irvin-Transductor-compacto-de-presi%C3%B3n-absoluta.jpg>31-Mar-13
- <sup>20</sup>Alibaba (2013)  
[http://i01.i.aliimg.com/photo/v0/704843073/orifice\\_Plate\\_Flow\\_meter\\_with\\_pressure\\_transmitter.jpg](http://i01.i.aliimg.com/photo/v0/704843073/orifice_Plate_Flow_meter_with_pressure_transmitter.jpg)31-Mar-13
- <sup>21</sup>Direct Industry[http://img.directindustry.fr/images\\_di/photo-g/precision-gas-turbine-flow-meter-25235-2396819.jpg](http://img.directindustry.fr/images_di/photo-g/precision-gas-turbine-flow-meter-25235-2396819.jpg)13-abr-13
- <sup>22</sup>Alibaba (2013)  
[http://i00.i.aliimg.com/img/pb/624/733/240/1270537891821\\_hz\\_myalibaba\\_web14\\_1621.jpg](http://i00.i.aliimg.com/img/pb/624/733/240/1270537891821_hz_myalibaba_web14_1621.jpg)15-abr-13
- <sup>23</sup>Alibaba (2013)  
[http://i01.i.aliimg.com/photo/v0/630235893/glass\\_rotameter\\_flow\\_meter\\_for\\_chloring\\_LZB.jpg](http://i01.i.aliimg.com/photo/v0/630235893/glass_rotameter_flow_meter_for_chloring_LZB.jpg)15-abr-13
- Secretaría de Energía.  
<http://www.sener.gob.mx>
- Comisión Federal de Electricidad.  
<http://www.cfe.gob.mx>
- Heliocol  
<http://www.heliocol.com.mx/>

## Anexo 1. Datos técnicos

### Caldera

MODELO	MYRGGO M3200
Capacidad	200 HP
Presión	10.5 kg/cm <sup>2</sup>
Combustible	Gas lp-Diesel
Quemador	8,400 MBTU/h-Gas lp 57.9 Gal/h- Diesel
Motor de compresión de aire	3HP
Motor de inyección de combustible	7.5HP

### Bomba Centrífuga

MARCA	IEM
Modelo	10FLE-60-4-50
Potencia	60HP
Voltaje	220V
Eficiencia	93%

### Bomba Multietapa

MARCA	BALDOR
Capacidad	5 HP
Presión	5.5 kg/cm <sup>2</sup>
Voltaje	230V
RPM	3450

### Transformador Trifásico

<b>Centro de Potencia IEM</b>	
Capacidad	225kVA
Voltaje Entrada	6,000V
Voltaje Salida	220V
Frecuencia	60 Hz

### Arrancador Bomba Centrífuga

Marca	SIEMENS
Modelo	K981-8a-160/2B/N1/AB
Capacidad	60HP

### Interruptor Seguridad Doble Tiro

Marca	Schneider Electric
Modelo	SquareD
Corriente	400A
Voltaje	600V

### Colector Solar

Marca	Heliocol
Modelo	HC-40
Capacidad	38,150BTU/día
Presión de trabajo	6.3kg/cm <sup>2</sup>

### Bomba Calor

Marca	Heat Siphon
Modelo	SX5HP3
Capacidad	120,000BTU/h
COP	6.3
Voltaje	220V
Potencia	3HP

## Anexo 2. Consumo anual de gas lp

2005			Total por promedio	t por línea de tendencia	T dependiente del promedio	Promedio por línea de tendencia
Total (l)	Promedio (l)					
Enero	100,336	3,236	100,336	100,336	100,336	3,236
Febrero	95,800	3,421	95,800	95,800	95,800	3,421
Marzo	100,078	3,228	100,078	100,078	100,078	3,228
Abril	86,550	2,885	86,550	86,550	86,550	2,885
Mayo	87,250	2,814	87,250	87,250	87,250	2,814
Junio	87,150	2,905	87,150	87,150	87,150	2,905
Julio	22,600	3,228	100,085	85,966	93,269	3,008
Agosto	96,527	3,113	96,527	96,527	96,527.5	3,113
Septiembre	0	0		97,884	96,604	3,220
Octubre	0	0		104,216	102,306	3,410
Noviembre	0	0		95,172	93,773	3,125
Diciembre	9,050	2,262	70,137	95,353	96,907	3,126

Total de litros	685,842		1,132,284	1,136,553	37,495
Promedio	3,061		94,357	94,712	3,124

2006			Total por promedio	t por línea de tendencia	T dependiente del promedio	Promedio por línea de tendencia
Total (l)	Promedio (l)					
Enero	131,643	4,246	131,643	131,643	131,643	4,246
Febrero	105,518	3,768	105,518	105,518	105,518	3,768
Marzo	101,763	3,282	101,763	101,763	101,763	3,282
Abril	83,922	2,797	83,922	83,922	83,922	2,797
Mayo	111,393	3,593	111,393	111,393	111,393	3,593
Junio	105,910	3,530	105,910	105,910	105,910	3,530
Julio	44,831	3,448	106,904	106,414	100,296	3,235
Agosto	99,450	3,208	99,450	99,450.0	99,450	3,208
Septiembre	114,150	3,805	114,150	114,150	114,150	3,805
Octubre	112,956	3,643	112,956	112,956	112,956	3,643
Noviembre	114,982	3,964	114,982	114,982	114,982	3,964
Diciembre	54,250	3,875	120,125.0	128,984	136,412	4,400

Total de litros	1,180,771	1,308,720	1,317,088	1,318,398	43,476
Promedio	3,578	109,060	109,757	109,866	3,623

2007			Total por promedio	t por línea de tendencia	T dependiente del promedio	Promedio por línea de tendencia
Total (l)	Promedio (l)					
Enero	120,368	3,882	120,368	120,368	120,368	3,882
Febrero	111,709	3,989	111,709	111,709	111,709	3,989
Marzo	113,547	3,662	113,547	113,547	113,547	3,662
Abril	103,082	3,436	103,082	103,082	103,082	3,436
Mayo	114,00	3,677	114,002	114,002	114,002	3,677
Junio	86,935	2,897	86,935	86,935	86,935	2,897
Julio	90,573	2,921	90,573	90,573	90,573	2,921
Agosto	96,585	3,115	96,585	96,585	96,585	3,115
Septiembre	98,967	3,298	98,967	98,967	98,967	3,298
Octubre	107,190	3,457	107,190	107,190	107,190	3,457
Noviembre	54,000	4,500	135,000	103,279	100,618	3,353
Diciembre	0.0	0.0		105,421	108,988	3,515

Total de litros	1,096,962	1,251,663	1,252,569	41,210
Promedio	3,471	104,305	104,380	3,434

2010			Total por promedio	t por línea de tendencia	T dependiente del promedio	Promedio por línea de tendencia
Total (l)	Promedio (l)					
Enero				95,455	102,637	3,310
Febrero				90,876	86,353	3,084
Marzo				94,943	100,022	3,226
Abril				89,129	89,398	2,979
Mayo	89,865	2,898	89,865	89,865	89,865	2,898
Junio	72,185	2,406	72,185	72,185	72,185	2,406
Julio	80,241	2,588	80,241	80,241	80,241	2,588
Agosto	84,061	2,711	84,061	84,061	84,061	2,711
Septiembre	81,887	2,823	81,887	81,887	81,887	2,823
Octubre	86,110	2,777	86,110	86,110	86,110	2,777
Noviembre	81,335	2,711	81,335	81,335	81,335	2,711
Diciembre	94,705	3,055	94,705	94,705	94,705	3,055

Total de litros	676,141	1,040,796	1,048,803	34,574
Promedio	3,432	86,733	87,400	2,881

	2011		Total por promedio	t por línea de tendencia	T dependiente del promedio	Promedio por línea de tendencia
	Total (l)	Promedio (l)				
Enero	46,290	3,306	102,499	100,079	110,886	3,577
Febrero	101,641	3,630	101,641	101,641	101,641	3,630
Marzo	99,860	3,221	99,860	99,860	99,860	3,221
Abril	75,289	3,137	75,289	75,289	75,289	3,137
Mayo	84,000	2,800	84,000	84,000	84,000	2,800
Junio	86,089	2,869	86,089	86,089	86,089	2,869
Julio	82,212	2,652	82,212	82,212	82,212	2,652
Agosto	84,510	2,726	84,510	84,510	84,510	2,726
Septiembre	89,563	2,985	89,563	89,563	89,563	2,985
Octubre	87,050	2,808	87,050	87,050	87,050	2,808
Noviembre	80,621	2,687	80,621	80,621	80,621	2,687
Diciembre	103,481	3,338	103,481	103,481	103,481	3,338

Total de litros	1,020,608	1,076,817	1,074,397	1,085,204	36,432
Promedio	2,993	89,734	89,533	90,433	3,036

	2012		Total por promedio	t por línea de tendencia	T dependiente del promedio	Promedio por línea de tendencia
	Total (l)	Promedio (l)				
Enero	97,137	3,133	97,137	97,137	97,137	3,133
Febrero	93,200	3,214	93,200	93,200	93,200	3,214
Marzo	89,376	2,979	89,376	89,376	89,376	2,979
Abril	80,027	2,760	80,027	80,027	80,027	2,760
Mayo	73,422	2,368	73,422	73,422	73,422	2,368
Junio	67,025	2,311	67,025	67,025	67,025	2,311
Julio	71,136	2,295	71,136	71,136	71,136	2,295
Agosto	77,573	2,502	77,573	77,573	77,573	2,502
Septiembre	62,274	2,147	62,274	62,274	62,274	2,147
Octubre	80,664	2,602	80,664	80,664	80,664	2,602
Noviembre	102,144	3,405	102,144	102,144	102,144	3,405
Diciembre	6,080	3,040	94,240	104,278	94,768	3,057

Total de litros	896,926	988,220	998,257	988,747	32,774
Promedio	3,169	82,352	83,188	82,396	2,731

### Anexo 3. Kilowatts hora generados

Combustible	kWh/l
Gas lp	7.32

2005	T <sub>1</sub> [°C]	T <sub>2</sub> [°C]	Consumo promedio de gas LP	Considerando 82% eficiencia calderas [kWh]	kWh
Primavera	26	30	2,874	17,264	21,053
Verano	26	29	3,110	18,678	22,778
Otoño	24	26	2,263	13,589	16,572
Invierno	25	27	3,290	19,759	24,096
2006	T <sub>1</sub> [°C]	T <sub>2</sub> [°C]	Consumo promedio de gas LP	Considerando 82% eficiencia calderas [kWh]	kWh
Primavera	26	29	3,249	19,516	23,800
Verano	26	30	3,464	20,803	25,369
Otoño	25	29	3,762	22,595	27,555
Invierno	25	29	3,885	23,335	28,457
2007	T <sub>1</sub> [°C]	T <sub>2</sub> [°C]	Consumo promedio de gas LP	Considerando 82% eficiencia calderas [kWh]	kWh
Primavera	26	30	3,354	20,142	24,563
Verano	26	29	3,034	18,222	22,222
Otoño	25	29	3,734	22,429	27,352
Invierno	25	29	3,926	23,581	28,757
2010	T <sub>1</sub> [°C]	T <sub>2</sub> [°C]	Consumo promedio de gas LP	Considerando 82% eficiencia calderas [kWh]	kWh
Primavera	26	29	2,725	16,364	19,956
Verano	25	28	2,746	16,490	20,109
Otoño	23	25	2,885	17,326	21,129
Invierno					
2011	T <sub>1</sub> [°C]	T <sub>2</sub> [°C]	Consumo promedio de gas LP	Considerando 82% eficiencia calderas [kWh]	kWh
Primavera	25	29	2,921	17,545	21,396
Verano	25	28	2,870	17,236	21,019
Otoño	23	26	2,857	17,158	20,924
Invierno	24	27	3,429	20,596	25,117
2012	T <sub>1</sub> [°C]	T <sub>2</sub> [°C]	Consumo promedio de gas LP	Considerando 82% eficiencia calderas [kWh]	kWh
Primavera	25	29	2,529	15,189	18,523
Verano	24	27	2,368	14,222	17,344
Otoño	24	28	2,886	17,336	21,141
Invierno	23	26	3,145	18,892	23,039

**CONSUMO IDEAL A 28°C DIARIO**

2010	T <sub>1</sub> [°C]	T <sub>2</sub> [°C]	Consumo promedio de gas LP	Considerando 82% eficiencia calderas [kWh]	kWh
Primavera	25	28	2,667	16,016	19,531
Verano	25	28	2,774	16,660	20,317
Otoño	22	28	3,192	19,169	23,377
Invierno					
2011	T <sub>1</sub> [°C]	T <sub>2</sub> [°C]	Consumo promedio de gas LP	Considerando 82% eficiencia calderas [kWh]	kWh
Primavera	25	28	2,834	17,021	20,757
Verano	24	28	2,871	17,243	21,028
Otoño	23	28	3,043	18,278	22,290
Invierno	23	28	3,584	21,526	26,251
2012	T <sub>1</sub> [°C]	T <sub>2</sub> [°C]	Consumo promedio de gas LP	Considerando 82% eficiencia calderas [kWh]	kWh
Primavera	24	28	2,472	14,846	18,105
Verano	23	28	2,424	14,561	17,757
Otoño	24	28	2,894	17,380	21,195
Invierno	22	28	3,404	20,443	24,930

**Anexo 4. Aporte energético bomba de calor**

**BOMBA DE CALOR**

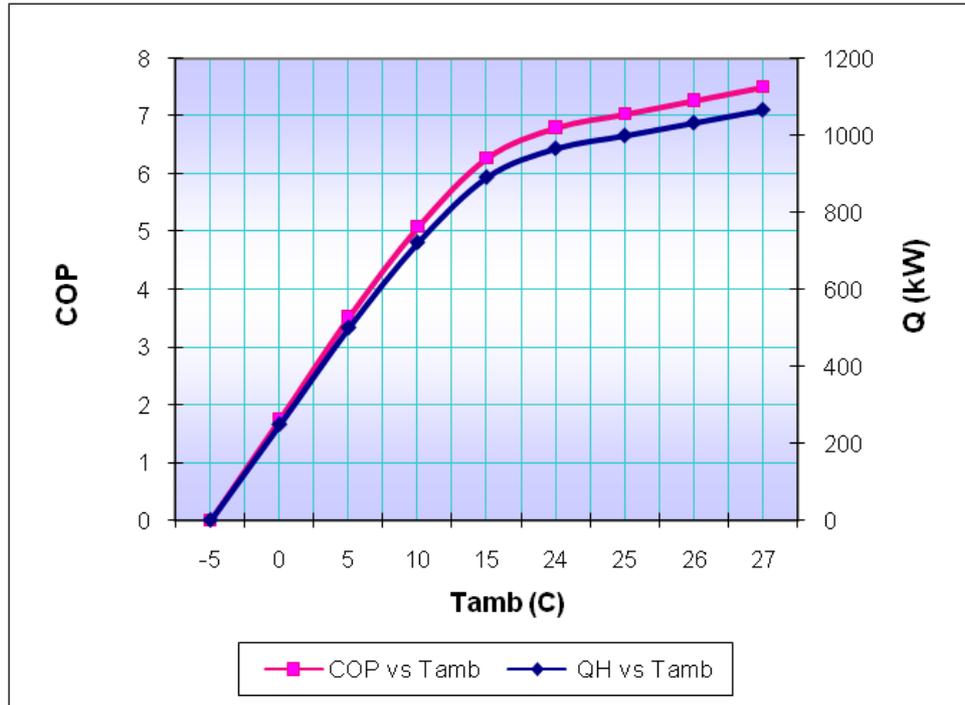
**Heat Siphon SX 5.0HP3 Titanium Scroll**

Model	BTU/h	COP
SX5.0	109,000	7.6



T <sub>amb</sub> °C	COP	Q <sub>H</sub> (kW)
-5	0.00	0.00
0	1.75	248.83
5	3.52	500.66
10	5.08	722.33
15	6.27	892.11
24	6.80	966.9
25	7.03	1000.24
26	7.27	1033.58
27	7.50	1066.92

	m	x = T (°C)	b	valor
Q	24.54	24	377.96	966.90
COP	0.23	27	1.17	7.50



### PROMEDIO HISTORICO DE TEMPERATURAS EN CU

Hora	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Prom.
06:00	7.3	8.4	9.4	11.1	11.3	14.7	12.9	13.0	15.3	12.3	8.5	6.1	10.9
07:00	6.7	8.5	9.0	11.0	11.1	14.1	13.2	13.3	16.5	12.6	8.1	5.5	10.8
08:00	7.1	8.9	9.5	11.7	11.4	14.7	13.7	13.5	17.9	12.8	8.5	5.2	11.3
09:00	8.7	11.1	12.2	13.8	14.8	16.3	15.4	14.8	19.5	13.6	10.1	5.8	13.0
10:00	11.3	14.1	15.8	17.2	18.3	18.1	17.1	16.6	20.6	15.5	13.1	9.5	15.6
11:00	13.8	17.2	18.8	20.5	21.1	19.6	18.7	18.3	22.0	17.3	15.7	12.9	18.0
12:00	15.8	19.1	21.2	22.8	23.2	21.1	20.0	19.9	22.7	18.9	17.9	15.9	19.9
13:00	17.4	20.7	23.2	24.6	25.0	22.1	21.2	21.3	23.2	20.1	19.7	18.2	21.4
14:00	18.6	21.8	24.2	25.8	26.0	22.8	21.9	22.0	23.1	20.9	20.8	19.8	22.3
15:00	19.3	22.4	24.7	26.3	26.1	23.0	21.9	22.4	23.1	21.3	21.5	20.7	22.7
16:00	19.6	22.5	24.8	26.0	26.0	22.8	21.4	22.1	22.5	21.2	21.7	21.1	22.6
17:00	19.4	22.1	24.3	25.3	25.3	22.1	20.4	21.3	21.8	20.7	21.2	21.0	22.1
18:00	18.3	21.0	23.0	24.3	24.1	21.2	19.3	20.0	20.2	19.8	20.1	20.1	20.9
19:00	16.5	19.3	21.1	22.9	22.9	20.0	18.5	18.6	19.4	18.5	18.4	18.1	19.5
20:00	15.0	17.6	19.2	21.3	21.1	18.9	17.6	17.6	18.8	17.3	16.7	15.8	18.1
21:00	13.5	16.1	17.5	19.8	19.6	17.8	16.7	16.7	18.2	16.1	16.0	15.5	17.0
22:00	12.0	14.6	16.0	18.3	18.1	16.3	15.2	15.2	16.7	14.6	14.5	14.0	15.5
<b>Prom</b>	<b>14.1</b>	<b>16.8</b>	<b>18.5</b>	<b>20.2</b>	<b>20.3</b>	<b>19.2</b>	<b>17.9</b>	<b>18.0</b>	<b>20.1</b>	<b>17.3</b>	<b>16.0</b>	<b>14.4</b>	

**COP promedio de bombas de calor**

Hora	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Prom.
06:00	2.9	3.1	3.4	3.8	3.8	4.6	4.2	4.2	4.8	4.1	3.2	2.6	3.7
07:00	2.7	3.2	3.3	3.7	3.8	4.5	4.3	4.3	5.0	4.1	3.1	2.5	3.7
08:00	2.8	3.3	3.4	3.9	3.8	4.6	4.4	4.3	5.4	4.2	3.2	2.4	3.8
09:00	3.2	3.8	4.0	4.4	4.7	5.0	4.8	4.7	5.7	4.4	3.5	2.5	4.2
10:00	3.8	4.5	4.9	5.2	5.5	5.4	5.2	5.1	6.0	4.8	4.2	3.4	4.8
11:00	4.4	5.2	5.6	6.0	6.1	5.8	5.5	5.5	6.3	5.2	4.9	4.2	5.4
12:00	4.9	5.7	6.1	6.5	6.6	6.1	5.9	5.8	6.5	5.6	5.4	4.9	5.8
13:00	5.3	6.0	6.6	6.9	7.0	6.4	6.1	6.2	6.6	5.9	5.8	5.4	6.2
14:00	5.5	6.3	6.9	7.2	7.3	6.5	6.3	6.3	6.6	6.1	6.1	5.8	6.4
15:00	5.7	6.4	7.0	7.3	7.3	6.6	6.3	6.4	6.6	6.2	6.2	6.0	6.5
16:00	5.8	6.4	7.0	7.3	7.3	6.5	6.2	6.4	6.4	6.1	6.3	6.1	6.5
17:00	5.7	6.4	6.9	7.1	7.1	6.4	6.0	6.2	6.3	6.0	6.1	6.1	6.3
18:00	5.5	6.1	6.6	6.9	6.8	6.1	5.7	5.9	5.9	5.8	5.9	5.9	6.1
19:00	5.0	5.7	6.1	6.5	6.5	5.9	5.5	5.5	5.7	5.5	5.5	5.4	5.8
20:00	4.7	5.3	5.7	6.2	6.1	5.6	5.3	5.3	5.6	5.2	5.1	4.9	5.4
21:00	4.3	5.0	5.3	5.8	5.8	5.4	5.1	5.1	5.4	5.0	4.9	4.8	5.1
22:00	4.0	4.6	4.9	5.5	5.4	5.0	4.7	4.7	5.1	4.6	4.6	4.5	4.8
<b>Prom.</b>	<b>4.527</b>	<b>5.153</b>	<b>5.559</b>	<b>5.934</b>	<b>5.984</b>	<b>5.730</b>	<b>5.442</b>	<b>5.465</b>	<b>5.964</b>	<b>5.283</b>	<b>4.953</b>	<b>4.547</b>	

**Energía obtenida de bombas de calor  $Q_H$  (kW)**

No de horas	Hora	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Prom.
1	06:00	411	446	482	538	543	656	596	600	678	578	449	369	529
2	07:00	391	450	467	532	538	638	606	611	717	586	435	350	527
3	08:00	403	465	483	558	546	656	625	616	765	595	451	339	542
4	09:00	455	536	574	625	662	711	679	661	816	619	503	361	600
5	10:00	542	636	694	740	776	771	738	720	852	685	604	485	687
6	11:00	626	739	794	851	871	821	789	776	900	745	690	598	767
7	12:00	692	805	874	928	941	870	835	832	923	797	765	696	830
8	13:00	748	856	939	986	1,000	905	872	876	939	838	823	773	880
9	14:00	787	892	974	1,028	1,035	927	898	900	937	863	862	828	911
10	15:00	809	915	991	1,044	1,037	934	896	912	937	876	884	858	924
11	16:00	821	916	995	1,033	1,032	928	879	903	916	873	889	871	921
12	17:00	813	903	977	1,009	1,012	904	847	876	892	858	873	867	903
13	18:00	776	866	935	976	971	872	812	832	841	827	836	836	865
14	19:00	717	811	871	930	929	832	783	788	815	785	780	771	818
15	20:00	665	754	808	877	869	797	752	754	793	745	722	694	769
16	21:00	615	704	752	827	819	761	722	724	773	705	699	684	732
17	22:00	565	654	702	777	769	711	672	674	723	655	649	634	682
<b>Total</b>	<b>17</b>	<b>10,837</b>	<b>12,349</b>	<b>13,311</b>	<b>14,260</b>	<b>14,351</b>	<b>13,694</b>	<b>13,001</b>	<b>13,054</b>	<b>14,217</b>	<b>12,628</b>	<b>11,912</b>	<b>11,016</b>	<b>11,472</b>

17 horas												
	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
kWh	10,837	12,349	10,179	7,564	8,878	10,322	7,535	11,057	14,217	12,628	11,912	11,016
15 horas												
	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
kWh	9,562	10,896	8,981	6,674	7,834	9,108	6,648	9,756	12,545	11,142	10,511	9,720
13 horas												
	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
kWh	8,287	9,443	7,784	5,784	6,789	7,893	5,762	8,455	10,872	9,656	9,109	8,424
10 horas												
	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
kWh	6,375	7,264	5,987	4,449	5,222	6,072	4,432	6,504	8,363	7,428	7,007	6,480
8 horas												
	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
kWh	5,100	5,811	4,790	3,559	4,178	4,858	3,546	5,203	6,690	5,942	5,606	5,184

## Anexo 5. Consumo eléctrico de bomba de calor

EVALUACIÓN ECONÓMICA PROYECTO														
CONSUMO ELECTRICO DE LAS BOMBAS DE CALOR														
		Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Anual
Demanda de energía por día	kW	133.7	133.7	133.7	133.7	133.7	133.7	133.7	133.7	133.7	133.7	133.7	133.7	
Horas de funcionamiento	h	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	
Consumo de energía por día	kWh	1336	1336	1336	1336	1336	1336	1336	1336	1336	1336	1336	1336	1336.5
Consumo de energía por mes	kWh/mes	40095	37422	41431	40095	41431	40095	26730	41431	40095	41431	40095	26730	457083
<b>Costo de la energía CFE</b>	<b>Tarif HM</b>													
C x kWh Punta	\$	2.0973	2.0457	2.0299	2.0543	2.1305	2.1060	2.0750	2.0864	2.0607	2.1246	2.1499	2.0896	
C x kWh Intermedio	\$	1.2633	1.2004	1.1849	1.2151	1.3170	1.2976	1.2604	1.2601	1.2326	1.3173	1.3407	1.2624	
C x kWh Base	\$	1.0560	1.0034	0.9905	1.0158	1.1010	1.0848	1.0537	1.0535	1.0305	1.1013	1.1209	1.0553	
Costo de la energía LyFC	\$	50,652	44,921	49,092	48,719	54,565	52,027	33,690	52,207	49,421	54,577	53,755	33,744	<b>577,374</b>
C x Dem Fact	\$	23,907	23,833	23,757	23,772	23,705	23,499	23,436	23,680	23,581	23,553	23,716	23,760	<b>284,204</b>
<b>Costo total</b>	<b>\$</b>	<b>74,559</b>	<b>68,755</b>	<b>72,849</b>	<b>72,491</b>	<b>78,270</b>	<b>75,527</b>	<b>57,127</b>	<b>75,887</b>	<b>73,002</b>	<b>78,130</b>	<b>77,471</b>	<b>57,504</b>	<b>861,578</b>

## Anexo 6. Aportación energética colectores solares

$$Fa = Fa' \times (0.96 \times 0.95)$$

*Fa* = Factor Adimensional

*Fa'* = Factor de Eficiencia Óptica del Captador

$$Ea = Sc \times Fa \times R1 \times N$$

*Ea* = Energía absorbida por el captador

*Sc* = Superficie del captador

*Fa* = Factor Adimensional

*R1* = Radiación diaria media mensual

*N* = Número de días al mes

Mes	R1 [kWh/m <sup>2</sup> ]	Sc [m <sup>2</sup> ]	Fa	N	Ea [ kWh/mes]	Ea [ kWh/día]	Aportación Colectores Solares
Enero	4.58	2.73	0.5675	30	212.87	7.10	7,095.05
Febrero	5.39	2.73	0.5675	28	233.82	8.35	8,349.86
Marzo	6.01	2.73	0.5675	31	288.65	9.31	9,310.32
Abril	5.95	2.73	0.5675	30	276.55	9.22	9,217.37
Mayo	5.77	2.73	0.5675	31	277.12	8.94	8,938.53
Junio	5.42	2.73	0.5675	30	251.91	8.40	8,396.33
Julio	5.17	2.73	0.5675	20	160.20	8.01	8,009.05
Agosto	4.99	2.73	0.5675	31	239.66	7.73	7,730.20
Septiembre	4.50	2.73	0.5675	30	209.15	6.97	6,971.12
Octubre	4.57	2.73	0.5675	31	219.49	7.08	7,079.56
Noviembre	4.51	2.73	0.5675	30	209.62	6.99	6,986.61
Diciembre	4.26	2.73	0.5675	20	132.00	6.60	6,599.33

## Anexo 7. Consumo eléctrico bombas centrífugas solar

EVALUACIÓN ECONÓMICA PROYECTO														
CONSUMO ELECTRICO DE LAS BOMBAS CENTRÍFUGAS														
		Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Anual
Demanda de energía por día	kW	54	54	54	54	54.0	54	54	54	54	54	54	54	
Horas de funcionamiento	h	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	
Consumo de energía por día	kWh	432	432	432	432	432	432	432	432	432	432	432	432	43
Consumo de energía por mes	kWh/mes	12960	12096	13392	12960	13392	12960	8640	13392	12960	13392	12960	8640	14774
<b>Costo de la energía CFE</b>	<b>Tarifa HM</b>													
Costo x kWh Punta	\$	2.0973	2.0457	2.0299	2.0543	2.1305	2.1060	2.0750	2.0864	2.0607	2.1246	2.1499	2.0896	
Costo x kWh Intermedio	\$	1.2633	1.2004	1.1849	1.2151	1.3170	1.2976	1.2604	1.2601	1.2326	1.3173	1.3407	1.2624	
Costo x kWh Base	\$	1.0560	1.0034	0.9905	1.0158	1.1010	1.0848	1.0537	1.0535	1.0305	1.1013	1.1209	1.0553	
Costo de la energía LyFC	\$	16,372	14,520	15,868	15,747	17,637	16,816	10,889	16,875	15,974	17,641	17,375	10,907	<b>186,62</b>
Costo x Dem Fact	\$	9,659	9,629	9,599	9,604	9,577	9,494	9,469	9,567	9,527	9,516	9,582	9,600	<b>114,82</b>
<b>Costo total</b>	<b>\$</b>	<b>26,031</b>	<b>24,149</b>	<b>25,467</b>	<b>25,352</b>	<b>27,215</b>	<b>26,311</b>	<b>20,359</b>	<b>26,443</b>	<b>25,502</b>	<b>27,157</b>	<b>26,957</b>	<b>20,507</b>	<b>301,45</b>